

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Северо-Западное управление по гидрометеорологии и
мониторингу окружающей среды»

Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра Российской академии наук

Международный центр по окружающей среде и
дистанционному зондированию им. Нансена

Государственный Гидрологический институт

ТРУДЫ III ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Санкт-Петербург
2019

УДК 551.5+574

ББК 26.23:20.1

T78

Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2019. – 1023 с.

ISBN 978-5-93808-336-3

В сборнике трудов представлены доклады российских и зарубежных специалистов в области океанологии, взаимодействия океана и атмосферы, климатологии, гидрологии, экологии, управления морской деятельностью и образования в сфере гидрометеорологии. Особое внимание уделено результатам последствий изменения климата и хозяйственной деятельности на речных бассейнах, исследованию приустьевых, шельфовых и открытых районов Мирового океана, качеству вод и экологическому состоянию водных объектов, совершенствованию технических средств и методов прогноза гидрометеорологических процессов для управления водными ресурсами и морской деятельностью. Рассмотрены проблемы наращивания потенциала в области образования в сфере гидрометеорологии.

Для научных работников и инженеров, специализирующихся в области гидрометеорологии и экологии. Сборник полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

УДК 551.5+574

ББК 26.23:20.1

Организаторы Конференции:

- Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской Академии Наук
- Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
- Северо-Западное Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
- Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской Академии Наук
- Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена
- Государственный гидрологический институт
- Организатор деловых мероприятий ООО «Инпроэкспо»

Поддержка Конференции:

- Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности

Программный комитет Конференции:

Председатель программного комитета

Журавлев Сергей Александрович, кандидат географических наук, и.о. директора Государственного гидрологического института

Заместитель председателя программного комитета Зимин Алексей Вадимович, доктор географических наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Члены программного комитета: Анисимов О.А., доктор географических наук, ГГИ, Ашик И.М., кандидат географических наук, ААНИИ Бобылев Л.П., кандидат физико-математических наук, ФОНД НАНСЕНЦЕНТР, Вуглинский В.Ч., доктор географических наук, ГГИ Ерёмина Т.Р., кандидат физико-математических наук, РГГМУ, Зацепин А.Г., доктор физико-математических наук, ИО РАН Георгиевский В.Ю., доктор географических наук, ГГИ Гриценко В.А., доктор физико-математических наук, ФГАОУ ВО БФУ им. И.Канта Лавров С.А., доктор технических наук, ГГИ Малинин В.Н., доктор географических наук, РГГМУ Мамаева М.А., кандидат физико-математических наук, ГГИ Пака В.Т., доктор физико-математических наук, ИО РАН Пелиновский Е.Н., доктор физико-математических наук, ИПФ РАН Плинка Н.Л., кандидат географических наук, РГГМУ Поздняков Ш.Р., доктор географических наук, ИНОЗ РАН Пряхина Г.В., кандидат географических наук, СПбГУ Родионов А.А., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, ИО РАН Румянцев В.А., доктор географических наук, академик РАН, ИНОЗ РАН Рябченко В.А., доктор физико-математических наук, ИО РАН Угрюмов А.И., доктор географических наук, РГГМУ Филатов Н.Н., член-корреспондент РАН, ИВПС КарНЦ РАН Цепелев В.Ю., кандидат географических наук, Северо-Западное УГМС Чистяков К.В., доктор географических наук, СПбГУ, вице-президент Русского географического общества Шилин М.Б., доктор географических наук, РГГМУ

ISBN 978-5-93808-336-3

© Коллектив авторов, 2019

© ХИМИЗДАТ, 2019

P.P. SHIRSHOV INSTITUTE OF OCEANOLOGY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION "ARCTIC AND ANTARCTIC RESEARCH INSTITUTE"
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION NORTHWEST ADMINISTRATION FOR
HYDROMETEOROLOGY AND ENVIRONMENTAL MONITORING
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION NORTHERN WATER PROBLEMS INSTITUTE OF THE
KARELIAN RESEARCH CENTRE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES SCIENTIFIC
FOUNDATION "NANSEN INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL AND REMOTE SENSING CENTRE"
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION "STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE"
RUSSIAN FOUNDATION FOR BASIC RESEARCH
PROCEEDINGS OF THE II RUSSIAN NATIONAL CONFERENCE

**HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY:
SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES**

Saint-Petersburg

2019

УДК 551.5+574

ББК 26.23:20.1

T78

Proceedings of the II Russian national conference "Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives" - SPb.: HIMIZDAT, 2019. – 1023p.

ISBN 978-5-93808-336-3

The book contains materials of the reports of the Russian and foreign experts in the field of meteorology, oceanology, climatology, hydrology, ecology, marine management and education in the hydrometeorology. Special attention is given to results of basic research and their implementation for solving applied problems including the development of technologies for monitoring the World Ocean in order to investigate and development of its resources, improvement of technical resources and forecasting methods for hydrometeorological processes for the management of water resources and marine activities. There are considered the problems of building up capability in education in hydrometeorology sphere. For the researches and engineers, specialized in hydrometeorology and ecology. This book is useful for students and postgraduates of relevant specialties.

УДК 551.5+574

ББК 26.23:20.1

Conference Organizers: • P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences • Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute" • Federal State Budgetary Institution Northwest Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring • Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences • Scientific Foundation "Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre" • Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute" Conference operator: • Ltd "Inproexpo"

Support of the Conference: • Committee for Nature Use Environmental Protection and Ecological Safety •

Program committee of the Conference: Chairman: Zyravlev C.A. (SHI) Vice-chairman: Zimin A.V. (IO RAS). Program Committee Members: Anisimov O.A. (SHI), Ashik I.M. (AARI), Bobilev L.P. (NIERSC), Vuglinskiy V. (SHI), Eremina T.R. (RSHU), Zacepin A.G. (IO RAS), Gricenkov.A. (IKBFU), Lavrov S.A. (SHI), Malinin V.N. (RSHU), Mamaeva M.A. (SHI), Plink N.L. (RSHU), Ryabchenko V.A. (IO RAS), Paka V.T. (IL RAS), Pelinovsky E.N. (IAP RAS), Ugriumov A.I. (RSHU), Filatov N.N. (NWPI KarRC RAS), Cepelev V. Ju. (NW AHEM), Shilin M.B. (RSHU).

Rodionov A.A. (IO RAS).

ISBN 978-5-93808-336-3

© Collective of authors, 2019

© HIMIZDAT, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Bob Riddaway</i> EUROPEAN METEOROLOGICAL SOCIETY – WHAT WE DO AND HOW WE DO IT.....	31
<i>Абрамов Д. В., Никифоровский А. А.</i> К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	35
<i>Аверкиев А.С., Лукьянов С.В., Татаренко Ю.А.</i> ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА ВОД ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В БЕЗЛЁДНЫЙ ПЕРИОД ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ.....	39
<i>Автухович О.В., Панфилова Н.В.</i> ПРОБЛЕМА КОММУНИКАЦИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ.....	44
<i>Агафонова С.А., Михайлюкова П.Г., Фролова Н.Л., Демиденко Н.А.</i> ЗИМНИЙ РЕЖИМ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ МЕЗЕНИ И КУЛОЯ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	47
<i>Акселевич В.И., Мазуров Г.И.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУТОРАМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ОБЛАКОВ.....	50
<i>Аксянов Т.М.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НЕПОЛНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДОВ ВОДЫ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИНТЕГРАЦИОННЫМ СПОСОБОМ.....	56
<i>Алабян А. М., Панченко Е. Д., Медин А. М.</i> ПАРАДОКСЫ ГИДРОДИНАМИКИ РЕВЕРСИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ РЕК.....	61
<i>Александров В.Я.</i> О КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ НА РОССИЙСКИХ АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ НА РУБЕЖЕ XX – XXI ВВ.....	64
<i>Алексеев Г.В., Вязилова А.Е., Харланенкова Н.Е., Глок Н.И.</i> ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК.....	76
<i>Анискина О.Г., Кандиева К.К., Погорельцев А.И.</i> ОСЦИЛЛЯЦИЯ МАДДЕНА – ДЖУЛИАНА И ДИНАМИКА ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ СТРАТОСФЕРЫ.....	80
<i>Афанасьева Ю.С., Белоусова Л.Ю.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТЕОРИСКОВ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ.....	82
<i>Алаа Ахмад</i> РАЗРАБОТКА КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРТОСТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИБРЕЖНО-МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ.....	86
<i>Балакин В.С., Шипко Ю.В., Маслобойщиков А.Н.</i> МОДЕЛЬ ПЕРЕДНЕАЗИАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ НА УРОВНЕ 925 ГПА	90
<i>Банщикова Л.С., Сумачев А.Э.</i> ЗАЖОРЫ ЛЬДА НА РЕКЕ НЕВА.....	95
<i>Баринов С.П., Жестерев А.Е.</i> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ.....	99
<i>Башмачников И.Л., Федоров А.М., Яковлева Д.А., Весман А.В.</i> МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В СУБПОЛЯРНЫХ МОРЯХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И СЛО	103
<i>Белоненко Т.В., Гневышев В.Г., Кубряков А. А., Фролова А.В.</i> НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН РОССИИ С ЗОНАЛЬНЫМ ПОТОКОМ: ДЕМОНСТРАЦИЯ ДЛЯ АЦТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТИМЕТРИИ.....	

	107
<i>Белякова А.М.</i> ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ ОХТЫ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА.....	111
<i>Боброва В.А., Тимофеева Л.А.</i> ОЦЕНКА РАСХОДОВ РЕК ПО ДАННЫМ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	115
<i>М.В. Болгов</i> О ПРОБЛЕМЕ РАСЧЕТА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА).....	119
<i>Борзенкова И.И., Ершова А.А., Шиповалова К.О.</i> МОРСКОЙ ЛЁД АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ И ПРОШЛЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.....	122
<i>Бубенчиков С.В., Лобанов Ф.И.</i> ОПЫТ ДЕСЯТИЛЕТНЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ.....	125
<i>Бурлачко Д.С., Подмарева Т.И., Безрукавая Е.А., Фролова А.Д.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ОПРЕСНЕННЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ ОСОЛОНЕНИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ.....	129
<i>Быкова С.Г.</i> РОССИЙСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО: НА СЛУЖБЕ ОБРАЗОВАНИЮ И ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ	134
<i>Варенцова Н.А., Киреева М.Б., Харламов М.А.</i> ЕСТЕСТВЕННЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО СТОКА ДОНСКОГО БАССЕЙНА.....	138
<i>Василевская Л.Н., Василевский Д.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БЕССНЕЖНОЙ ЗИМЫ 2018-2019 ГГ. НА ЮГЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ.....	143
<i>Василенко А.Н., Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л.</i> ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГОДОВЫХ И МАКСИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ В РЕКАХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В ПЕРИОД 1960-2012 ГГ.....	146
<i>Венцюлис Л.С., Воронов Н.В., Быстрова Н.Ю.</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МИРЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ.....	150
<i>Кондратьев С.И., Видничук А.В.</i> ЛОКАЛЬНАЯ СЕЗОННАЯ ГИПОКСИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ СЕРОВОДОРОДА В ПРИДОННЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ.....	155
<i>Вилимович Е.А., Терешина М.А., Ерина О.Н., Соколов Д.И.</i> СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВАОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ОЗЕРА.....	161
<i>Виноградов В.Ю., Марков М.Л., Обязов В.А., Кураков С.А., Догановский Д.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ НПО «ГИДРОТЕХПРОЕКТА».....	165
<i>Виноградов С.Ю., Бруно М., Искуердо А.</i> ПРИБРЕЖНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ДЛЯ ЮГО-ЗАПАДА ПИРЕНЕЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ПРОЕКТ OCASO).....	170
<i>Виноградова Т.А., Колупаева А.Д., Шихов А.Н., Макарьева О.М., Нестерова Н.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАВОДКА НА РЕКЕ ИЯ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ) В ИЮНЕ 2019 ГОДА.....	175
<i>Войнов Г.Н., Пискун А.А.</i> ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ ВОДЫ НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ).....	179
<i>Дроздов В.В., Волков Я.С.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОЛОВСТВА В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.....	182

<i>Второва А.И., Мякишева Н.В.</i> МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УРАЛА.....	187
<i>Вуглинский В.С., Кузнецова М.Р.</i> ИЗМЕНЕНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КРУПНЫХ ОЗЕР МИРА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА.....	191
<i>Гавриков С. А.</i> УЧЕТ СВЯЗИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИЙ С ИХ ЛЕСИСТОСТЬЮ В РАСЧЕТАХ РЕЧНОГО СТОКА.....	196
<i>Гавриленко Г.Г., Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э., Волков С.Ю., Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Богданов С.Р., Тержевик А.Ю.</i> УСЛОВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД	200
<i>Гагулина Н.Л.</i> ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК ПЕРЕХОД ОТ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ К ЭКОНОМИКЕ КАЧЕСТВА	205
<i>Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Шаночкин С. В.</i> ДОЛГОСРОЧНАЯ ОЦЕНКА ГОДОВОГО СТОКА РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ.....	210
<i>Гитарский М.Л., Марунич А.С., Шилкин А.В., Замолодчиков Д.Г., Коротков В.Н., Блинов В.Г.</i> ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ КОМПОНЕНТОВ ВОДНОГО РЕЖИМА ЮЖНОТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА ПОЛИГОНА «ТАЕЖНЫЙ ЛОГ» ВАЛДАЙСКОГО ФИЛИАЛА ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА.....	214
<i>Говор А. А., Шелутко В.А.</i> ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА СТОКА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПО Р. НЕВЕ.....	218
<i>Гогоберидзе Г.Г., Косьян Р.Д., Румянцева Е.А.</i> ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКИХ РАЙОННЫХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ	221
<i>Гордеева С.М., Малинин В.Н.</i> ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ГОДОВОГО СТОКА РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ.....	225
<i>Горошкова Н.И.</i> МЕТОДИКА ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ В БАСЕЙНЕ ВЕРХНЕГО АМУРА.....	229
<i>Грек Е.Н., Журавлёв С.А.</i> МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ И ОСАДКОВ В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.....	236
<i>Гречушников М.Г., Репина И.А., Казанцев В.С., Ломов В.А.</i> ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СУММАРНОГО УДЕЛЬНОГО ПОТОКА МЕТАНА МЕТОДОМ ПЛАВУЧИХ КАМЕР.....	239
<i>Григоров Н.О., Никитина В.С.</i> ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ТЕПЛОВАЯ ИНЕРЦИЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.....	242
<i>Григорьева Е.А.</i> ДИНАМИКА ВОЛН ЖАРЫ И ХОЛОДА В БАСЕЙНЕ Р. АМУР.....	247
<i>Гриценко В.А, Михневич Г.С., Новикова Е.П.</i> КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	251
<i>Давлатов Э.Ж., Азизова Г.У.</i> ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В РЕГИОНАЛЬНОМ УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ ВСЕМИРНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН.....	256

<i>Давыденко Е.В.</i> ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КОТЛОВИНЫ НА СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДОВ УРОВНЕЙ ОЗЁР.....	258
<i>Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С, Кондакова М.Ю.</i> К ПРОБЛЕМЕ УВЕЛИЧЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ В ВОДЕ РЕК ЯНАО.....	262
<i>Даньшина А.В.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА СОСТОЯНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ.....	267
<i>Двинских С.А., Зиновьев Е.А., Китаев А.Б.</i> ВЛИЯНИЕ СБРОСОВ ТЕПЛЫХ ВОД НА ТЕРМИЧЕСКИЙ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПЕРМСКОЙ ГРЭС (Г. ДОБРЯНКА).....	271
<i>Двоглазова К.С., Шелутко В.А., Горошкова Н.И.</i> ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК БАССЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ.....	274
<i>Девятов В.С.</i> О МЕТОДОЛОГИИ ПОЗНАНИЯ И ТВОРЧЕСТВА ИЛИ «ТЫ, УЧЁНЫЙ, САМ С УСАМ?».....	278
<i>Демиденко Н.А, Панченко Е.Д., Попрядухин А.А.</i> ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАКРОПРИЛИВНЫХ ЭСТУАРИЕВ МЕЗЕНИ И КУЛОЯ.....	282
<i>Демчук В.А., Моисеева Н.О.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЁТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ.....	286
<i>Денисов В.В., Светлова М.В.</i> КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ И ПРИЛЕГАЮЩИЕ МОРСКИЕ АКВАТОРИИ КАК ПРЕДМЕТ ГЕОКАРКАСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ И СУХОПУТНЫМИ ООПТ СУБАРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА.....	290
<i>Джамалов Р.Г., Решетняк О.С., Сафронова Т.И., Власов К.Г., Галагур К.Г.</i> ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СТОК С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ КАМЫ.....	294
<i>Дмитриев В.В., Зуева Н.В., Огурцов А.Н., Примак Е.А.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ ВОДНОГО ОБЪЕКТА: АКЦИОЛОГИЯ И ОЦЕНКА.....	297
<i>Долгобородова Ю.А., Алексеев Д.К.</i> ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ЭВТРОФИРОВАНИЯ ОХТИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.....	301
<i>Дрегваль М.С.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИОДА НАВИГАЦИИ НА РЕКЕ СЕВЕРНАЯ ДВИНА.....	304
<i>Дроздов В.В., Мобараккызы З.</i> КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ НИЖНЕЙ ВОЛГИ, КАЗАХСТАНА И СРЕДНЕЙ АЗИИ.....	307
<i>Дубровская К.А.</i> ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ	310
<i>Дымент Л.Н., Лосев С.М.</i> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛОТНОСТИ РАЗРЫВОВ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ПРИАТЛАНТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА.....	312
<i>Егорова Е.С., Юлин А.В., Вязигина Н.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛОЩАДИ ЛЬДА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА.....	317
<i>Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Салаватова Л.И.</i> ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ.....	321

<i>Гронская Т.И., Еремеева А.О., Литова Т.Э.</i> РАСЧЕТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАЛАНСОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОГРАММ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	325
<i>Еремина Т.Р., Наумов Л.М., Исаев А.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕНТОСНОГО МОДУЛЯ МОДЕЛИ ERSEM	329
<i>Ерёмина Т.Р., Ершова А.А.</i> МОНИТОРИНГ МОРСКОГО МУСОРА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА	333
<i>Ефимов В.А., Магрицкий Д.В., Ефимова Л.Е.</i> МОНИТОРИНГ СТОКА НАНОСОВ И КАЧЕСТВА ВОД В УСТЬЕ Р. КОЛЫМА В УСЛОВИЯХ ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ 2019 г.....	336
<i>Жигульский В.А., Гогоберидзе, Шилин М.Б., Мамаева М.А., Румянцева Е.А., Бобылев Н.Г., Назарова А.В.</i> БЕРЕГОВЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ: ОСОБЕННОСТИ И ЛЕГИТИМНОСТЬ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	339
<i>Жигульский В.А., Богуш А.И., Назарова А.В., Мамаева М.А., Шилин М.Б.</i> РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИЙ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО БЕРЕГОПОЛЬЗОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫМИ ЗОНАМИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В РАМКАХ ПРОЕКТА “GET READY”	344
<i>Журавин С.А., Гуревич Е.В., Марков М.Л.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА (ПО ДАННЫМ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ СТАНЦИЙ).....	350
<i>Журавлева А.Д., Батуев В.И.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА С БОЛОТ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА.....	354
<i>Завьялова Е.В., Морозова С.В., Полянская Е.А.</i> СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА АНОМАЛЬНО ЖАРКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ.....	358
<i>Задонская О.В., Кузнецова О.М.</i> ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ И СТОКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ДЛИНЕ РЕКИ НЕВА.....	363
<i>Задонская О.В.</i> ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА СТОКА ВОДЫ КРУПНЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА В XXI ВЕКЕ.....	368
<i>Замолодчиков Д.Г., Шилкин А.В., Гитарский М.Л., Карелин Д.В., Иващенко А.И.</i> ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЗАСУХИ НА ГАЗООБМЕН ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ ПОЛИГОНА «ТАЕЖНЫЙ ЛОГ» ВАЛДАЙСКОГО ФИЛИАЛА ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА.....	373
<i>Зәурбек Ә.К.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН НА ПЕРСПЕКТИВУ (ПРЕДЛОЖЕНИЯ).....	378
<i>Захарчук Е. А., Цепелев В.Ю., Тихонова Н.А., Гусев В.Н., Бессан Г.Н.</i> ВОЗМОЖНЫ ЛИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ОСОБО ОПАСНЫЕ И КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ НАВОДНЕНИЯ ПРИ РАБОТАЮЩЕЙ ДАМБЕ.....	383
<i>Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Подымов О.И., Островский А.Г.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОННОГО СЛОЯ В ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ.....	386
<i>Зиновьев А.Т., Дьяченко А.В., Кошелев К.Б., Марусин К.В.</i> НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РУСЛОВОГО ПОТОКА НА УЧАСТКЕ РЕКИ ОБЬ У ВОДОЗАБОРА №1 ГОРОДА БАРНАУЛА.....	388
<i>Зинченко В.А., Колдунов А.В., Гордеева С.М.</i> ОЦЕНКА ТЕРМОХАЛИННОЙ ВИХРЕВОЙ АДВЕКЦИИ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ.....	392

<i>Зинченко В.А., Колдунов А.В., Гордеева С.М.</i> ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ: СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.....	395
<i>Ивахов В. М., Парамонова Н. Н., Привалов В. И., Зинченко А. В., Семенец Е. С., Кароль И. Л., Киселев А. А., Полищук В. Ю.</i> ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В ОБСКОЙ ГУБЕ НА ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ.....	398
<i>Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е., Беспалова Е.В., Иошпа А.Р., Ивлиева О.В.</i> ШТОРМОВЫЕ НАГОНЫ И ИХ РОЛЬ В ИНТЕНСИФИКАЦИИ БЕРЕГОВЫХ ПРОЦЕССОВ АЗОВСКОГО МОРЯ НА ФОНЕ ПОДЪЕМА УРОВНЯ	401
<i>Иманов Ф.А., Маммадов Х.Б.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ АРАКС.....	404
<i>Инишева Л.И., Кобак К.И., Турчинович И.Е.</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА СКОРОСТЬ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В БОЛОТАХ В ГОЛОЦЕНЕ (НА ПРИМЕРЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ).....	408
<i>Барышников Н.Б., Исаев Д.И., Кузьмин Ю.А., Лагай Н.В.</i> ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАСХОДОВ ВОДЫ ОТ УРОВНЕЙ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ.....	413
<i>Казаков Э.Э., Журавлёв С.А., Курочкина Л.С., Айзель Г.В.</i> ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ВЕБ-СЕРВИС АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О КЛИМАТЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ.....	418
<i>Калавиччи К.А., Башмачников И.Л.</i> ПРОЯВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ.....	421
<i>Калинин В.Г., Механошина Е.В., Богданова К.А.</i> О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	425
<i>Калюжный И.Л.</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ПРОМЕРЗАНИЯ БОЛОТ.....	429
<i>Католиков В. М., Католикова Н. И.</i> НИКОЛАЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ КОНДРАТЬЕВ – СОЗДАТЕЛЬ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА.....	435
<i>Килесо А.В., Гриценко В.А.</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ.....	443
<i>Киреева М.Б., Рец Е.П., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФА GRWAT ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ СТОКА	443
<i>Кирилова А.А., Фролова Н.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ.....	447
<i>Клубов С.М., Третьяков В.Ю.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	451
<i>Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И., Саперштейн Е.Б., Сергеева И.А., Ярославцева С.И.</i> МЕТОДИКА, ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 5 СУТОК ДЛЯ РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ И ЗАМЕРЗАЮЩИХ НЕАРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ.....	456
<i>КОЗЛОВА А.В., ЗУЕВА Н.В.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ВЕРХОВЬЕВ РЕКИ ОРЕДЕЖ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ (2016-2017 ГГ.).....	461

<i>Колупаева А.Д., Виноградова Т.А., Осташов А.А., Макарьева О.М., Нестерова Н.В.</i> ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА ГОРНОЙ РЕКИ ХЕМЧИК (РЕСПУБЛИКА ТЫВА) НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	463
<i>Даниленко А.О., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В РЕЧНЫХ ВОДАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ.....	467
<i>Конокова А.В., Крупина А.А., Воронцова А.С., Степанова Н.Б.</i> ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПЛЯЖЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НА ПОБЕРЕЖЬЕ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ	471
<i>Корнеев О.Ю.</i> МОДИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ПРИЗЕМНОГО БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НАД АКВАТОРИЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ	475
<i>Косицкий А.Г., Богуцкая Е.М.</i> ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА КРЫМСКИХ РЕК	481
<i>Костенко И.Г.</i> «ПОВЫШЕНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГОРОДСКИМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ» (СОКРАЩЕННО – RAINMAN) В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ПРИГРАНИЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФИНЛЯНДИИ – РОССИИ НА 2014-2020 ГОДЫ.....	485
<i>Котова А.К., Воякина Е.Ю.</i> ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНЕВСКИХ ОЗЕР ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА ПО РЯДУ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	489
<i>Котович Н.Г., Василевская Л.Н.</i> МЕТОД ПРОГНОЗА И АНАЛИЗА ТЕПЛОГО ЯДРА В ЦИКЛОНАХ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	493
<i>Крутиков Е.С., Василевская Л.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ЛЕТНЕГО ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО МУССОНА НА ЮГЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ 2013 – 2019 ГГ.....	496
<i>Кузнецов А.А., Шевчук О.И.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ.....	450
<i>Кузьмина А.А., Носаль А.П., Власкин В.Ф.</i> ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ВОДООХРАННЫХ ЗОН В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	504
<i>Кучеренко О. Е., Яковлева Т. И.</i> ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РУСЕЛ РЕК ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПАВОДКОВ ПО ДАННЫМ О РАСХОДАХ ВОДЫ, ИЗМЕРЕННЫХ В ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ СТВОРАХ И ИХ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЗА ПРЕДЕЛЫ ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕРЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕК КУБАНЬ И АМУР).....	509
<i>Лавров С.А., Жильцова Е.Л., Шаповалова К.О.</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ: РЕАНАЛИЗ И ЧИСЛЕННЫЕ ОЦЕНКИ	513
<i>Лебедева С.В., Панченко Е.Д., Льюменс М.</i> ПРОНИКНОВЕНИЕ ОСОЛОНЕННЫХ ВОД В ДЕЛЬТУ РЕКИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ.....	518
<i>Леготина П.А., Тимофеева Л.А.</i> ВОДНЫЙ РЕЖИМ МАЛЫХ РЕК РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.....	522
<i>Лисовский А.Я.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМАТИВНЫХ АКТОВ В РОССИИ В ОБЛАСТИ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДВОДНОЙ СРЕДЫ.....	526

<i>Литина Е.Н., Захарчук Е.А.</i> ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ	530
<i>Лобанов В.А.</i> СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПУНКТАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	534
<i>Лобанова А.Г., Георгиевский В.Ю.</i> , ЗАКОНОМЕРНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СТОКА РЕК РФ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	547
<i>Лопуха В.О., Федосеева Н.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	552
<i>Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В.</i> ПРОГНОЗЫ СТОКА РЕКИ ИЛИ ВЫШЕ И НИЖЕ КАПЧАГАЙСКОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ СКРЫТЫХ ГАРМОНИК В ЕГО КОЛЕБАНИЯХ С ДЛИНАМИ ПЕРИОДОВ В ДИАПАЗОНЕ 10 – 35 МЕСЯЦЕВ.....	556
<i>Мазуров Г.И., Акселевич В.И., Воейкова А.И.</i> РОЛЬ ВОДНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ТВЕРДЫХ ПЛАВУЧИХ ПРИМЕСЕЙ В ОКЕАНЕ	562
<i>Молодыхина С.В, Май Р.И.</i> СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА КАРСКОГО МОРЯ.....	567
<i>Макарова М.А., Шелутко В.А.</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В РЕЧНОМ СТОКЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ВЕЛИКАЯ).....	571
<i>Малышева А.А., Кубряков А.А., Колдунов А.В., Белоненко Т.В.</i> ОЦЕНКА АГУЛЬЯСОВА ПЕРЕНОСА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И БУЕВ АРГО.....	575
<i>Мамаева М.А., Пряхина Г.В., Георгиевский М.В.</i> НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО МЕЖДУ КАФЕДРОЙ ГИДРОЛОГИИ СУШИ СПБГУ И ГОСУДАРСТВЕННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ	579
<i>Маммедов С.А., Лобанов В.А</i> ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАДКОВ И ИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЯХ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА.....	581
<i>Маркелова Т.Г.</i> НАИБОЛЬШИЕ В ГОДУ РАСЧЕТНЫЕ УРОВНИ ВОДЫ В УСТЬЕ Р. ТОСНА.....	588
<i>Мартьянов С.Д., Дворников А.Ю., Рябченко В.А., Сеин Д.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ.....	591
<i>Решетников Ф.Ю., Бубенчиков С.В., Марунич А.С.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ВФ ФГБУ "ГГИ"	595
<i>Маховиков А.Д., Смагин Р.Е., Иванов М.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИИ ПРОЛИВА СУХАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ.....	599
<i>Мельничук А.Ю., Мельничук Ю.В., Марунич А.С., Варенцова Н.А., Савелов Е.Л</i> ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА МАЛЫХ РЕКАХ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОСАДКОВ.....	604
<i>Мельничук Ю.В., Марунич А.С, Бубенчиков С, Мельничук А.Ю.</i> ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВЕСОВЫХ ОСАДКОМЕРОВ НА ВАЛДАЙСКОМ ПОЛИГОНЕ ГГИ – ЭТАЛОНЕ ВМО. РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	608
<i>Мискевич И.В.</i> НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ МОРСКИХ ВОД В УСТЬЯ РЕК В МОРЯХ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД.....	613

<i>Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Абшаев А.М., Аджиев А.Х., Попов В.Б., Торопова М.Л., Кашлева Л. В. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА И ДИАГНОЗА ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ ПО ДАННЫМ О ЧАСТОТЕ МОЛНИЙ</i>	616
<i>Михневич Г.С., Кречик В.А., Крек А.В., Данченков А.Р. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.....</i>	620
<i>Мищенко А.В., Тимофеева А.Б., Павлова Е.А., Шаратунова М.В., Хотченков С.В., Егорова Е.С. РАЗВИТИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В АРКТИКЕ В ПЕРИОД 2013-2018 ГГ. ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА 2012 Г.....</i>	624
<i>Морейдо В.М. МЕТОДЫ ВЕРИФИКАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....</i>	628
<i>Мосейкова А.М., Шелутко В.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОСТАТОЧНОГО РЕЧНОГО СТОКА.....</i>	633
<i>Мханна А.И.Н, Хусейн С.Х. ПРЕДЛОЖЕННАЯ ПРОСТАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ ПРИ БОКОВОМ ВЕТРЕ.....</i>	635
<i>Науменко М.А., Гузиватый В.В., Каретников С.Г. ТЕРМИЧЕСКИЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА: КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ</i>	639
<i>Наумов Л.М., Гордеева С.М. ТЕРМОХАЛИННАЯ АДВЕКЦИЯ В ЗОНЕ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ.....</i>	642
<i>Наурузбаева Ж.К., Лобанов В.А. ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРИКАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ.....</i>	647
<i>Новоселова Е.В., Белоненко Т.В. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БАРОКЛИННОГО РАДИУСА ДЕФОРМАЦИИ РОССБИ В РАЙОНЕ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ.....</i>	652
<i>Носаль А.П., Лапина Т.В., Топоркова ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....</i>	656
<i>Одинокова К.Д., Примак Е.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АНТРОПОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННОГО ВОДОЕМА К ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЕСТЕСТВЕННОГО И АНТРОПОГЕННОГО РЕЖИМОВ.....</i>	661
<i>Орлова Е.В., Кузнецов В.Н. НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ВОДНО-ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....</i>	665
<i>Павлова Е.А., Май Р.И., Миронов Е.У., Хотченков С.В., Таровик О.В. МЕТОДЫ РАСЧЁТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНИЦ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИПАЯ.....</i>	669
<i>Панов В.В., Женихов Ю.Н. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАТРУДНЕНИЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД В БОЛОТА</i>	673
<i>Панченко Е.Д., Льюменс М., Лебедева С.В. ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТНОГО ПОЛЯ ПОТОКА В ТЕЧЕНИЕ ПРИЛИВНОГО ЦИКЛА В УСТЬЯХ КРУПНЫХ РЕК БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ.....</i>	678
<i>Панютин Н.А. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД ГИДРОСИСТЕМЫ ДУДЕРГОФСКИХ ОЗЕР.....</i>	682
<i>Паршина Т.В., Потапова Т.М., Трушевский В.Л., Федоров А.Г., Панютин Н.А. ОПЫТ ОЦЕНКИ ВОДООБМЕНА ГОРОДСКИХ ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ СУЗДАЛЬСКИХ ОЗЕР.....</i>	687

<i>Педченко А.П., Зубаревич В.Л., Кодрян К.В., Таптыгин М.Ю., Фирсов Ю.Л.</i> ТРАНСАРКТИЧЕСКИЙ РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ЛЕВАНИДОВ»: ОСОБЕННОСТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2019 Г.....	691
<i>Петрова Т.Н., Гусева М.А.</i> МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ВОДЕ ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА.....	697
<i>Плинка Н.Л., Кузнецова М.Н.</i> МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ.....	701
<i>Поляков А.Д., Ершова А.А.</i> ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОБЕРЕЖИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ГРАНУЛЯТОМ ПЛАСТИКА.....	706
<i>Попов С.В., Пряхина Г.В., Кашкевич М.П., Григорьева С.Д., Суханова А.А., Боронина А.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЛЕДНИКОВ	710
<i>Порубаев В.С., Миронов Е.У., Дымент Л.Н.</i> СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТАМУХ В КАСПИЙСКОМ, ОХОТСКОМ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ.....	714
<i>Потапова Т.М., Паршина Т.В., Ладанова В.О., Корнаухов И.О.</i> ВОДНО-СОЛЕВОЙ БАЛАНС ОЗЕР УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ СУЗДАЛЬСКИХ ОЗЕР САНКТ-ПЕТЕРБУРГА	719
<i>Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Гаврилкина С.А., Соловьев В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОКА МАЛОИЗУЧЕННЫХ ГОРНЫХ БАСЕЙНОВ ЮГА СИБИРИ.....	723
<i>Резников С.А., Тезикова Н.Б., Якунина О.В., Аджиев Р.А.</i> ЭЛЕМЕНТЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОЗЕРА БАЙКАЛ: АВАНДЕЛЬТА РЕКИ СЕЛЕНГА.....	726
<i>Решетняк О.С.</i> УСТЬЕВАЯ ЭКОСИСТЕМА РЕКИ ЛЕНЫ: МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СОСТОЯНИЯ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ	731
<i>Решетняк О.С., Косменко Л.С., Даниленко А.О., Кондакова М.Ю., Решетняк В.Н., Коваленко А.А.</i> РЕКИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ КАЧЕСТВА И СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ ВОД.....	735
<i>Решин Н.А., Баранова А.Р., Нагибина С.А., Тимофеева Л.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СНИМКОВ СПУТНИКА LANDSAT 8 ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА.....	739
<i>Ромашова К.В., Василевич И.И.</i> ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ РЕКИ БРЮДЕ (АРХ. ШПИЦБЕРГЕН) МЕТОДОМ СМЕШЕНИЯ (СПОСОБ ИОННОГО ПАВОДКА).....	744
<i>Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В.</i> ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО СТОКА И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ.....	748
<i>Савичев О.Г., Марков М.Л., Потапова Т.М., Задонская О.В.</i> ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ.....	754
<i>Саенко А.Г., Симакина Т.Е.</i> ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	758
<i>Санец Е.В., Кадацкая О.В., Овчарова Е.П.</i> ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ Г. МИНСКА).....	762
<i>Саноцкая Н.А.</i> ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО ПОТОКА В УСЛОВИЯХ ПОДПОРА.....	768
<i>Сапунов В.Б.</i> СООТНОШЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ.....	

	770
<i>Сарафанов М.И., Третьяков В.Ю., Федяков В.Е., Фролов С.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКИХ ЛЬДОВ НА СУДОХОДСТВО И ВОЗНИКНОВЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ.....	775
<i>Седова С.А.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДОЕМА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА СУРИИ.....	780
<i>Семеошенкова В.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ DPSIR ПОДХОДА ДЛЯ АНАЛИЗА СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ.....	784
<i>Сикан А. В.</i> ОСОБЕННОСТИ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ КРИЦКОГО-МЕНКЕЛЯ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРАКТИКЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	790
<i>Сирин А.А.</i> БОЛОТА КАК ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА.....	795
<i>Соботюк Д.И., Замарин Г.А., Драбенко Д.В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЁМКИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.....	798
<i>Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терёшина М.А., Вилимович Е.Н., Ефимова Л.Е.</i> РЕЖИМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РАЗНОТИПНЫХ ОЗЁРАХ ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	800
<i>Соловьев Д.А.</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЭКОНОМИКУ И ИНФРАСТРУКТУРУ ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ.....	803
<i>Ступишина О.М, Головина Е.Г.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА НИЖНЮЮ АТМОСФЕРУ.....	808
<i>Сумачев А.Э., Банщикова Л.С.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	812
<i>Сумачев А.Э., Банщикова Л.С.</i> ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ.....	815
<i>Сухачев В.Н., Захарчук Е.А., Войнов Г.Н., Тихонова Н.А.</i> МЕЗОМАСШТАБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ.....	820
<i>Терехова Р. А.</i> ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ.....	824
<i>Терешина М.А., Ерина О.Н., Соколов Д.И., Ефимова Л.Е., Чалов С.Р.</i> ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В Р.МОСКВЕ.....	825
<i>Тимофеева А.Б., Иванов В.В., Юлин А.В., Хотченков С.В.</i> МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЛЕДОВИТОСТИ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В ПЕРИОД С 1940 Г.....	829
<i>Тимофеева Л.А.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОЛОГОВ-БАКАЛАВРОВ.....	833
<i>Торопова М. Л., Русин И. Н.</i> МЕТОДЫ ПРОГНОЗА И АНАЛИЗА ОПАСНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	837
<i>Травкин В.С., Белоненко Т.В.</i> СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И НАТУРНЫХ ДАННЫХ.....	841

<i>Третьяков М.В., Шикломанов А.И., Шестакова Е.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА РЕКИ ОБЬ.....	844
<i>М.А.Трубина, Н.П. Поволоцкая, Кириленко А.А., Просольченко А.В. Сеник И.А.</i> МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БИОТРОПНОСТИ ПОГОДЫ ДЛЯ ГОРНЫХ КУРОРТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (РЕГИОН КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД).....	849
<i>Трунин А.А., Муждаба О.В.</i> НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БОЛЬШИХ РЕК РОССИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ	854
<i>Трушевский В.Л., Потапова Т.М., ПаршинаТ.В., Коваленко А.А.</i> ОПЫТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕК ТУАПСИНСКОГО РАЙОНА (По материалам учебных практик).....	859
<i>Тюгалева А. И., Май Р. И.</i> ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА, РАССЧИТАННЫЕ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ.....	864
<i>Угрюмов А.И.</i> ИСТОРИЯ ГИДРОМЕТА В ЛИЦАХ.....	869
<i>Фасолько Д.В., Акентьева Е.М., Ключева М.В., Задворных В.А.</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДООЧИСТКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	871
<i>Федоров А.М., Белоненко Т.В.</i> ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ОКЕАНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ.....	875
<i>Филатов Н.Н., Меншуткин В.В.</i> КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСБОР- ВОДОЕМ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО МОРЯ И ВОДОСБОРА	878
<i>Фокина К.В., Булгаков К.Ю.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ.....	882
<i>Фролов А.В, Соломонова И.В.</i> СТАТИСТИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ В МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЯХ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОСБОРА Р. МЕЗЕНЬ.....	886
<i>Фролова А.В., Белоненко Т.В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛНОВОДА ДЛЯ ВОЛН РОССБИ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ ТЕЧЕНИИ.....	891
<i>Фруммин Г.Т., Малышева Н.А.</i> ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ.....	894
<i>Хаймина О. В., Денисов Н.С., Коусова Н.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСА НИТРИФИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА.....	899
<i>Хайруллин К.Ш., Образцова М.З.</i> ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СПРАВОЧНИКОВ РОССИИ В ГГО	903
<i>Хлебников Д.В., Иванов А.Ю., Коновалов Б.В, Терлеева Н.В., Десинов Л.В., Соловьев Д.М., Кучейко А.А.</i> АНТРОПОГЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ: ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА.....	909
<i>Холопцев А. В., Подпорин С.А.</i> ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ	914
<i>Чалов С.Р., Чалова А.С., Тарасов М.К.</i> ВЛИЯНИЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЫ НА СЕЗОННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БАЛАНСА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ БОЛЬШИХ РАВНИННЫХ РЕК.....	918
<i>Чанцев В.Ю., Даньшина А.В.</i> РАСЧЕТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОРТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	923

<i>Чеботарев А.С., Петровская О.А.</i> СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННЫХ И РАСЧЕТНЫХ СКОРОСТЕЙ НАЧАЛА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ.....	927
<i>Черемных А.В., Скорик Я.В., Подгайский Э.В., Сабанчиева Д.Х., Фокичева А.А.</i> ПРОЕКТ ФИП_ГИДРОМЕТ-АРКТИКА: ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ И РЕШЕНИЯ	932
<i>Черкашин С.А.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ.....	936
<i>Чернов И.А., Толстиков А.В., Яковлев Н.Г.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОД И ЛЬДА БЕЛОГО МОРЯ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ.....	939
<i>Чернова М.А.</i> УТОЧНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВОРОНЕЖ.....	942
<i>Черногаева Г.М., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ВЛИЯНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЕЧНОЙ СТОК.....	947
<i>Чернышев А.Н., Степанова А.Б., Воякина Е.Ю.,</i> МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗ. ЛЕЩЕВОЕ (ПРИРОДНЫЙ ПАРК "ВАЛААМСКИЙ АРХИПЕЛАГ", ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО),1998 – 2018 ГГ.....	950
<i>Чурюлин Е.В., Копейкин В.В., Фролова Н.Л., Розинкина И.А.</i> ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ COSMO-RU.....	954
<i>Шапкин Б.С., Рубченя А.В., Иванов Б.В., Смоляницкий В.М., Федорова А.Д.</i> СЕЗОННЫЕ И ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА ИОСИФА В XX-XXI ВЕКАХ.....	958
<i>Шаратунова М.В., Юлин А.В., Иванов В.В.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЬДА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД.....	962
<i>Шарина Ю.В.</i> ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ СТОКА РЕК ПРИ НАЛИЧИИ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	967
<i>Шаромов А.Ю., Мамаева М.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ПОРТОВОГО МЕТЕОРОЛОГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ В РФ.....	972
<i>Швед Я.В., Фролова Н. С.</i> СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ИНТЕНСИВНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОД ЖЕЛТОГО МОРЯ	979
<i>Шестакова Е.Н.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ.....	984
<i>Шипко Ю.В., Балакин В.С., Зиброва Н.В.</i> СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДНЕАЗИАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ НА ИЗОБАРИЧЕСКОМ УРОВНЕ 925 ГПА.....	990
<i>Шишкина О.Д.</i> ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ И НАКЛОННЫМ ДНОМ.....	995
<i>Шмакова М.В.</i> ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МУТНОСТИ В ВОДОЕМАХ.....	1000
<i>Юлин А.В., Мардаровский М.А.</i> СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ТИПИЗАЦИИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ПЛАВАНИЯ НА ТРАССЕ СМП.....	1004

<i>Яговкина Е. А., Хаймина О. В., Кубышкин Н. В.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В АКВАТОРИИ ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА УРОВНЯ.....	1009
<i>Яковлева Д. А., Башмачников И. Л.</i> ПЕРЕРАСПРЕДЛЕНИЕ МЕРИДИОНАЛЬНОГО ПОТОКА ОКЕАНИЧЕСКОГО ТЕПЛА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАЗЫ NAO.....	1013
<i>Яковлева Т.И., Шарина Ю.В.</i> ПРОБЛЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. КУБАНЬ.....	1017

CONTENT

Bob Riddaway EUROPEAN METEOROLOGICAL SOCIETY – WHAT WE DO AND HOW WE DO IT.....	31
<i>Abramov D.V., Nikiforovsky A.A.</i>	35
<i>Averkiev A.S., Lukyanov S.V., Tatarenko Yu. A.</i> THERMOCHALINE STRUCTURE OF WATERS OF THE EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND DURING THE ICE-FREE PERIOD BY EXPERIMENTAL DATA.....	39
<i>Avtukhovich O.V., Panfilova N.V.</i> THE PROBLEM OF COMMUNICATION IN ENVIRONMENTAL EDUCATION.....	44
<i>Agafonova S.A., Mikhaylyukova P.G., Frolova N.L., Demidenko N.A.</i> WINTER REGIME OF THE ESTUARIES OF THE MEZEN AND KULOI ACCORDING TO SATELLITE IMAGES.....	47
<i>Akselevich V.I., Mazurov G.I.</i> RESULTS OF APPLICATION OF A SINGLE-DIMENSIONAL MODEL OF THE MAIN GEOPHYSICAL OBSERVATORY FOR IDENTIFYING RESOURCE CLOUDS.....	50
<i>Aksyanov T.M.</i> OPTIMIZATION OF DATA PROCESSING OF INCOMPLETE WATER DISCHARGE MEASUREMENTS EXECUTED BY INTEGRATION METHOD.....	56
<i>Alabyan A. M., Panchenko E. D., Medin A. M.</i> HYDRODYNAMIC PARADOXES OF THE REVERSIBLE CURRENTS IN TIDAL ESTUARIES.....	61
<i>Alexandrov V. Ya.</i> ON CLIMATE CHANGE AT THE RUSSIAN ANTARCTIC STATIONS AT THE TURN OF XX – XXI CENTURIES.....	64
<i>Alekseev G.V., Vyazilova A.E., Kharlanenkova N.E., Glok N.I.</i> IMPACT OF GLOBAL WARMING ON SIBERIAN RIVERS DISCHARGE	76
<i>Aniskina O.G., Kandieva K.K., Pogoreltsev A.I.</i> MADDEN - JULIAN OSCILLATION AND THE DYNAMICS OF THE EXTRATROPICAL STRATOSPHERE.....	80
<i>Afanasieva Y.S., Belousova L.Y.</i> FORECASTING OF METEOROLOGICAL RISKS CONSIDERING WEATHER PHENOMENA DURATION.....	82
<i>Alaa Ahmad</i> DEVELOPMENT OF COMPENSATION MEASURES TO REDUCE THE IMPACT OF PORTS' CONSTRUCTION ON COASTAL MARINE ECOSYSTEMS.....	86
<i>Balakin V.S., Shipko Yu.V., Maslobovshikov A.N.</i> THE PRE-ASIAN DEPRESSION MODEL AT 925 HPA LEVEL.....	90
<i>Banshchikova L.S., Sumachev A.E.</i> HANGING ICE DAMS ON NEVA RIVER.....	95
<i>Barinov S.P., Zhesterev A.E.</i> SOME ASPECTS OF SATELLITE TECHNOLOGIES APPLICATION IN HYDROMETEOROLOGY.....	99
<i>Bashmachnikov I.L., Fedorov A.M., Iakovleva D.A., Vesman A.V.</i> INTERANNUAL VARIABILITY OF THE INTENSITY OF DEEP CONVECTION IN THE SUBPOLAR NORTH ATLANTIC.....	103
<i>Belonenko T.V., Gnevyshev V. G., Kubryakov A. A., Frolova A.V.</i> NONLINEAR INTERACTION OF ROSSBY WAVES WITH ZONAL FLOW: DEMONSTRATION FOR THE ACC USING ALTIMETRY	107
<i>Belyakova A.M.</i> HYDROCHEMICAL AND TOXICOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE OKHTA RIVER IN THE SUMMER OF 2018.....	111
<i>Bobrova V.A., Timofeeva L.A.</i> ESTIMATION OF RIVER FLOW BASED ON HYDROCHEMICAL DATA	115

<i>Bolgov M.V.</i> ABOUT THE PROBLEM OF CALCULATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE BAIKAL REGION).....	119
<i>Borzenkova I.I., Erschova A.A., Schipovalova K.O.</i> ARCTIC BASIN SEA - ICE IN THE LIGHT OF PRESENT AND PAST CLIMATIC CHANGES.....	122
<i>Bubenchikov S.V., Lobanov F.I.</i> EXPERIENCE OF TEN YEARS OF USE OF AUTOMATED HYDROMETEOROLOGICAL COMPLEXES AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USE.....	125
<i>Burlachko D.S., Podmareva T.I., Bezrukavaya Ye.A., Frolova A.D.</i> FORMATION OF DESALED ZONES IN THE CONDITIONS OF SALINATION OF THE AZOV SEA.....	129
<i>Bykova S.G.</i> RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL SOCIETY: SURVING FOR EDUCATION AND TRAINING.....	134
<i>Varentsova N.A., Kireeva M.B., Kharlamov M.A.</i> NATURAL ORTHOGONAL COMPONENTS AS A METHOD OF STUDYING THE PROCESS OF THE SPRING FLOW GENERATION IN THE DON'S RIVER BASIN.....	138
<i>Vasilevskaya L.N., Vasilevsky D.N.</i> FEATURES OF FORMATION OF SNOWLESS WINTER 2018-2019 IN THE SOUTH OF THE PRIMORSK REGION.....	143
<i>Vasilenko A.N., Magritsky D.V., Frolova N.L.</i> CHANGES OF ANNUAL AND MAXIMUM WATER TEMPERATURE OF RUSSIAN ARCTIC RIVERS IN YEARS 1960-2012.....	146
<i>Ventsyulis L.S., Voronov N.V., Bystrova N.Yu.</i> CURRENT STATUS OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY IN THE WORLD AND FUTURE PROJECTIONS.....	150
.	
<i>Kondratev S.I., Vidnichuk A.V.</i> LOCAL SEASONAL HYPOXIA AND HYDROGEN SULPHIDE IN THE BOTTOM WATERS OF SEVASTOPOL BAY.....	155
<i>Vilimovich E.A., Tereshina M.A., Erina O.N., Sokolov D.I.</i> SEASONAL DYNAMICS OF HYDROLOGICAL STRYCTURE IN A STRATIFIED LAKE.....	161
<i>Vinogradov V. Y., Markov M. L., Obyazov V. A., Kurakov S. A., Doganovskii D. A.</i> STUDIES OF THE PROCESSES OF FORMATION OF RUNOFF AT THE EXPERIMENTAL LANDFILL NPO GIDROTEKHPROEKT.....	165
<i>Vinogradov S.Y., Bruno M., Izquierdo A.</i> A COASTAL ENVIRONMENTAL OBSERVATORY FOR THE SOUTHWESTERN IBERIAN PENINSULA (OCASO PROJECT).....	170
<i>Vinogradona T.A., Kolupaeva A.D., Shikhov A.N., Makarieva O.M., Nesterova N.V.</i> MODELING AND ANALYSIS OF THE FLOOD IN JUNE 2019 ON THE IYA RIVER (IRKUTSK REGION).....	175
<i>Voinov G.N., Piskun A.A.</i> THE PROBLEM OF QUALITY OF WATER LEVEL OBSERVATIONS AT POLAR STATIONS OF THE ARCTIC SEAS (ON THE EXAMPLE OF THE GULFS OF OB AND TAZ).....	179
<i>Drozдов V.V., Volkov Y.S.</i> ENVIRONMENTAL SAFETY OF INDUSTRIAL FISHERIES IN THE BALTIC SEA REGION.....	182
...	
<i>Vtorova A.I., Myakisheva N.V.</i> MULTI-CRITERIA CLASSIFICATION OF RESERVOIRS OF THE SOUTHERN URALS.....	187

<i>Vuglinsky V.S., Kuznetsova M.R.</i> CHANGING OF WATER LEVEL REGIME FOR LARGEST WORLD'S LAKES UNDER GLOBAL WARMING.....	191
<i>Gavrikov S. A.</i> ACCOUNT OF CONNECTION OF HYDROLOGICAL REGIME OF TERRITORIES WITH THEIR FOREST COVER IN CALCULATIONS OF RIVER FLOW.....	196
<i>Gavrilenko G.G., Zdorovenнова G.E., Zdorovenнов R.E., Volkov S.Yu., Efremova T.V., Palshin N.I., Bogdanov S.R., Terzhevik A.Yu.</i> SPATIAL INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE FIELD IN ICE-COVERED LAKES.....	200
<i>Gagulina N. L.</i>	205
<i>Gaidukova E.V., Victorova N.V., Shanochkin S. V.</i> LONG-TERM ASSESSMENT OF ANNUAL RUNOFF OF THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA.....	210
<i>Gitarskiy M.L., Marunich A.S., Shilkin A.V., Zamolodchikov D.G., Korotkov V.N., Blinov V.G.</i> THE INSTRUMENTAL MONITORING OF WATER REGIME FOR SOUTH TAIGA SPRUCE FOREST AT "LOG TAIGA" EXPERIMENTAL SITE OF VALDAI BRANCH OF STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE	214
<i>Govor A. A., Shelutko V.A.</i> THE MONITORING ISSUES OF NITROGENS INTO NEVA RIVER RUNOFF.....	218
<i>Gogoberidze G., Kos'yan R., Rumiantceva E.</i> SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF KRASNODAR KRAI COASTAL MUNICIPALITIES.....	221
<i>Gordeeva S.M., Malinin V.N.</i> BASED ON DECISION TREES METHOD PREDICTING OF EUROPEAN RUSSIA RIVERS ANNUAL RUNOFF	225
<i>Goroshkova N.I.</i> FORECAST METHOD FOR THE MAXIMUM SHUTTER LEVELS IN THE TOP AMUR SWIMMING POOL.....	229
<i>Greк E.N., Zhuravlev S.A.</i> LONG-TERM CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF RAINFALL FLOODS AND PRECIPITATION AT THE RUSSIAN PART OF THE BALTIC SEA BASIN.....	236
<i>Grechushnikova M. G., Repina I. A., Kazantsev V. S., Lomov V. A.</i> MEASURING OF METHANE FLUX COMPONENTS BY FLOATING CHAMBERS METHOD.....	239
<i>Grigorov N., Nikitina V.</i> SENSIBILITY AND HEAT INERTIA OF ACTINOMETER DEVICES.....	242
<i>Grigorieva E.A.</i> DYNAMICS OF HEAT AND COLD WAVES IN THE BASIN OF AMUR RIVER.....	247
<i>Michnevitch G.S., Novikova E.P., Gritsenko V.A.</i> INTEGRATED ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL THREAT OF MUNICIPAL SOLID WASTE POLYGONS ON THE UNDERGROUND WATERS OF THE KALININGRAD REGION.....	251
<i>Davlatov Endir, Asisova Gulnara</i> HYDROMETEOROLOGICAL EDUCATION AND TRAINING AT THE REGIONAL EDUCATIONAL CENTER OF THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN.....	256
<i>Davydenko E.V.</i> INFLUENCE OF BASIN SHAPE ON STATISTICAL CHARACTERISTICS OF LAKE LEVEL SERIES.....	258
<i>Danilenko A.O., Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu.</i> TO THE PROBLEM OF THE MINERALIZATION AND SULFATE CONCENTRATIONS INCREASING IN THE WATER OF YAMAL RIVERS	262

<i>Danshina A.V.</i> ESTIMATE OF THE EFFECT OF ICE COVER ON THE STATE OF HYDROPHYSICAL PARAMETERS OF THE ARCTIC REGION WATERS IN MODERN CLIMATE CONDITIONS BASED ON MODELING CALCULATIONS.....	267
<i>Dvinskikh S. A., Zinoviev E. A., Kitaev A. B.</i> THE INFLUENCE OF WARM WATER DISCHARGES ON THERMAL, HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL REGIMES OF KAMA RESERVOIR IN PERM HYDROELECTRIC POWER STATION AREA (DOBRYNKA).....	271
<i>Dvoeglazova K.S., Shelutko V.A., Goroshkova N.I.</i> EVALUATION OF THE THERMAL AND ICE REGIMES OF THE NORTHERN DVINA BASIN RIVERS.....	274
<i>Deviatov V.S.</i> ABOUT COGNITIVE METHODOLOGIES AND CREATIVITY OR “HEY, YOU! ARE YOU, SCIENTIST, DO IT ONLY BY YOURSELF?”	278
<i>Demidenko N.A., Alabyan A.M., Panchenko E.D.</i> THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE MACROTIDAL ESTUARIES MEZEN AND KULOY.....	282
<i>Demchuk V.A., Moiseeva N.O.</i> PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL SUPPORT OF AIRCRAFT FLIGHTS IN THE ARCTIC AREAS.....	286
<i>Denisov V.V., Svetlova M.V.</i> KOLA PENINSULA AND ADJACENT MARINE WATERS AS A MATTER GEOCARCASS MODELING IN THE INTERESTS OF RATIONAL MANAGEMENT OF MARINE AND TERRESTRIAL PROTECTED NATURAL AREAS SUB-ARCTIC REGION.....	290
<i>Dzhamalov R. G., Reshetnyak O. S., Safronova T. I., Vlasov K. G., Galagur K. G.</i> HYDROCHEMICAL RUNOFF AND POLLUTION DEGREE IN THE KAMA BASIN.....	294
<i>Dmitriev V.V., Zueva N.V., Ogurtsov A.N., Primak E.A.</i> ECOLOGICAL STATUS AND ENVIRONMENTAL WELL-BEING OF A WATER OBJECT: AXIOLOGY AND ASSESSMENT.....	297
<i>Dolgoborodova Yu.A., Alexeev D.K.</i> POLLUTION AND TROPHIC STATUS ASSESSMENT OF THE OKHTA RESERVOIR.....	301
<i>Dregval M.</i> THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE TO THE DURATION OF THE TERM OF NAVIGATION ON THE RIVER NORTH DVINA.....	304
<i>Drozdov V.V., Mobarakkyza Z.</i> CLIMATIC CHANGES AND THEIR ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES IN RIVER BASINS OF LOWER VOLGA, KAZAKHSTAN AND CENTRAL ASIA.....	307
<i>Dubrovskaya K.A.</i> ASSESSMENT OF THERMAL REGIME CHANGES IN LAKES OF OB-IRNYSH REGION	310
<i>Dyment L.N., Losev S.M.</i> SPATIAL FEATURES OF THE DENSITY OF DISCONTINUITIES IN THE ICE COVER OF THE SUB-ATLANTIC PART OF THE ARCTIC BASIN.....	312
<i>Egorova E.S., Yulin A.V., Vyazigina N.A.</i> THE STUDY OF SEASONAL VARIABILITY OF ARCTIC SEA ICE EXTENT WITH THE USE OF CLUSTER ANALYSIS.....	317
<i>Elkin D.N., Zatsein A.G.1, Salavatova L.I</i> LABORATORY STUDY OF THE INFLUENCE OF ROUGHNESS ON THE COASTAL DOWNWELLING CURRENT AND THE BOTTOM EKMAN LAYER RELATED TO IT	321
<i>Gronskaya T.P., Ereemeva A.O., Litova T.E.</i> CALCULATIONS OF WATER MANAGEMENT BALANCES DURING IMPLEMENTATION OF WATER MANAGEMENT PROGRAMS IN ST. PETERSBURG AND LENINGRAD REGION.....	325

<i>Eremina T.R., Naumov L.M., Isaev A.V.</i> MODELING OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE GULF OF FINLAND BASED ON BENTHIC MODULE OF THE ERSEM.....	329
<i>Eremina T.R., Ershova A.A.</i> MARINE LITTER MONITORING IN THE EASTERN GULF OF FINLAND.....	333
<i>Efimov V.A., Magritsky D.V., Efimova L.E.</i> MONITORING THE DRAIN OF STRAINS AND THE QUALITY OF WATER IN THE MOUTH OF R. KOLYMA UNDER THE CONDITIONS OF SUMMER SEASON 2019.....	336
<i>Zhigulsky V., Gogoberidze G., Shilin M., Mamaeva M., Rumiantceva E., Bobylev N., Nazarova A.</i> COASTAL GEOSYSTEMS: FEATURES AND LEGALITY OF THE CONCEPTUAL APPARATUS IN THE RUSSIAN FEDERATION.....	339
<i>Zhigulsky V., Bogush A., Nazarova A., Mamaeva M., Shilin M.</i> DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES AND INNOVATIONS IN THE FIELD OF SUSTAINABLE SHORE USE AND COASTAL ZONE MANAGEMENT OF THE GULF OF FINLAND AS PART OF THE PROJECT “GET READY”	344
<i>Zhuravin S. A., Gurevich E. V., Makarov M. L.</i> CHANGES OF SMALL RIVERS FLOW FORMATION PROCESSES DUE TO LONG-TERM CLIMATE VARIATIONS (ON THE BASIS OF THE WATER BALANCE STATIONS).....	350
<i>Zhuravleva A.D., Batuev V.I.</i> RUNOFF MODELING FOR WETLAND CATCHMENTS ON THE BASIS OF ROSHYDROMET SPECIALIZED NETWORK OBSERVATIONS.....	354
<i>Zavyalova E.V, Morozova S.V., Polyanskaya E.A.</i> SYNOPTIC-STATISTICAL METHOD OF LONG-TERM FORECAST OF ANOMALLY HOT TEMPERATURE CONDITIONS IN THE LOWER VOLGA REGION	358
<i>Zadonskaya O.V., Kuznetsova O.M.</i> VARIATION OF POLLUTANTS CONCENTRATIONS AND RUNOFF BY THE LENGTH OF NEVA RIVER.....	363
<i>Zadonskaya O.V.</i> WATER RUNOFF MODE CHANGES IN THE LARGE NORTH-WEST RIVERS IN THE XXI CENTURY.....	368
<i>Zamolodchikov D.G., Shilkin A.V., Gytarsky M.L., Karelin D.V., Ivaschenko A.I.</i> THE INFLUENCE OF EXTREMAL DROUGHT ON CO ₂ EXCHANGE IN SOUTH TAIGA SPRUCE FOREST AT EXPERIMENTAL SITE “TAEZHNY LOG” OF VALDAY BRANCH OF STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE.....	373
<i>Zauribek A.K.</i> CONCEPTUAL BASICS FOR IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL CONDITION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN THE FUTURE (PROPOSALS).....	378
<i>Zakharchuk E. A., Tsepelev V.Yu., Tikhonova N.A., Gusev V.N., Bessan G.N.</i> IF SAINT PETERSBURG POSSIBLE HAZARDOUS AND CATASTROPHIC FLOODS DURING OPERATING DAM.....	383
<i>Zinoviev A.T., Dyachenko A.V., Koshelev K.B., Marusin K.V.</i> NATURAL OBSERVATIONS AND MATHEMATICAL MODELING OF THE DYNAMICS OF THE RUSAL FLOW ON THE OB REGION AREA AT WATER INTAKE 1 OF BARNAUL CITY.....	386
<i>Zinchenko V.A. Koldunov A.V., Gordeeva S.M.</i> ESTIMATION OF THERMOCHALINE VORTEX ADVECTION IN THE LOFOTEN BASIN OF THE NORWEGIAN SEA.....	388

<i>Zinchenko V.A., Koldunov A.V., Gordeeva S.M.</i> EDDY DYNAMICS OF THE LOFOTEN BASIN: STATISTICAL DISCRPTION.....	392
<i>Ivakhov V. M., Paramonova N. N., Privalov V. I., Zinchenko A. V., Semenets E. S., Karol I. L., Kiselev A. A., Polishchuk V. Y.</i> INFLUENCE OF WATER LEVEL VARIATIONS IN THE OB GULF ON GREENHOUSE GAS FLUXES IN THE LITTORAL ZONE.....	395
<i>Bespalova L.A., Tsygankova A.E., Bespalova E.V., Ioshpa A.R.</i> STORM SURGES AND THEIR ROLE IN THE INTENSIFICATION OF COASTAL PROCESSES OF THE SEA OF AZOV AGAINST THE BACKGROUND OF SEA LEVEL RISE	398
	401
<i>Imanov F.A., Mammadov Kh.B.</i> CHANGES OF THE ANNUAL FLOW OF ARAS RIVER	404
<i>Inisheva L. I., Kobak K.I., Turchinovich I.E.</i> CLIMATE INFLUENCE ON THE RATE OF CARBON ACCUMULATION IN SWAMPS IN THE HOLOCENE (ON THE EXAMPLE OF THE TAIGA ZONE OF WESTERN SIBERIA).....	408
<i>Baryshnikov N.B., Isaev D.I., Kuzmin Yu.A., Lagay N. V</i> DRAWING WATER FLOW CURVES TO LEVELS IN ENGINEERING SURVEYS.....	413
<i>Kazakov E.E., Zhuravlev S.A., Kurochkina L.S., Ayzel G.V.</i> GEOINFORMATION WEB SERVICE FOR ANALYSIS AND VISUALIZATION OF DATA ON CLIMATE AND HYDROLOGICAL REGIME OF THE NORTH-WEST OF RUSSIA.....	418
<i>Kalavichchi K.A., Bashmachnikov I.L</i> MANIFESTATION OF POSITIVE FEEDBACK MECHANISM IN THE BARENTS SEA ACCORDING TO REANALYSIS.....	421
<i>Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V., Bogdanova K.A.</i> SPATIAL INHOMOGENEITY OF SPRING FLOOD RUNOFF FORMATION ON THE RIVERS OF THE VOTKINSK RESERVOIR CATCHMENT.....	425
<i>Kalyuzhny I.L., Batuyev V.I.</i> EFFECT OF CLIMATIC FACTORS ON THE FORMING OF SWAMP TEMPERATURE REGIME AND FREEZING PROCESS.....	429
<i>Katolikov V.M., Katolikova N.I.</i> NIKOLAY EVGENYEVICH KONDRATYEV - CREATOR OF THE HYDROMORPHOLOGICAL THEORY OF RIVER CHANNEL PROCESSES.....	435
<i>Kileso A.V., Gritsenko V.A.</i> GEOECOLOGICAL THREAT OF THE COASTAL ZONE OF THE SOUTH-EAST BALTIC.....	440
<i>Kireeva M.B., Rets E.P., Samsonov T.E., Frolova N.L.</i> USING AUTOMATIC HYDROGRAPH SEPARATION (GRWAT ALGORITHM) FOR GENETIC ANALYSES OF FLOW COMPOSITION.....	443
<i>Kirilova A.A., Frolova N.S.</i> RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN KANDALAKSHA BAY OF WHITE SEA DURING SUMMER PERIOD BASED ON NATURAL DATA.....	447
<i>Klubov S.M., Tretyakov V.Yu.</i>	451
<i>Klyachkin S.V., Guzenko R.B., May R.I., Sapershtein Ye.B., Sergeyeva I.A., Yaroslavtseva S.I.</i> METHODOLOGY, TECHNOLOGY AND RESULTS OF NUMERICAL ICE FORECASTS WITH ADVANCE PERIOD UP TO 5 DAYS FOR THE RUSSIAN ARCTIC AND FREEZING NON-ARCTIC SEAS	456
<i>KOZLOVA A.V., ZUEVA N.V.</i> EVALUATION OF THE QUALITY OF THE HEADWATERS OREDEZH RIVER BY HYDROCHEMICAL AND TOXICOLOGICAL INDICATORS (2016-2017).....	461

<i>Kolupaeva A.D., Vinogradona T.A., Ostashov A.A., Makarieva O.M., Nesterova N.V.</i> MODELING OF THE MAXIMUM CHARACTERISTICS OF THE FLOW OF THE MOUNTAIN RIVER HEMCHIK (REPUBLIC OF TYVA).....	463
<i>Danilenko A.O., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu., Reshetnyak O.S.</i> CHARACTERISTIC OF CHEMICAL SUBSTANCES' LEVELS AND HYDROCHEMICAL ANOMALIES IN THE RIVER WATERS OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION.....	467
<i>Konokova A.V.2, Krupina A.A.1, Vorontsova A.S.3, Stepanova N.B.</i> ASSESSMENT OF SANDY BEACHES' POLLUTION ON THE BASIS OF VARIOUS MONITORING METHODS ON THE COAST OF THE BALTIC SPIT.....	471
<i>Korneev O.Y.</i> MODIFICATION OF THE OBJECTIVE ANALYSIS METHOD FOR SURFACE LEVEL PRESSURE ABOVE ARCTIC OCEAN IN CASE THE LIMITED OF THE INITIAL HYDROMETEOROLOGICAL DATA AND USING OF THE NATURAL ORTHOGONAL FUNCTION.....	475
<i>Kositskiy A.G., Bogutskaya E.M.</i> STUDY OF REGULARITIES OF RUNOFF FORMATION OF THE CRIMEAN RIVERS.....	481
<i>Kostenko I.</i> «TOWARD HIGHER ADAPTIV CAPACITY IN URBAN WATER MANAGEMENT» (ACRONYM – RAINMAN) OF PROGRAMME SOUTH-EAST FINLAND – RUSSIA 2014-2020.....	485
<i>Kotova A.K., Voyakina E.Ju.</i> ESTIMATE OF THE STATE OF KONEV LAKES OF THE VALAAM ARCHIPELAGO BY A NUMBER OF LIMNOLOGICAL PARAMETERS.....	489
<i>Kotovich N.G. , Vasilevskaya L.N.</i> METHOD FOR FORECAST AND ANALYSIS OF THE WARM CORE IN CYCLONS BY MEANS OF NUMERICAL SIMULATION.....	493
<i>Krutikov E.S., Vasilevskaya L.N.</i> FEATURES OF WEATHER CONDITIONS OF SUMMER FAR EASTERN MONSOON IN THE SOUTH OF PRIMORSK REGION 2013 – 2019.....	496
<i>Kuznetcov A.A., Shevchuk O.I.</i> CHZNGE IN OCEAN SURFACE TEMPERATURE AFTER THE PASSAGE OF TROPICAL CYCLONES IN THE ATLANTIC OCEAN.....	450
<i>Kuzmina A.A. , Nosal A.P., Vlaskin V.F.</i> PROBLEMS OF MONITORING WATER-PROTECTED ZONES IN THE MODERN SYSTEM OF STATE MONITORING OF WATER OBJECTS.....	504
<i>Yakovleva T. I., Kucherenko O. E.</i> EVALUATION OF THE CHANNEL CAPACITY DURING THE EXTREME FLOODS ACCORDING TO DATA ON WATER DISCHARGES MEASURED IN GAGING SECTIONS AND THEIR EXTRAPOLATION BEYOND THE MEASUREMENT RANGES (ON THE EXAMPLE OF THE KUBAN AND THE AMUR RIVERS).....	509
<i>Lavrov S.A., Zhiltsova E.L., Shapovalova K.O.</i> INFLUENCE OF CLIMATIC CHANGES ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF RUSSIAN CRYOLITZONE: REANALYSIS AND NUMERICAL EVALUATIONS	513
<i>Lebedeva S.V., Panchenko E.D., Leummens M.</i>	518
<i>Legotina P.A., Timofeyeva L.A.</i> WATER REGIME OF SMALL RIVERS ACROSS DIFFERENT LANDSCAPES IN THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA BASIN.....	522
<i>Lissovsky Andrew J.</i> IMPLEMENTATION OF INTERNATIONAL REGULATORY ACTS IN RUSSIA IN THE FIELD OF NOISE POLLUTION OF UNDERWATER ENVIRONMENT.....	526
<i>Litina E. N., Zakharchuk E.A.</i> CHANGE OF OXYGEN REGIME IN THE BALTIC SEA AT THE END OF THE XX - THE BEGINNING OF THE XXI CENTURIES.....	530

<i>Lobanov V.A.</i>	534
<i>Lobanova A. G., Georgievsky V. Yu.</i> REGULARITIES OF LONG-TERM FLUCTUATIONS OF EXTREME FLOW OF THE RIVERS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN MODERN SITUATIONS.....	547
<i>Lopukha V.O., Fedoseeva N.V.</i> USE OF MULTISENSOR SATELLITE REMOTE SENSING DATA FOR INTERPRETATION OF OIL SPILLS ON THE WATER SURFACE.....	552
<i>Babkin A.V., Babkin V.I., Madibekov A.S., Mussakulkyzy A., Cherednichenko A.V.</i> FORECASTS OF RUNOFF OF ILI RIVER UPPER AND LOWER KAPCHAGAYSKAYA DAM TAKING INTO THE ACCOUNT THE HIDDEN HARMONICS IN ITS VARIATIONS WITH THE LENGTHS OF PERIODS IN THE DIAPASON OF 10 – 35 MONTHS.....	556
<i>Mazurov G.I., Akselevich V.I.</i> ROLE OF WATER AND AIR FLOWS IN REDISTRIBUTION OF SOLID FLOATING IMPURITIES IN THE OCEAN.....	562
<i>Molodyhina S.V., May R.I.</i> STOCHASTIC SIMULATION OF SPATIAL-TEMPORARY VARIABILITY OF THE ICE COVER OF THE KAR SEA.....	567
<i>Makarova M.A., Shelutko V.A.</i> METHOD FOR EVALUATING THE MAXIMUM VALUES OF CONCENTRATIONS OF NUTRIENTS IN THE RIVER RUNOFF (ON THE EXAMPLE OF THE VELIKAYA RIVER).....	571
<i>Malysheva A.A., Kubryakov A.A., Koldunov A.V., Belonenko T.V.</i> AN ESTIMATE OF THE AGULHAS LEAKAGE USING ALTIMETRY AND ARGO DATA.....	575
<i>Mamaeva Maria, Pryakhina Galina, Georgievsky Mikhail</i> SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL COOPERATION BETWEEN SPBSU CHAIR OF LANF HYDROLOGY AND STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE.....	579
<i>Mammedov S.A., Lobanov V.A.</i> SPATIOTEMPORIAL REGULARITIES OF PRECIPITATION AND ITS CLIMATIC CHANGES IN THE INTERNAL AREAS OF THE ASIAN CONTINENT.....	581
<i>Markelova T.G.</i> MOST OF THE YEAR IN THE ESTIMATED WATER LEVELS AT THE MOUTH OF THE TOSNA RIVER.....	588
<i>Martyanov S.D., Dvornikov A.Yu., Ryabchenko V.A., Sein D.V.</i> MODELING OF INTERACTION BETWEEN PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROCESSES IN THE ARCTIC SEAS.....	591
<i>Rechetnikov F.Y., Bubenchikov S.V., Marunich A.S.</i> PERSPECTIVES OF EXPERIMENTAL RESEARCHES IN THE EXPERIMENTAL SITE OF THE VALDAY BRANCH OF THE STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE	595
<i>Makhovikov A.D., Smagin R.E., Ivanov M.V.</i> HYDROLOGY FEATURES OF SUHAYA SALMA STRAIT, WHITE SEA.....	599
<i>Melnichuk A.Y., Melnichuk Y.V., Marunich A.S., Varentsova N.A., Savelov E.L</i> OPERATIONAL ESTIMATION OF THE WATER LEVEL'S DYNAMIC ON SMALL RIVERS USING THE RADAR PRECIPITATION DATA.....	604
<i>Melnichuk Yu.V., Marunich A.S., Bubenchikov S., Melnichuk A.Yu.</i> FIELD TESTS OF WEIGHING PRECIPITATION GAUGES ON THE VALDAI POLYGON OF SGI – REFERENCE WMO. RESULTS AND RECOMMENDATIONS.....	608
<i>Miskevich I.V.</i> SOME FEATURES OF THE MARINE WATER PENETRATION IN THE RIVER MOUTH IN THE SEAS OF THE WESTERN SECTOR OF THE RUSSIAN ARCTICS IN THE WINTER	613

<i>Mikhailovsky Yu.P., Sinkevich A.A., Abshayev A.M., Adjyev A.H., Popov V.B., Toropova M.L., Kashleva. L.V.</i>	ABOUT POSSIBILITY OF THE FORECAST AND THE DIAGNOSIS OF DANGEROUS PHENOMENA WEATHER DATA ON LIGHTNING FREQUENCY.....	616
<i>Mikhnevich G.S., Krechik V.A., Krek A.V., Danchenkov A.R.</i>	HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GROUNDWATER DISCHARGE IN THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA.....	620
<i>Mishchenko A.V., Timofeeva A.B., Pavlova E.A., Sharatunova M.V., Khotchenkov S.V., Egorova E.S.</i>	DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL AND ICE CONDITIONS IN THE ARCTIC IN THE ARCTIC IN THE PERIOD OF 2013-2018 AFTER THE EXTREME REDUCTION OF ICE COVER 2012.....	624
<i>Moreydo V.M.</i>		628
<i>Moseykova A.M., Shelutko V.A.</i>	DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND ASSESSMENT OF ECOLOGICALLY SUFFICIENT RIVER FLOW.....	633
<i>Mkhanna A.I., Khusien S.KH.</i>	A SUGGESTED SIMPLE MODEL FOR EVALUATING MAXIMUM CROSSWIND CONCENTRATION OF AIR POLLUTANTS	635
<i>Naumenko M.A., Guzivaty V.V., Karetnikov S.G.</i>		639
<i>Naumov L.M., Gordeeva S.M.</i>	THERMOCHALINE ADVECTION IN THE LOFOTEN EDDY REGION.....	642
<i>Naurozbayeva Zh.K., Lobanov V.A.</i>	PECULIARITIES OF CLIMATIC CHANGE IN THE CASPIAN REGION AND THEIR IMPACT ON THE ICE REGIME.....	647
<i>Novoselova E.V., Belonenko T.V.</i>	SEASONAL VARIABILITY OF THE BAROCLINIC ROSSBY RADIUS OF DEFORMATION IN THE LOFOTEN BASIN.....	652
<i>Nosal A.P., Lapina T.V., Toporkova A.A.</i>	ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF WATER PROTECTION ZONES DURING STATR MONITORING OF WATER BODIES.....	656
<i>Odinokova K.D., Primak E.A.</i>	COMPARATIVE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE STABILITY OF AN ANTHROPOGENIC TRANSFORMED WATER BODY UNDER NATURAL AND ANTHROPOGENIC CONDITIONS CHANGES.....	661
<i>Orlova E.V., Kuznetsov V.N.</i>	GROUND - BASED AND REMOTE METHODS FOR ASSESSING THE DEVELOPMENT OF WATER-EROSION PROCESSES AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC IMPACT	665
<i>Pavlova E.A., May R.I., Mironov E.U., Hotchenkov S.V., Tarovik O.V.</i>	METHODS OF CALCULATING THE STATISTICAL PARAMETERS OF FAST ICE EDGE DISTRIBUTION.....	669
<i>Panov V.V., Zhenikhov Yu.N.</i>	METHODOLOGICAL AND METHODICAL DIFFICULTIES IN THE SOLUTION OF THE PROBLEM SUPPLY SEWAGE WATER IN THE MIRES.....	673
<i>Panchenko E.D., Leummens M., Lebedeva S.V.</i>	VARIABILITY OF THE FLOW VELOCITY FIELDS DURING A TIDAL CYCLE IN THE LARGE ESTUARIES OF THE WHITE SEA BASIN.....	678
<i>Paniutin N.A.</i>	ASSESSMENT OF QUALITY OF NATURAL WATERS OF THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE DUDERHOF LAKES.....	682
<i>Parshina T.V., Potapova T.M., Trushevsky V.L., Fedorov A.G., Panyutin N.A.</i>	EXPERIENCE OF ASSESSING WATER EXCHANGE OF URBAN WATER FACILITIES ON THE EXAMPLE OF SUZDAL LAKES.....	687

<i>Pedchenko A.P., Zubarevich V. L., Kodryan K. V., Toptygin M. Yu., Firsov Yu. L.</i> TRANSARCTIC CRUISE OF R/V "PROFESSOR LEVANIDOV": FEATURES OF OCEANOGRAPHIC CONDITIONS OF ARCTIC SEAS IN AUGUST-SEPTEMBER 2019.....	691
<i>Petrova T.N., Guseva M.A.</i> LONG-TERM MONITORING OF THE PHOSPHORUS CONTENT IN THE WATER OF LAKE LADOGA TRIBUTARIES.....	697
<i>Plink N.L., Kuznetsova M.N.</i> MODELS OF INTEGRATED MANAGEMENT OF MARITIME ACTIVITIES	701
<i>Poliakov A.D., Ershova A.A.</i> POLLUTION OF THE COASTS OF THE EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND WITH PLASTIC GRANULES.....	706
<i>Popov S.V., Pryakhina G.V., Kashkevich M.P., Grigoreva S.D., Sukhanova A.A., Boronina A.S.</i> APPLICATION OF RADIO-ECHO SOUNDING FOR STUDYING OF HYDROLOGICAL AND GLACIAL OBJECTS.....	710
<i>Porubaev V.S., Mironov E.U., Dymant L.N.</i> COMPARISON OF PARAMETERS OF STAMUKHAS IN THE CASPIAN, OKHOTSK AND ARCTIC SEAS.....	714
<i>Potapova T.M., Potapova T.V., Parshina T.V., Ladanova V.O., Kornaukhov I.O.</i> LAKE'S WATER-SALT BALANCE OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF SUZDAL LAKES, S. PETERSBURG	719
<i>Pryakhina G.V., Zelepukina E. S., Gavrilkina S.A., Solovyev V.A.</i> AN APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELLING TO ASSESS THE RUNOFF FORMING FROM UNDER-EXPLORED MOUNTAINS OF SOUTHERN SIBERIA.....	723
<i>Reznikov S. A., Tezikova N. B., Yakunina O. V., Adzhiev R. A.</i> ELEMENTS OF AN INTEGRATED MONITORING OF LAKE BAIKAL:THE DELTA FRONT OF THE SELENGA RIVER.....	726
<i>Reshetnyak O.C.</i> LENA RIVER MOUTH AREA: LONG-TERM TRENDS IN WATER QUALITY AND CONDITION OF HYDROBIOCENOSES	731
<i>Reshetnyak O.C., Kosmenko L.S., Danilenko A.O., Kondakova M.Yu., Reshetnyak V.N., Kovalenko A.A.</i> RIVERS OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: LONG-TERM TRENDS OF QUALITY AND DEGREE OF RIVER WATERS POLLUTION	735
<i>Reshin N., Baranova A., Kagukina S., Timofeeva L.</i> APPLICATION OF LANDSAT 8 SATELLITE IMAGES FOR EVALUATING WATER QUALITY CHARACTERISTICS OF LADOGA LAKE	739
<i>Romashova K.V., Vasilevich I.I.</i> EXPERIENCE OF MEASURING THE BRUDE RIVER WATER DISCHARGE (ARCH. SPITSBERGEN) MIXING METHOD (ION FLOOD METHOD).....	744
<i>Rumiantseva E.V., Shestakova E.N., Muzhdaba O.V.</i> TENDENCIES OF WATER RUNOFF AND ICE REGIME OF SIBERIAN ARCTIC ZONE.....	748
<i>Savichev O.G., Markov M.L., Potapova T.M., Zadonskaya O.V.</i> ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CONDITION OF SURFACES WATER OBJECTS IN THE TAIGA ZONE OF THE WESTERN SIBERIA AND SOME QUESTIONS OF NORMALIZATION OF SEWAGE DUMPS.....	754
<i>Saenko A. G. , Simakina T.E.</i> ONLINE TRAINING IN THE AREA OF METEOROLOGICAL MEASURING TECHNIQUE.....	758
<i>Sanets E.V., Kadatskaya O.V., Aucharova A.P.</i> HYDROCHEMICAL DIAGNOSTICS OF THE STATE OF WATER BODIES IN AN URBAN AREA (ON THE EXAMPLE OF MINSK).....	762

<i>Sanotskaya N.</i> LABORATORY MODELING OF A RIVER FLOW UNDER CONDITIONS OF AFFLUENT.....	768
<i>Sapunov V.B.</i> COMBINATION OF STATIC AND DINAMIC MODELS WITHIN ECOLOGICAL FORECAST	770
<i>Tretyakov V.Yu., Sarafanov M.I., Fedyakov V.E., Frolov S.V.</i>	775
<i>Sedova S.A.</i> DEVELOPMENT OF METHODS FOR THE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE WATER OBJECT ON THE EXAMPLE OF LAKE SUURI.....	780
<i>Semeoshenkova V.S.</i> APPLICATION OF THE DPSIR APPROACH FOR ANALYSIS OF SOCIO-ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE COASTAL ZONE OF KRASNODAR REGION.....	784
<i>Sikan A. V.</i> FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF KRITSKY-MENKEL AND ITS USE IN THE PRACTICE OF HYDROLOGICAL DESIGN.....	790
<i>Sirin A.A.</i> PEATLANDS AS WATER OBJECTS UNDER MODERN CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL CHANGE AND HUMAN IMPACT.....	795
<i>Sobotuk D.I., Zamarin G.A., Drabenko D.V.</i> PERSPECTIVE METHODS OF CARRYING OUT AIR PHOTOGRAPHY WITH UNLIMITED AIRCRAFT.....	798
<i>Sokolov D.I., Erina O.N., Tereshina M.A., Vilimovich E.N., Efimova L.E.</i> ORGANIC MATTER REGIME IN DIVERCE LAKES OF PROTECTED NATURAL AREAS.....	800
<i>Solovyev D.A.</i> THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE ECONOMY AND INFRASTRUCTURE OF THE RUSSIAN ARCTIC COAST.....	803
<i>Stupishina O.M., Golovina E.G.</i> THE ESTIMATION OF SPACE WEATHER FACTORS THOSE CAN AFFECT THE LOW ATMOSPHERE	808
<i>Sumachev A.E., Banshikova L.S.</i>	812
<i>Sukhachev V.N., Zakharchuk E.A., Voinov G.N., Tikhonova N.A.</i> MESOSCALE LEVEL FLUCTUATIONS IN THE GULF OF FINLAND.....	815
<i>R. A. Terekhova</i>	824
<i>Tereshina M.A., Erina O., Sokolov D.I., Efimova L.E., Chalov S.R.</i> SPATIAL VARIABILITY OF NUTRIENT CONCENTRATIONS IN THE MOSCOW RIVER.....	825
<i>Timofeeva A.B., Ivanov V.V., Yulin A.V., Khotchenkov S.V.</i> MULTIYEAR VARIABILITY OF ATMOSPHERIC PROCESSES AND ICE COVER IN THE LAPTEV SEA SINCE 1940.....	829
<i>Timofeyeva L.A.</i> IMPLEMENTATION OF COMPETENCY-BASED APPROACH IN UNDERGRADUATE HYDROLOGY EDUCATION.....	833
<i>Toropova M. L., Rusin I. N.</i> METHODS FOR FORECASTING AND ANALYSIS OF DANGEROUS CONVECTIVE PHENOMENA ACCORDING TO NUMERICAL MODELING FOR ST. PETERSBURG	837
<i>Travkin V.S., Belonenko T.V.</i> SEASONAL AND INTERANNUAL VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF MESOSCALE EDDIES IN THE LOFOTEN BASIN ON THE SATELLITE AND IN-SITU DATA	841
<i>Tretiakov M.V., Shiklomanov A.I., Shestakova E.N.</i> FEATURES OF LONG-TERM CHANGES IN THE RUNOFF OF THE OB RIVER.....	844
<i>M.A. Trubina, N.P. Povolotskaya, Kirilenko A.A., Prosolchenko A.V. Senik I.A.</i> MODEL ASSESSMENT OF THE BIOTROPIC WEATHER FOR MOUNTAIN RESORTS OF THE NORTH CAUCASUS (CAUCASUS MINERAL WATER REGION).....	849

<i>Trunin A.A., Muzhdaba O.V.</i> NEW DATA ON THE MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF LARGE RIVERS OF RUSSIA BASED ON THE USE OF GIS TECHNOLOGIES.....	854
<i>Trushevsky V.L., Potapova T.M., Parshina T.V., Kovalenko A.A.</i> EXPERIENCE OF HYDROLOGICAL RESEARCHES OF THE RIVERS OF THE TUAPSIN DISTRICT (Based on training practices).....	859
<i>Tiugaleva A. I., May R.I.</i> MAIN CHARACTERISTICS OF THE ICEBERG DRIFT CALCULATED ON THE BASIS OF THE NUMERICAL MODEL IMPEMENTATION.....	864
<i>Ugriumov A.I.</i> THE HISTORY OF HYDROMET THROUGH PERSONS	869
<i>Fasolko D.V., Akentyeva E. M., Klyueva M. V., Zadvornykh V.A.</i> ANALYSIS OF INFLUENCE OF OBSERVED CLIMATE CHANGE ON THE FUNCTIONING OF WATER DISPOSAL AND WATER TREATMENT SYSTEMS OF ST. PETERSBURG.....	871
<i>Fedorov A.M., Belonenko T.V.</i> PATTERNS OF THE OCEAN EDDIES INTERACTIONS IN THE LOFOTEN BASIN OF THE NORWEGIAN SEA.....	875
<i>Filatov N.N., Menshutkin V.V.</i>	878
<i>Fokina K.V., Bulgakov K.Yu.</i> NUMERICAL MODELLING OF BREEZE CIRCULATIION.....	882
<i>Solomonova I.V., Frolov A.V.</i> STATISTICAL INHOMOGENEITY IN THE LONG-TERM VARIATIONS OF THE WATER BALANCE OF DRAINAGE BASIN R. MEZEN.....	886
<i>Frolova A.V., Belonenko T.V.</i> DETECTION OF WAVEGUIDE FOR ROSSBY WAVES IN THE ANTARCTIC CIRCUMPOLAR CURRENT	891
<i>Frumin G.T., Malysheva N.A.</i> ENVIRONMENTAL TOXICOLOGICAL APPROACH TO INTEGRATED ASSESSMENT OF SURFACE WATERS.....	894
<i>Khaimina O.V., Denisov N.S., Kouzova N.I.</i> APPLYING THE NITRIFICATION INDEX FOR EVALUATING THE POLLUTION LEVEL OF WATERS IN WESTERN PART OF THE GULF OF FINLAND	899
<i>Khayrullin K.Sh., Obratsova M.Z.</i> HISTORY OF CREATION OF CLIMATE GUIDELINES OF RUSSIA IN GGO	903
<i>Khlebnikov D.V., Ivanov A.Yu., Konovalov B.V., Terleeva N.V., Desinov L.V., Soloviev D.M., Kucheiko A.A.</i> ANTHROPOGENIC POLLUTION IN THE RUSSIAN COASTAL ZONE OF THE BLACK SEA: A LOOK FROM SPACE.....	909
<i>Kholoptsev A.V., Podporin S.A.</i> CLIMATE WARMING IN THE FAR EAST OF RUSSIA IN SUMMER MONTHS AND ARCTIC AIR OUTBREAKS.....	914
<i>Chalov S.R., Chalova A.S., Tarasov M.K.</i> FLOODPLAIN INUNDATION EFFECTS ON SEDIMENT BUDGET SEASONALITY OF LARGE PLAIN RIVERS.....	918
<i>Chantsev V.Yu., Danshina A.V.</i> CALCULATION OF ICE LOADS ON PORT STRUCTURES BASED ON NUMERICAL MODELING.....	923
<i>Chebotarev A.S., Petrovskaya O.A.</i> COMPARISON OF EXPERIMENTALLY ESTABLISHED AND CALCULATED INCIPIENT MOTION VELOCITIES.....	927
<i>Cheremnykh AV, Skorik Ya.V., Podgaiskii E.V., Sabanchieva D.Kh., Fokicheva A.A.</i> PROJECT FIP_HYDROMET-ARCTIC: CHALLENGES OF TIME AND SOLUTION.....	932

<i>Cherkashin S.A.</i> ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN THE COASTAL ZONE OF THE JAPAN SEA USING BIOASSAY.....	936
<i>Chernov I.A., Tolstikov A.V., Iakovlev N.G.</i> HIGH-RESOLUTION NUMERICAL SIMULATION OF WATER AND SEA-ICE DYNAMICS FOR THE WHITE SEA.....	939
<i>Chernova M.A.</i> REVISION OF QUANTITY AND PARAMETERS OF SURFACE WATER COURSES IN THE BASIN OF THE VORONEZH RIVER.....	942
<i>Chernogaeva G.M., Zhuravleva L.R., Malevanov Yu.A.</i> MODERN TRENDS OF BUSINESS ACTIVITIES INFLUENCE ON THE RIVER RUN-OFF.....	947
<i>Chernyshev A.N., Stepanova A.B., Voyakina E.Ju.</i> INTERANNUAL VARIABILITY OF MAIN LIMNOLOGICAL PARAMETERS OF LESCHEVOYE LAKE (NATURAL PARK «VALAAM ARCHIPELAGO», LADOGA LAKE), 1998 – 2018.....	950
<i>Churiulin E.V., Kopeykin V.V., Frolova N.L., Rozinkina I.A.</i> EXPERIMENTS WITH NUMERICAL WHETHER PREDICTION MODEL COSMO-RU.....	954
<i>Shapkin B., Rubchenia A., Ivanov B., Smolanitsky V., Fedorova A.</i> SEASONAL AND LONG-PERIOD (TERM) CHANGES OF ICE CONDITIONS IN THE FRANTZ JOSEPH LAND DURING XX-XXI CENTURES	958
<i>Sharatunova M.V., Ulin A.V., Ivanov V.V.</i> FORMATION OF ICE CONDITIONS IN THE EAST SIBERIAN SEA AND THE DISTRIBUTION OF ICE IN SUMMER	962
<i>Sharina Yu.V.</i> THE REAL-TIME RIVER DISCHARGE COMPUTATION IN THE CONDITIONS OF ICE FORMATIONS.....	967
<i>Sharomov A., Mamaeva M.</i>	972
<i>Swed Y. V., Frolova N.S.</i> SATELLITE MONITORING OF INTENSIVE FLOWERING OF THE YELLOW SEA WATERS.....	979
<i>Shestakova E.N.</i> APPLICATION POSSIBILITIES OF COMPLEX AND INTEGRATED APPROACHES FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER RESOURCES OF THE SIBERIAN ARCTICE.....	984
<i>Shipko Yu.V., Balakin V.S., Zibrova N.V.</i> STRUCTURAL FEATURES OF THE PRE-ASIAN DEPRESSION AT 925 HPA ISOBARIC LEVEL.....	990
<i>Shishkina O.D.</i> LINEAR AND NON-LINEAR MECHANISMS OF SPATIAL TRNSFORM OF INTERNAL WAVES AT THE SHELF WITH HORIZONTAL AND INCLINED BOTTOM	995
<i>Shmakova M.V.</i> SPATIAL-TEMPORAL REGULARITIES OF TURBIDITY DISTRIBUTION IN THE WATER BODIES.....	1000
<i>A.V. Yulin, Cand.Sc., M.A. Mardarovskii</i>	1004
<i>Yagovkina E.A., Khaymina O.V., Kubyshkin N.V.</i> THE RESULTS OF A WAVELET ANALYSIS OF NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN OB BAY OF KARA SEA AND POSSIBILITY OF USING THEM FOR DEVELOPING A SHORT-TERM SEA LEVEL FORCAST.....	1009
<i>Iakovleva D. A., Bashmachnikov I. L.</i> REDISTRIBUTION OF MERIDIONAL OCEANIC HEAT FLUXES IN THE NORTHERN NORTH ATLANTIC FOR DIFFERENT PHASES OF NAO.....	1013
<i>Yakovleva T.I., Sharina Yu.V.</i> PROBLEMS OF REAL-TIME MONITORING OF THE RIVERS WATER REGIME AND WAYS OF THEIR SOLUTION ON THE EXAMPLE OF GAGING SITES OF THE KUBAN RIVER MIDDLE REACHES.....	1017

EUROPEAN METEOROLOGICAL SOCIETY – WHAT WE DO AND HOW WE DO IT

Bob Riddaway

President, European Meteorological Society

2019 marks the 20th anniversary of the founding of the European Meteorological Society. Over a 20-year period this society has become firmly established as a key part of the European meteorological community. Here a description is given of how the society was created along with information about its members and activities, and how the EMS and its Member Societies contribute to outreach, education and training.

What led to the creation of the EMS?

In mid-1991 Jon Wieringa, a member of the Dutch meteorological society (NVBM), realised that, in general there was little known about the meteorological societies in Europe. After some investigation, he managed to identify nine societies and by the end of the following year four more were detected. He found that there was only limited contact or collaboration between some societies based on location (e.g. Scandinavian societies) or language (e.g. German-speaking societies), but overall most societies operated with little or no knowledge of other societies.

In 1993 the first European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) was held in Oxford, UK. With the assistance of the Royal Meteorological Society, Jon Wieringa arranged for a meeting of representatives from meteorological societies to take place during ECAM. At the meeting there were representatives of 17 societies. It was recognised that the societies had many common interests and that having cooperation between societies was a possibility.

Another meeting of societies took place during the second ECAM held in Toulouse, France, in 1995. Discussions were based on information and recommendations obtained via a questionnaire sent to 20 societies in advance of the meeting. It was clear that there was interest in establishing cooperation in matters such as education and accreditation. At the end a mechanism was established for sharing ideas about cooperative activities and information about conferences, with René Morin from the French meteorological society (SMF) taking the lead.

Another meeting of meteorological societies was held during the third ECAM that took place in Lindau, Germany, in 1997. By this time René Morin had concluded that the informal mechanisms for supporting cooperation were not going to lead to all the benefits originally envisaged. He proposed that there should be a European Meteorological Society (EMS) as an association of individual meteorological societies. Eventually this was agreed and a working group was established to prepare a constitution and working arrangements for the new organisation. At the fourth ECAM in Norrköping, Sweden, in 1999 the EMS was finally established.

What is the membership of the EMS?

Initially the EMS was composed of 21 Member Societies, but it was soon recognised that it would be desirable for other weather-related bodies to be part of the EMS. This led to the establishment of Associate Members consisting of international organisations, National Meteorological Services and companies with a meteorological interest.

Figure 1 shows how the number of Member Societies and Associate Members has increased with time. It should be noted that some countries have more than one Member Society and that about half of the Associate Members are National Meteorological Services. Also the membership of the Member Societies vary enormously in terms of their size (ranging from about 15 members to over 3,000) and composition (proportion of academics, professionals and amateurs).

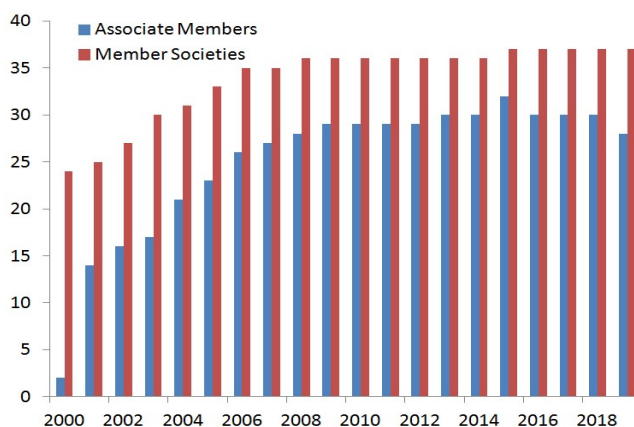


Fig. 1. Number of Member Societies and Associate Members of the EMS

What does the EMS do?

Figure 2 shows the mission of the EMS and its three key objectives. Two of these objectives are mainly concerned with fostering communication between EMS members and promoting their activities, but the last one is more outward looking. It is this one that supports activities associated with outreach, education and training. However, the resources directly available to the EMS consist of an Executive Secretary and a part-time assistant. This means that the EMS is dependent upon the commitment and enthusiasm of members drawn from its Member Societies and Associate Members, and has little scope for direct involvement in new activities.

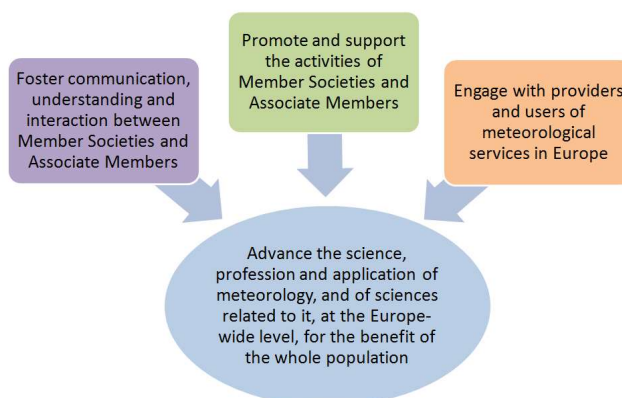


Fig. 2. Mission and objectives of the EMS

In the early days of the EMS it was thought that it could have a role in establishing a minimal meteorological programme for use in schools and a European accreditation scheme. Despite much thought and effort going into trying to make progress in these areas, a lack of resources, differing educational systems and lack of interest in accreditation meant that little was achieved. Indeed, that is still the situation and I think the founders of the EMS would be surprised and disappointed at that outcome. But they would be pleased that the EMS:

- Recognises achievement in meteorology, technology, journalism, outreach and communication, and weather forecasting through its awards programme.
- Supports early career scientists attend conferences and meetings.
- Facilitates the exchange of experience and expertise between meteorologists working in media through.
- Enhances communication between EMS members and sharing experiences through its website, social media and the issue of the *ems-message*.

But perhaps the main achievement is the establishment of the EMS Annual Meetings. These meetings are the main vehicles by which the EMS fulfils its mission and provides and supports activities associated with education and training.

What is the function of the EMS Annual Meetings?

The EMS Annual Meetings foster the exchange and cross-fertilization of ideas in the meteorological, climatological and related communities, focusing particularly on strategic issues relevant to the future of meteorology in Europe. It brings together contributors to the Earth-system monitoring, prediction and service provision from the public, private and academic sectors – the global weather enterprise.

The first EMS Annual Meeting was held in 2004. Since then the Annual Meetings have grown in both importance and size (see Figure 3). From 2006 the Annual Meetings were held in conjunction with the European Conference on Applied Climatology (ECAC) and the European Conference on Applications of Meteorology) in alternate years. In response to the increasing intertwined nature of weather and climate services this arrangement ceased after 2016. There is now an integrated programme with three streams as indicated in Figure 4. Also shown are the key cross-cutting topics that underpin these streams.

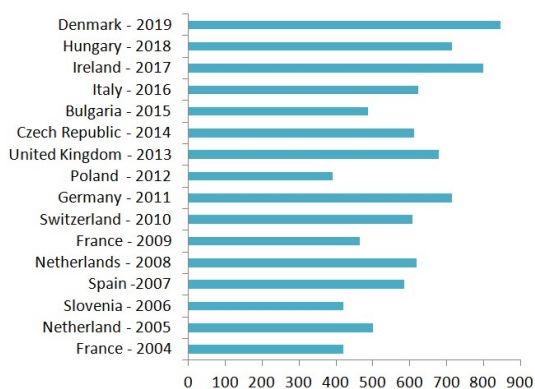


Fig. 3. Number of participants attending the EMS Annual Meetings.

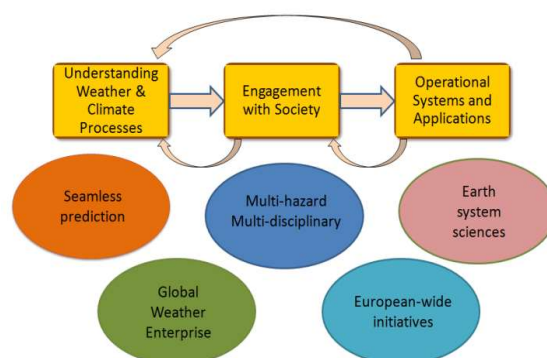


Fig. 4. The programme streams and five cross-cutting topics of the EMS Annual Meetings.

The following indicates the kind of topics covered in the programme streams.

- **Understanding Weather & Climate Processes (UP):** Atmospheric processes and severe weather, interactions within the Earth System, and climate modelling analyses and predictions.
- **Engagement with Society (ES):** Bringing benefits to society, communication and the media, communication of science, and education, training and accreditation.
- **Operational Systems and Applications (OSA):** Operational systems, applications of meteorology, and applications of climate research.

The UP and OSA streams cover topics associated with meteorological research, development and operations, but the ES stream recognises the growing importance of meteorologists engaging with society. Also, in recent years, the Annual Meeting has included a communications workshop which focuses on how to deal with the media. Another innovation is offering mentoring and training workshops to early career scientists.

Starting with the EMS Annual Meeting and ECAC 2006, short conference papers are published in the open access journal "*Advances in Science and Research – Contributions in Applied Meteorology and Climatology*". This makes the information presented at meetings available to a wide audience to support the enhancement of expertise and career development.

How do Member Societies contribute to outreach, education and training?

The EMS Member Societies carry out a wide range of activities associated with outreach, education and training. These activities are aimed at the general public, weather enthusiasts, students, teachers, decision makers and people with a professional interest in meteorology. The following gives just a few examples of such activities that are run or supported by three societies.

Royal Meteorological Society (UK)

- MetLink provides support and resources for teaching school students about weather and climate. In addition, teachers attend training days to enhance their knowledge of weather and climate, and weather instruments are loaned to schools free of charge.

- "Come Rain or Shine" is a free on-line three-week weather course, provided in conjunction with the University of Reading, for anyone wanting to learn about the physical processes behind the weather. Also one-day WeatherLive events are held for weather enthusiasts and the newsletter of *theWeather Club* provides interesting and educational content about the weather.

- A series of Climate Science Briefing Papers are produced which clearly and concisely explain important aspects of climate science (e.g. "What do we mean by climate change?" and "Attribution of extreme weather events: How does climate change affect weather?").

Météo et Climat (France)

- Awards are given to promote and encourage students from schools and colleges to carry out educational projects associated with meteorology, climate and related disciplines. Also Weather and Space Meetings allow school students and professionals to interact.

- "Le train du climat" is a travelling exhibition aboard a train to present information to the public on past, present and future climates. On its three-week journey in 2015 the train stopped at 19 cities and reached 23,000 people, including about 3,000 children and 1,000 decision makers.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft (Germany)

- Seminars are provided for teachers to enhance their understanding of meteorology with a view to them getting their students interested in the subject. Also an annual autumn-school for teachers is held to cover topics associated with meteorology and climate change.

- One-day events are held all over Germany whereby small groups of school students visit universities and institutes to get an overview of research activities. Also Hafencity of Hamburg organises an educational week for schools which involves various workshops, lectures and excursions dealing with the topics such as climate-change, weather, ecology and sustainability.

Note that the outreach, education and training activities of these three societies are not limited to those that have been listed. For example, there is involvement in activities such as (a) holding special events for early career scientists, members of the public, and scientists involved in research and development, (b) publishing journals, magazines and newsletters, and (c) running accreditations schemes.

What does the future hold?

Meteorology, which includes weather and climate, is increasingly entwined with the related disciplines of hydrology, oceanography and space weather. This affects the activities of the Member Societies, and in particular the content of the EMS Annual Meetings. It is important that these meetings continue to serve as a forum for the exchange of experience and expertise in a way that supports the global weather enterprise in a changing environment. Consequently, the Annual Meeting will seek to strengthen and broaden individual expertise by:

- Encouraging the running of training workshops and side events.
- Offering opportunities for early career scientists to be mentored.
- Increasing the profile and relevance of the journal "*Advances in Science and Research*".
- Supporting interaction between the public, private and academic sectors.
- Providing a high-quality forum in terms of scope, content and relevance.
- Bringing together experts in communication, education and training to share best practice and case studies.

Though the EMS will continue to facilitate the sharing of information about activities aimed at students, teachers and the general public, the carrying out of outreach and educational activities will mainly be performed by the Member Societies where account can be taken of language and national requirements.

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Абрамов Д. В.^{1,2}, Никифоровский А. А.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «НПО Гидротехпроект», Валдай, Россия

Abramov D. V.^{1,2}, Nikiforovsky A. A.²

¹ Saint Petersburg University, Saint Petersburg, Russia

² Ltd. Gidrotehproekt, Valday, Russia

В данной работе будут рассмотрены источники, которые являются причинами ошибок при оценке качества гидрологического моделирования. Так же будет предложен подход, который позволит уменьшить их влияние.

This paper will consider the sources that are the causes of errors in assessing the quality of hydrological modeling. Also, an approach will be proposed that will reduce their impact.

При современных темпах роста экономики в природе остаётся все меньше и меньше мест, которых не коснулась рука человека. Поэтому значительную роль в решении сопряженных гидрологических проблем приобретает физико-географическое моделирование процессов формирования стока. Подобное моделирование основано на современных информационно-цифровых методах.

Определенной трудностью является выбор надёжного метода оценивания качества и прогностической способности модельной информации. При этом таковой метод может являться как критерием «сходимости» полученных модельных данных в отношении наблюдаемых величин, так и выступать в роли целевой функции, по крайней мере, на фазе генерации модели. Сошлемся здесь только на мнение В. А. Кузьмина: «При калибровке модели необходимо помнить, что метод калибровки, вид целевой функции и выбранные обучающие выборки должны обеспечивать максимально точное отражение разных фаз гидрологического режима (включая подъем уровней, пик паводка или половодья, спад уровней и низкий сток) при различном порядке их чередования» [1]

Безусловно, нам необходимо проводить анализ источников расхождения относительно «реперной» (измеренной) величины модельных величин. По нашему мнению, таковыми являются:

- Приближенность описания процессов в самой модели, и связанная с ним неполнота использования всего корпуса исходной физико-географической информации. В первом приближении можно принять статистическую природу таких ошибок и очевидную зависимость их параметров от фазы гидрологического цикла.
- Неизбежная пространственно-временная дискретизация процессов и параметров, используемых модельными представлениями. Факторы подобного рода так же могут быть представлены стохастическими величинами, так же связанными с конкретной фазой гидрологического цикла.
- Неоднозначность процессов на всех элементах водосбора, которая испытывает явное тяготение к определённым фазам гидрологического цикла.
- Неполнота (фрагментарность) свода информационных материалов и вынужденная точность измерения опорных величин. Стохастическая природа этого источника

расхождения больших сомнений вызвать не может. Величина этой ошибки заметно зависит от фазы гидрологического цикла.

Из этого следует, что недостаточное внимание к физико-географическим особенностям гидрографа, без учёта конкретных географических условий, зональности и т. п. может привести к искажению параметров искомого метода.

На основании вышеизложенного мы предлагаем следующий порядок произведения процедуры построения критерия оценки качества гидрологического моделирования:

- 1) Оценка точности совпадения периодов соответствующих фаз гидрологического цикла – t . Оценка фаз выполняется соответствующим алгоритмическим образом, который учитывает смещение характерных точек измеренного и модельного гидрографов:
 - Начало зимней межени
 - Начало фазы половодья
 - Максимальная величина половодья
 - Конец фазы половодья
 - Глубокая межень

На рисунке 1 изображены точки гидрографа, характеризующие приведенные выше фазы.

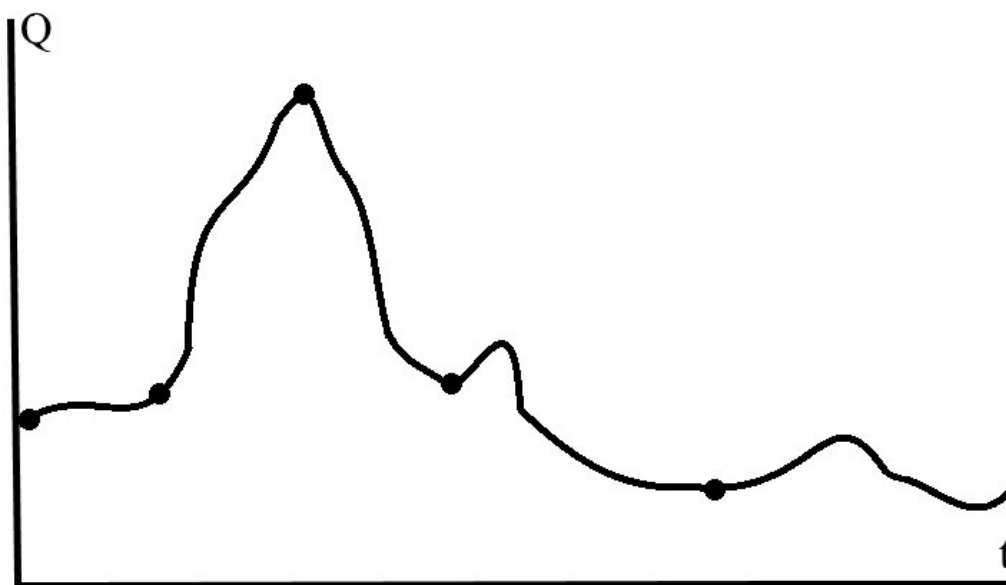


Рис. 1 – условный гидрограф с нанесенными точками характерных фаз гидрологического цикла

Оценка точности этого критерия определяется соотношением 1

$$t = \frac{k}{n} \quad (1)$$

где $k = \sum(t_{\text{изм.}} - t_{\text{мод.}})$ – сумма расхождений соответствующих точек на двух гидрографов, n – количество лет наблюдений.

- 2) Оценка расхождения амплитуд α , в каждой «реперной» точке, которая описана выражением 2.

$$\alpha = \frac{\sqrt{\sum (q_{изм.} - q_{имод.})^2}}{N} \quad (2)$$

где N – общее количество «реперных» точек.

3) Оценка по среднему h , приведенная в выражение 3.

$$h = \frac{\sum q_{изм.} - q_{имод.}}{\sum q_{изм.}} \quad (3)$$

Оценки могут служить опорными для разработчика модели, так как несоответствие делает невозможным делать какие-либо модельные представления. Если первые две оценки скорее говорят нам о правильности реакции модели на изменение условий, то третья отражает, собственно, водный баланс объекта во временной промежуток.

Однако, подобные критерии не могут служить достаточным основанием для предсказательной способности, «надёжности» модели.

Представляя «невязку» (несовпадение наблюдаемого и рассчитанного гидрографов) в качестве случайного фактора, можно ожидать зависимость его статистических характеристик от фазы гидрологического цикла. Предположив мерой неоднозначности дисперсию случайных величин ξ_i , принимая за случайную, так или иначе выраженную величину невязки в каждой i -й паре точек сравниваемых гидрографов.

Пусть $F(q) > 0$ некоторая неотрицательная функция, определённая на множестве Q . Примем $g_i = F(q_{i \text{ изм.}})$, а $p_i = F(q_{i \text{ мод.}})$, тогда пусть $D(\xi_i) = g_i^2 \cdot \sigma_0^2$, где $\sigma_0 > 0$ – некоторая ненулевая стандартная величина. Отметим, что $\zeta = \sum \xi_i$, обладает дисперсией $D(\zeta) = D(\sum \xi_i) = \sum D(\xi_i) = \sigma_0^2 \cdot \sum g_i^2$ в условиях попарной независимости наших случайных величин. Рассмотрим $\eta = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sum \frac{\xi_i}{g_i}$, $E(\eta) = 0$, $D(\eta) = \sigma_0^2$, тогда в предположении существования третьих моментов будут выполняться условия выполнения теоремы Ляпунова [2]. Следовательно, для оценки дисперсии по выборке получим выражение 4:

$$\overline{\sigma_0^2} = \frac{1}{(n-1)} \cdot \sum \frac{(q_{имод.} - q_{изм.})^2}{g_i^2} \quad (4)$$

Для получения целевой функции необходимо полученную величину нормировать той или иной мерой вариативности ряда измеренных значений.

С другой стороны оценкой неоднозначности необязательно является дисперсия случайных величин. В частности, определённым образом выбранная функция $F(q)$, может привести нас к иному критерию, одновременно могущим выступать и в качестве целевой функции. В некотором смысле такой критерий является аналогом расстояния Кульбека-Лейблера, а именно 5:

$$r = \frac{1}{2} \cdot \sum (g_i - p_i) \cdot \ln \frac{g_i}{p_i} \quad (5)$$

Отметим, что $r \geq 0$, и $r(g, p) = r(p, g)$, и, естественно, смысл g_i и p_i иной, чем вышерассмотренный.

«Удачный» выбор самой $F(q)$, в обоих подходах, как раз и зависит от территориальных, географических и других условий, что и является основой физико-географического подхода в моделировании.

Можно долго спорить о том, какой тип моделей, описывающих гидрологический процесс, делает это наиболее точно – что можно назвать «эталоном». Но при выборе критерия оценки качества гидрологического моделирования, ровно, как и при самом моделировании, не стоит забывать о тех географических особенностях, которые наблюдаются на той или иной реке.

Авторы придерживаются того мнения, что дальнейшая работа над критерием, который будет работать с отображениями исходной функции, при этом будет учитывать приведённые выше дополнительные подкритерии, в купе с физико-географическим подходом в моделировании, позволит повысить качество оценок гидрологического режима.

Литература

1. Кузьмин В. А. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: Фундаментальные основы и методология автоматической калибровки многопараметрических гидрологических моделей. / Санкт-Петербург 2010
2. Рихтмайер Р. Принципы современной математической физики. М.: Мир

ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА ВОД ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В БЕЗЛЕДНЫЙ ПЕРИОД ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

А.С. Аверкиев, д-р. геогр.наук, С.В. Лукьянов, канд.физ.-мат.наук, Ю.А. Татаренко, ассистент
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

THERMOCHALINE STRUCTURE OF WATERS OF THE EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND DURING THE ICE-FREE PERIOD BY EXPERIMENTAL DATA

A.S. Averkiev, Dr.Sc., S.V. Lukyanov, Cand.Sc., Yu. A. Tatarenko, Assistant
Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

Термохалинная структура вод Финского залива в безледный период при общей устойчивой стратификации очень изменчива. Это обусловлено не только разной степенью прогрева, но и динамическим режимом при смене синоптических условий. В частности, регулярно происходят случаи апвеллинга, каскадинга и формирование топографических вихрей. Приводится обзор и анализ данных наблюдений в безледный период отдельных лет за 2007-2019гг.

The thermohaline structure of the waters of the Gulf of Finland during the ice-free period, with general stable(steady) stratification, is very variable. This is due not only to varying degrees of heating, but also to the dynamic regime when synoptic conditions change. In particular, cases of upwelling, cascading, and the formation of topographic eddies regularly occur. A review and analysis of observational data in the ice-free period of individual years for 2007-2019 is given.

Вертикальная термохалинная структура вод восточной части Финского залива в безледный период является трехслойной. В данной работе на основе экспериментальных наблюдений, на фоне средних условий, показаны случаи проявления менее масштабных, но достаточно ярких, гидрофизических процессов в отдельных акваториях Финского залива.

В общем случае верхний перемешанный слой (ВПС) сильно распреснен стоками рек, в первую очередь Невой. Его соленость увеличивается с востока на запад от 1‰ до 4-5‰. Толщина у берега 2-5 м, в открытых районах 10-20 м. Осенне-зимняя конвекция захватывает слой до 60 м, а весенняя – порядка 20 м. Соответственно на глубине 60 м формируется холодный промежуточный слой толщиной в несколько метров с небольшим понижением температуры воды до нескольких десятых градусов.

Глубже ВПС располагаются термоклин и галоклин, причем их границы далеко не всегда совпадают. Галоклин формируется между поверхностными распресненными водами и придонным слоем трансформированных вод открытой части Балтийского моря. Термоклин образуется под влиянием теплообмена с поверхностью, который определяется сезонными и синоптическими условиями. Соответственно вполне возможны ситуации, когда на акватории с глубинами 10-20 м термоклин занимает всю толщу воды от поверхности до дна, а галоклин меняет свое положение на 1-2 м.

Придонный слой имеет довольно низкие температуры (2-5°C). Соленость его также увеличивается с востока на запад, достигая 5-7‰. Его мощность и характеристики определяется синоптическими условиями, в частности, сгонно-нагонными явлениями, которые могут вызвать как горизонтальные возвратно-поступательные колебания придонных плотностных потоков, так и формирование у берегов апвеллинга.

На рисунках 1-2 приведен пример мощного апвеллинга в Лужской губе, зафиксированный летом 1997 года экспедицией под руководством профессора А.В. Некрасова (зона апвеллинга на рисунках заштрихована). Тогда за 2-3 дня температура воды на поверхности на расстоянии порядка 5 км уменьшилась почти на 5° С, а соленость увеличилась на 0,5‰. Зона апвеллинга оттеснила на запад сток реки Луга возле самого устья, ориентированного на северо-восток, что говорит о значительном устойчивом динамическом воздействии упорядоченных вертикальных потоков. Как видно из рисунков, сетка станций наблюдений была довольно частой, что позволило с максимальной точностью выделить контур зоны апвеллинга, что само по себе является уникальным исследованием [1-3].

Надо отметить, что РГГМУ регулярно проводит наблюдения как в реке Луга (гидрологи), так и в Лужской губе (океанологи) с 1991 года. Эти данные были использованы в том числе при проектировании портового комплекса на восточных берегах Лужской губы [4, 5].

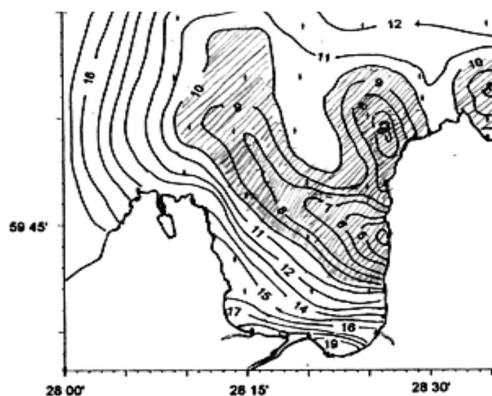


Рис.1. Распределение температуры в Лужской губе летом 1997 г.

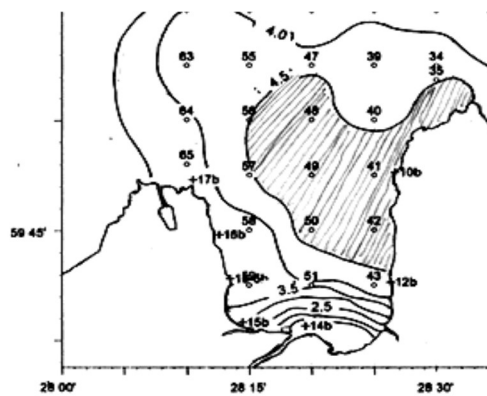


Рис. 2. Распределение солености в Лужской губе летом 1997 г.

Довольно интересными данными являются наблюдения за распределением температуры и солености в Лужской губе осенью 2001 года (рис. 3-4). На них зафиксировано образование ячеек гравитационной конвекции, которая, достигнув дна на мелководье, сформировала линзы воды повышенной плотности, которые стали скатываться по наклонному дну, вызвав каскадинг, т.е. конвекция получила горизонтальную составляющую. При этом в поле солености четко выделяется граница между зоной конвекции и поверхностным стоком реки Луга (рис. 4).

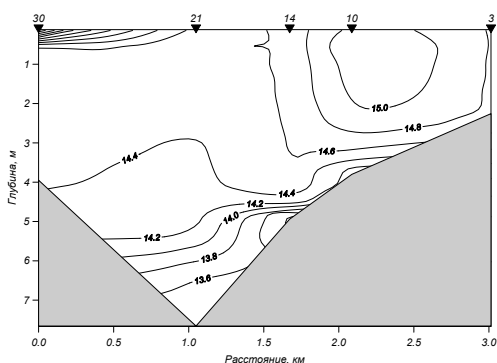


Рис.3. Распределение температуры на разрезе вдоль берега 04 - 05 сентября 2001 г.

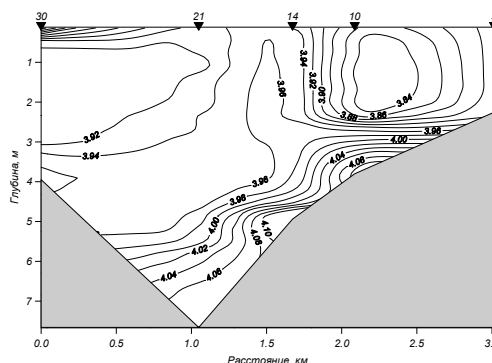


Рис. 4. Распределение солености на разрезе вдоль берега 04 - 05 сентября 2001 г.

В том же 2001 году в летний период было зафиксировано довольно редкое явление начала движения клина относительно холодной и соленой воды через створ недостроенной тогда дамбы КЗС на главном фарватере (рис. 5-6). Задачей экспедиции было инструментальное измерение морского волнения, для чего западнее дамбы был установлен самописец. После прохождения шторма прибор надо было снимать. Попутно было выполнено STD- зондирование и измерены профили скоростей течений. По рисункам видно, что на расстоянии несколько сотен метров разница температуры в придонном слое достигает почти 7° С, а солености больше 2‰. При этом скорость движения придонного плотностного клина на восток (против стока Невы) достигала 42 см/с.

Как правило, движения соленостного клина происходят в хорошо стратифицированных эстуариях, например, в Обской губе, во фьордах [6, 7]. Эстуарий Невы из-за малой разности солености таковым не является. Тем не менее, в створе дамбы в узкости все-таки сформировались условия для такого довольно интенсивного и не очень продолжительно явления. При этом известно, что в редких случаях этот клин достигает акватории порта Санкт-Петербург, продвигаясь по дну главного фарватера Морского канала на 25 км (в Обской губе до 270 км).

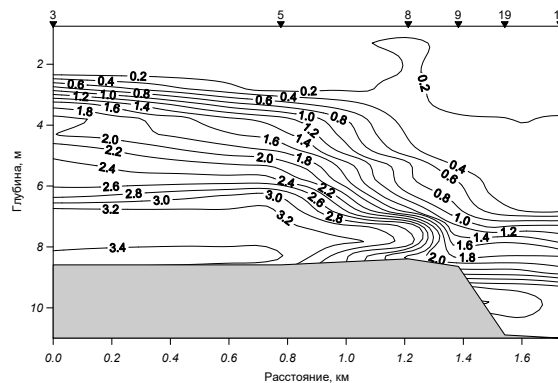
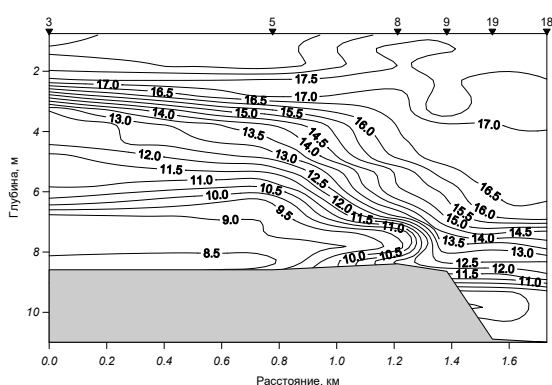


Рис. 5. Распределение температуры на разрезе через створ С1 на КЗС в 2001 г.

Рис. 6. Распределение солености на разрезе через створ С1 на КЗС в 2001 г.

Не менее интересный случай формирования каскадинга был зафиксирован осенью 2018 года в проливе Бьеркезунд. С учетом динамики вод вдоль материкового берега происходит заток более соленых вод в пролив, а вдоль острова Большой Березовый – сток более пресных вод. Судя по распределению придонных температуры и солености (рис. 7 и 8), на мелководье образовался топографический вихрь, который в свою очередь сформировал язык более соленых вод, вытянувшийся уже в обратную сторону от основного потока. И этот язык при потере кинетической энергии на периферии вихря стал сползать по склону, неся на глубину более теплую и соленую воду.

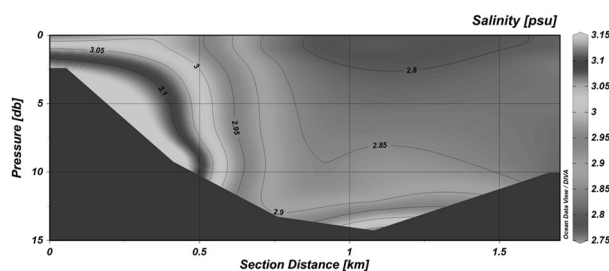
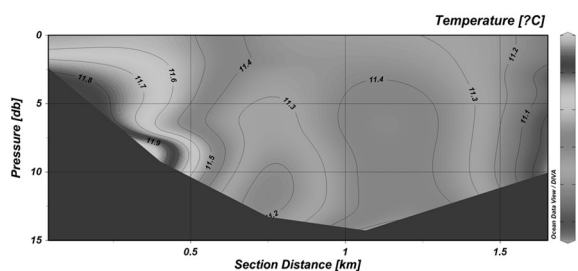


Рис. 7. Распределение температуры 20-21 октября 2018 г. в южных воротах пролива Бьеркезунд на разрезе по нормали к берегу

Рис. 8. Распределение солености 20-21 октября 2018 г. в южных воротах пролива Бьеркезунд на разрезе по нормали к берегу

Термохалинная структура пролива в миниатюре повторяет структуру вод восточной части Финского залива. Но его сложная морфометрия определяет формирование довольно многообразной динамики, в частности, образование квазистационарных топографических вихрей в сильно стратифицированной водной среде. Примером такого явления служит вихрь в пикноклине на мелководной косе о. Равица, который существует даже в полный штиль и переносит воду поперек пролива, тогда как верхний и придонный слои движутся вдоль оси пролива [8].

Для оценки процессов формирования термохалинных полей нужны, прежде всего, данные инструментальных измерений. К сожалению, в последние годы выполнять такие измерения становится все труднее из-за недостатка финансирования как на приборную базу, так и на работу плавсредств. В редких случаях это удается сделать за счет различных проектов, которые преследуют специфические цели, например, измерение морского волнения в порту [9] или наблюдения за скоростью осадконакопления [10]. При этом трудно себе представить, что в ближайшее время появится возможность целенаправленного бюджетного финансирования для изучения термохалинных полей в Финском заливе.

Выводы

1. Структура термохалинных полей в Финском заливе в безледный период довольно многообразна и формируется под действием как длиннопериодных так и короткопериодных процессов. Соответственно их изменчивость с некоторой фазой задержки повторяет эти периоды.
2. Вблизи берегов и в проливах очень большую роль играют топографические эффекты, формируя вихри, апвеллинг и каскадинг, определяют формирование ячеистой термохалинной структуры с высокими градиентами температуры и солености.
3. Регулярные наблюдения с помощью современных приборов позволят изучать подобные интересные гидрофизические процессы в Финском заливе при достаточном бюджетном или внебюджетном финансировании.

Литература

1. Alenius P., Myrberg K., Nekrasov A. [The physical oceanography of the Gulf of Finland: a review](#) .- [Boreal Environment Research](#). 1998. Т. 3. № 2. С. 97-125.
2. Еремина Т.Р., Некрасов А.В., Провоторов П.П. [Гидрофизические процессы](#)./В книге: [Финский залив в условиях антропогенного воздействия](#).- Изд. Института озераведения РАН, Северо-Балтийский морской фонд. Санкт-Петербург, 1999. С. 5-47.
3. Аверкиев А.С., Некрасов А.В., Исаев А.В. Термохалинная структура вод Балтийского моря./ В книге: Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Российских морей Северо-Европейского бассейна. Изд. Кольский научный центр РАН. Апатиты, 2004. с.153-160
4. М.Б. Шилин, С.В. Лукьянов, С.Л. Беленко. Оценка экологической безопасности морских портовых комплексов на северо-западе России по данным сопутствующего импактного мониторинга// Сборник докладов 1-ой Всероссийской конференции, Мурманск 1-2 июня 2006 г «Национальная морская политика и экономическая деятельность в Арктике», Апатиты, Кольский научный центр РАН, 2007, С. 120-130.
5. Лукьянов С.В., Беленко С.Л. Проблемы экологической безопасности при гидротехническом строительстве в прибрежной зоне моря// Материалы XXII международной береговой конференции «Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря», Геленджик 16-20 мая 2007 г. С.254-256.

6. Ю.П. Доронин, С.В. Лукьянов. Математическое моделирование взаимодействия морской и речной воды на устьевом взморье с помощью двухслойной модели.- Метеорология и гидрология.- N 10, 1994.- С. 70-77.
7. Ю.П. Доронин, С.В. Лукьянов, В.А. Царев Математические модели гидрологии эстуария и взморья// Моделирование и натурные гидрологические исследования морей. Сб. трудов.- СПб.:РГГМИ, 1994.- С. 15-31.
8. Природная среда побережья и акватории Финского залива (район порта Приморск)/ Коллективная монография под. Ред. Е.А. Волковой, В.Н. Храмцова, Г.А. Исаченко.-СПб., 2003-128 с.
9. Аверкиев А.С., Лукьянов С.В., Шевчук О.И. Оценка измерений волнения в акватории порта на основе датчиков давления.// Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология». СПб.: Аграф+, 2017. с. 14-17.
10. Рыбалко А.Е., Лукьянов С.В., Аверкиев А. С., Новиков М.О. Оценка скорости осадконакопления в Финском заливе. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. с. 28-32.

ПРОБЛЕМА КОММУНИКАЦИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Автухович О.В.

Панфилова Н.В.

ГБОУ школа № 403 Пушкинского района, Санкт-Петербург, Россия, Volninao@mail.ru

Аннотация: В обществе отсутствует единство понимания экологических вопросов.

Ключевые слова: экологическое образование, воспитание, базовые знания.

THE PROBLEM OF COMMUNICATION IN ENVIRONMENTAL EDUCATION

Avtukhovich O.V.

Panfilova N.V.

GBOU school № 403 Pushkin district, Saint-Petersburg, Russia, volninao@mail.ru

Abstract: There are problem with deferent understanding of environmental issues.

Key words: Environmental education, education, basic knowledge.

Экологическое образование и просвещение становится всё более важной частью общего образовательного процесса. В современной системе образования экологическое воспитание начинается с детских садов и продолжается в школе. Этому способствуют эколого-просветительские акции, конкурсы, фестивали, конференции разного уровня, поддерживаемые районными администрациями, информационно-методическими центрами образования, ВУЗами и общественными организациями.

Существенный вклад в развитие экологического образования вносят:

- Общественная организация «Санкт-Петербург за экологию Балтики» в рамках проекта «Эко-школы/ Зелёный флаг»;
- Автономная некоммерческая экологическая организация «Друзья Балтики»;
- Общество с ограниченной ответственностью Экологический правовой центр «БЕЛЛОНА» (ООО ЭПЦ «БЕЛЛОНА»);
- ХЕЛКОМ;
- Международный Социально-экологический союз;
- Детский экологический центр ГУП «Водоканал».

Основная деятельность по экологическому образованию населения выведена во внеурочную деятельность и систему дополнительного образования.

Основные положительные моменты:

- внеурочная деятельность и дополнительное образование воспринимается детьми более «открыто»;
 - больше места творчеству;
 - у детей нет боязни получить плохую оценку;
 - высокая степень практической деятельности.
- Необходимые точки роста:
- в знаниях классической экологии;
 - единый понятийный аппарата;
 - различия степени экологической образованности внутри районов, регионов, стран необходимо устранять, «подтягивать отстающих».

Экологические кейсы внедрены во многие школьные учебные дисциплины. Например, тема раздельного сбора и переработки отходов фигурирует в начальной школе в учебниках по окружающему миру, в программе курса Английского языка «Spotlight» каждый юнит заканчивается «Экологическим уроком». При этом пробелы в знаниях могут стать проблемой,

как для учеников, так и для учителя. Ранее перечисленные организации проводят многочисленные открытые мероприятия по обучению и обмену опытом для работников образовательной сферы, предоставляют методические рекомендации по проведению исследовательских работ в рамках своих проектов. Это помогает всем участникам образовательного процесса, внедрению экологического просвещения и образования. С каждым годом количество участников экологических проектов различного уровня увеличивается.

К сожалению не каждая школа готова участвовать в этих мероприятиях. Проектная деятельность по экологии подразумевает наличие у участников базовых знаний классической экологии, а они есть не у всех.

Важным аспектом экологического образования и воспитания является так же воздействие средств массовой информации. В России набирает популярность экологическое блогерство, которое зачастую ориентировано на продажи всевозможных экосредств, украшений, книг, продуктов питания.

Экологические аспекты современного мира интерпретируются по-разному, освещаются с разных точек зрения, с различными целями. Возникает коммуникационная проблема: человек, не имеющих базовых знаний науки экологии, может прийти к ошибочным выводам, резким суждениям в неоднозначных вопросах. Особенно восприимчивы подростки.

Градус экологической озабоченности населения растёт, население активно дискутирует на вопросы: «Зачем осенью убирать листья?», «Кто придумал в городах косить траву?», «Как экологично выгуливать собак», «Зачем во дворах деревья, когда не хватает парковочных мест?», «Сжигать или перерабатывать мусор» и другие. При этом отсутствие базовых знаний, учений Одума, Вернадского, законов Коммонера, понимания популяционной экологии делает целевую аудиторию благоприятным полем для экологического террора.

В нашей школе мы создали Учебно-методический комплекс непрерывного экологического образования «ЭКОшкола: Экология Культура Общество», который решает проблему включения экологических идей, понятий, принципов в различные дисциплины школьного курса.

Учебно-методический комплекс включает:

- экологический календарь (Экокалендарь);
- методические рекомендации по работе с Экокалендарем (дидактический материал для учителей, педагогов ОДОД, библиотекарей, классных руководителей).

Экологический календарь выступает бессрочным педагогическим инструментом формирования «экосистемного мышления» обучающихся. Каждый месяц календаря представлен перечнем сразу нескольких экологических дат, иллюстрациями к датам, краткой информацией: кто был инициатором проведения даты, чему посвящена, какие мероприятия проводятся в школах, стране, Балтийском и других регионах.. Широкий перечень важных экологических дней, праздников позволяет увидеть тесную связь экологии с другими науками и жизнью человечества в целом, заставляет задумываться о проблемах экологии практически ежедневно.

Методические рекомендации по работе с Экокалендарем – это сборник дидактического материала для учителей, педагогов ОДОД, библиотекарей, классных руководителей, разработанный педагогическим коллективом школы. В сборнике методических рекомендаций предлагаются различные варианты работы с Экокалендарем в процессе воспитательной, образовательной деятельности: целостные уроки, технологические карты уроков, сценарии внеклассных и внеурочных занятий, статьи об организации проектной, самостоятельной исследовательской деятельности учащихся, систематизированные ссылки на образовательные ресурсы Интернет по экологическим датам.

Материалы были представлены на Международном семинаре «Эко-школы/Зеленый флаг» - модель образования для устойчивого развития» (2018, СПБАППО), XVI Международной конференции «Образование через всю жизнь» (2018), находятся в открытом доступе <http://403school.spb.ru/flipbooks>.

Обмен опытом в сфере экологического образования играет основополагающую роль для сохранения природы Балтийского региона. Развитие и регулярность взаимодействия между образовательными учреждениями – важная ступень в обеспечении непрерывного экологического образования как инструмента обеспечения устойчивого развития.

ЗИМНИЙ РЕЖИМ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ МЕЗЕНИ И КУЛОЯ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

С.А. Агафонова¹, П.Г. Михайлюкова¹, Н.Л. Фролова¹, Н.А. Демиденко²

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

² ФГБУ "ГОИИ", Москва, Россия

WINTER REGIME OF THE ESTUARIES OF THE MEZEN AND KULOI ACCORDING TO SATELLITE IMAGES

S.A. Agafonova¹, P.G. Mikhaylyukova¹, N.L. Frolova¹, N.A. Demidenko²

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

² State Oceanographic Institute, Moscow, Russia

На примере макроприливных устьев рек Мезень и Кулой рассмотрена возможность использования данных радиолокационных и оптических космических снимков для фиксации ледовой обстановки от начала замерзания до очищения ото льда.

The possibility of using radar and optical satellite imagery data to record the ice situation from the beginning of freezing to the clearing of ice is considered on the example of macro-tidal estuaries of the Mezen and Kuloy rivers.

Формирование ледовых условий на устьевых участках рек Кулой и Мезень, впадающих в Мезенский залив, происходит под действием метеорологических факторов, речного стока и влияния моря (приливно-отливных течений, сгонов и нагонов). Вершина устьевого участка Мезени расположена примерно в 90 км выше устьевого створа м. Масляный – м. Рябинов, вершина устьевого участка Кулой – в 100 км от устьевого створа м. Карговский – м. Харин. Приливная волна на входе в эстуарий Мезени имеет высоту в сизигию 7,6 м, в квадратуру – 5,0 м. Для Мезенского залива характерен почти правильный полусуточный прилив с величиной в сизигию около 6 м, в квадратуру – около 4 м [1]. При приближении к эстуариям Мезени и Кулой величина прилива увеличивается. Приливно-отливные течения и нагоны растягивают период замерзания, кромка ледяного покрова неоднократно взламывается, формируются торосы. Согласно [1, 2] в подобных условиях образуются «ледяные плотины». Эти «плотины» демпфируют приливную волну и создают в своем верхнем бьефе условия подпора. Ниже «плотины» неподвижный лед устанавливается лишь у берегов, в центральной части наблюдается дрейфующий лед. В условиях мягкой зимы 1990 г. и средних по суровости 2005 и 2008 гг. «ледяная плотина» в эстуарии Мезени располагалась по створу устья р. Большая Чеца – м. Симонов и представляла собой сплошной барьер торосистого и застамушенного льда. В плане «плотина» имела характерную форму арки с неровной, изрезанной кромкой, опиравшейся на прибрежные полосы неподвижного, очень торосистого льда. Ниже до устья р. Пья неподвижный лед наблюдался лишь у берега. Ежегодно волна прорыва «ледяной плотины» на р. Мезень вызывает резкие изменения морфологии дна эстуария на участке от устья р. Большая Чеца до устья р. Пья, в том числе в пределах судоходного фарватера.

Материалы и методы

В настоящее время в устьевых областях Мезени и Кулой регулярные гидрологические наблюдения не проводятся. Имеются отрывочные, прежде всего экспедиционные данные Ленгидропроекта, ГОИНа, Северного УГМС и т.д. Согласно данным наблюдений на гидрологическом посту д. Семжа, действующем в период с 1949 по 1979 гг., средняя дата появления льда в эстуарии Мезени – 25 октября, продолжительность ледовых явлений – 200 сут.

В работе в качестве исходных данных использовались оптические снимки OLI/Landsat-8 и MSI/Sentinel 2, а также радиолокационные изображения спутников Sentinel 1. Спутники Landsat-8 и Sentinel-2 оснащены оптико-электронной съемочной аппаратурой (OLI и MSI соответственно), которая регистрирует электромагнитное излучение в видимой или инфракрасной зонах спектра. Аппаратура OLI выполняет съемку в 11 спектральных каналах, MSI – в 13. Пространственное разрешение для аппаратуры OLI составляет 15 – 100 м в зависимости от канала, для аппаратуры MSI – 10–60 м. Периодичность съемки спутника Landsat-8 – 16 сут, 2-х спутников миссии Sentinel-2 – 5 сут [3, 4]. Спутники Sentinel-1 производят

съемку радиолокатором синтетической апертуры С-диапазона (5.405 GHz), периодичность съемки 1 спутника миссии Sentinel-1 – 12 сут [5]. Для исследуемой территории данные спутников OLI/Landsat-8 доступны с 2013 г., MSI/Sentinel 2 – с июля 2015 г, спутника Sentinel-1B – с января 2017 г., данные Sentinel-1A – не доступны. В качестве метеорологической информации использовались данные о температуре воздуха и осадкам по мс Мезень.

В условиях низкой освещенности и сплошной облачности большую часть зимнего сезона фиксация ледовой обстановки для исследуемых рек по данным оптических снимков возможна лишь в период с февраля по май. В отличие от съемки в видимом диапазоне радиолокаторы позволяют получать изображение вне зависимости от облачности и от условий освещения. Совместное использование оптических и радиолокационных снимков позволило получить 42 изображения за зимний сезон 2017–2018 гг., 34 за сезон 2018–2019 гг. и 21 за сезон 2016–2017 гг. Перед выполнением тематического анализа радиолокационные данные были предварительно подготовлены – проведены радиометрическая калибровка, фильтрация спекл-шума (фильтр Lee с размером окна 5) и устранение геометрических искажений. При помощи инструментов модуля Spatial Analyst в ПО ArcGIS получены значения коэффициента обратного рассеяния (σ_0) в дБ по продольным профилям (фарватерам) – рис. 1.

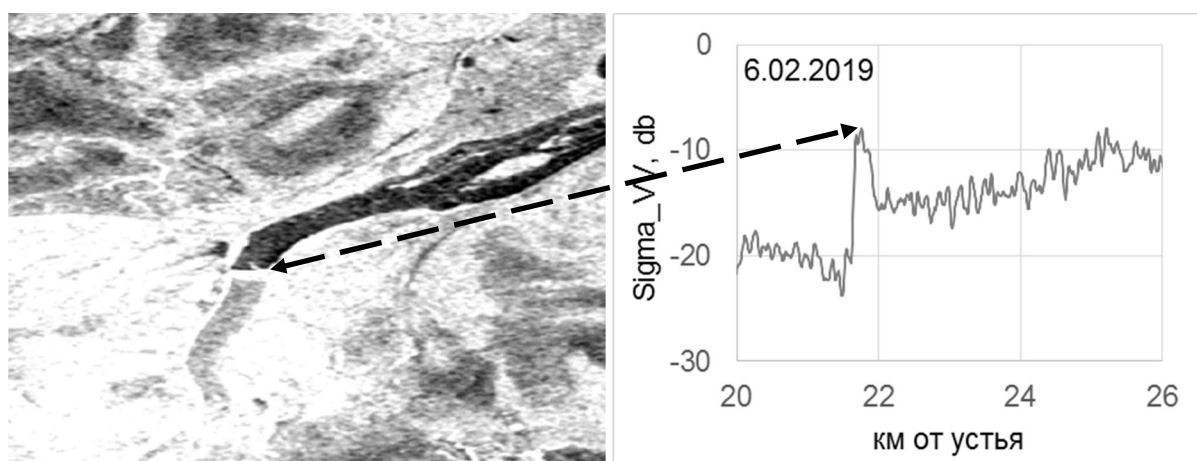


Рис. 1. Изменение значений коэффициента обратного рассеяния по продольному профилю р. Кулой (VV-поляризация)

В отсутствии дрейфующего льда в эстуарии «ледовая плотина» легко фиксируется на радиолокационных изображениях (РЛИ) как в VH, так и VV-поляризации благодаря ее высокой шероховатости. В результате положение кромки ледяного покрова можно определять, фиксируя изменение сигнала по продольному профилю (рис. 1, 2). Но при наличии дрейфующего льда, а также в весенний период, когда торосистая поверхность ледяного покрова вытаивает и выравнивается, изменение сигнала в зоне ледяной плотины выражены не так ярко и для определения положения кромки требуется контрольная проверка по РЛИ.

Результаты и обсуждение

Формирование устойчивой заторошенной кромки ледяного покрова является довольно яркой особенностью ледового режима исследуемых рек. По данным за два зимних сезона выявлено, что продвижение кромки на рр. Кулой и Мезень происходит как бы «по ступенькам»: по мере накопления отрицательных температур и дрейфующего ледового материала, крайнее положение «ледовой плотины» довольно устойчиво (рис. 3 и 4).

Зимой 2017–2018 гг. движение кромки льда к устьевому створу на р. Кулой наблюдалось с начала декабря до середины марта, в период с 19 марта по 12 апреля положение кромки оставалось стабильным, по данным снимков от 17 апреля по 6 мая наблюдалось отступление. На р. Мезень положение кромки удалось зафиксировать на снимках, начиная с конца января. Ледяная плотина на участке 21,7 км от устья сохранялась в период с 3 марта по 17 апреля. В зимний сезон 2018–2019 гг. на р. Кулой кромка ледостава сохранялась в стабильном положении с 29 января по 5 апреля (в 28,2 км от устья), на р. Мезень – с 25 января по 13 апреля (в 24,5 км от устья). Положение ледяной плотины зимой 2019 г. на р. Мезень подтверждается данными

наземных обследований: в начале февраля 2019 г. участки открытой воды наблюдались в створе впадения р. Пья и ниже по течению.

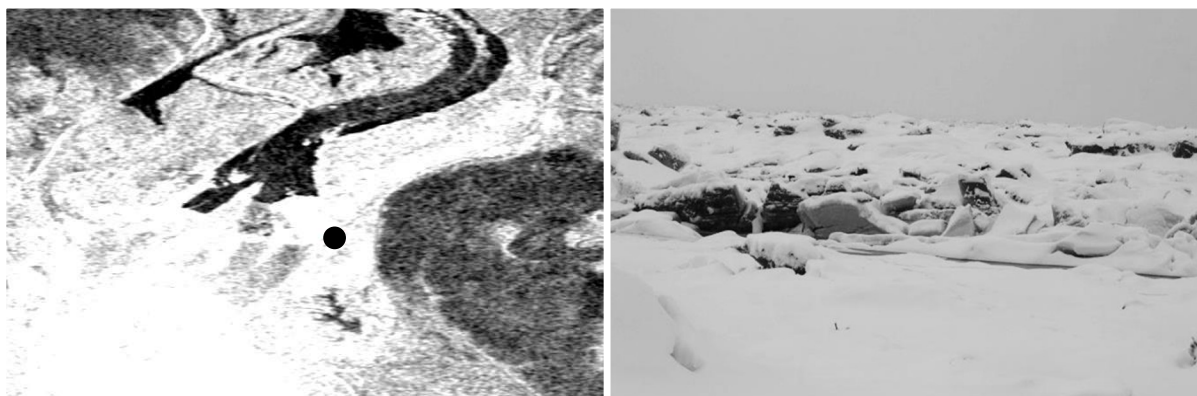


Рис.2. Радиолокационное изображение Sentinel-1 от 6.02.2019 г. в VV-поляризации, р. Мезень (справа фотография от 01.02.2019, ● – место съемки)

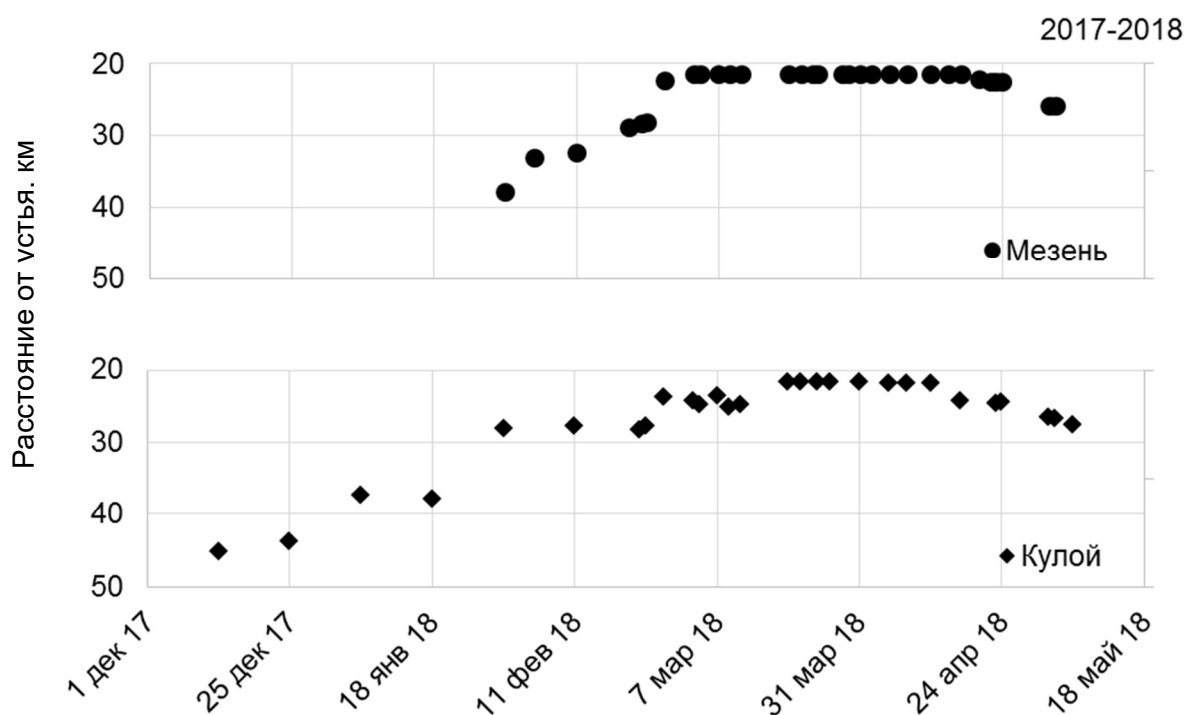


Рис. 3. Динамика кромки ледяного покрова за 2017-2018 гг.

За остальные зимние сезоны зафиксировано крайнее положения кромки и ее изменение от года к году. В период с 2013 до 2019 гг. на р. Мезень «ледяная плотина» формировалась на участке 21,5–22,4 км от устья, что соответствует створу д. Окулово – м. Симонов. Именно этот створ указывался исследователями ранее. Стабилизация плотины в этом створе как в суровые, так и в теплые зимы свидетельствует о том, что дальнейшее ее продвижение к устьевому створу ограничено морфологией русла, скоростями течения воды и другими факторами, а не температурами воздуха. Для р. Кулой положение кромки ледостава более изменчиво. В 2014 г. по данным двух оптических снимков кромка сформировалась в створе м. Бараний; в 2015 г. – ниже урочища Чулковский Нос, в остальные годы – на участке впадения р. Поча. Здесь также не прослеживается зависимости между суровостью зимы и положением кромки. Вероятно, значительную роль играет наличие ледового материала, в том числе приносимого нагонами.

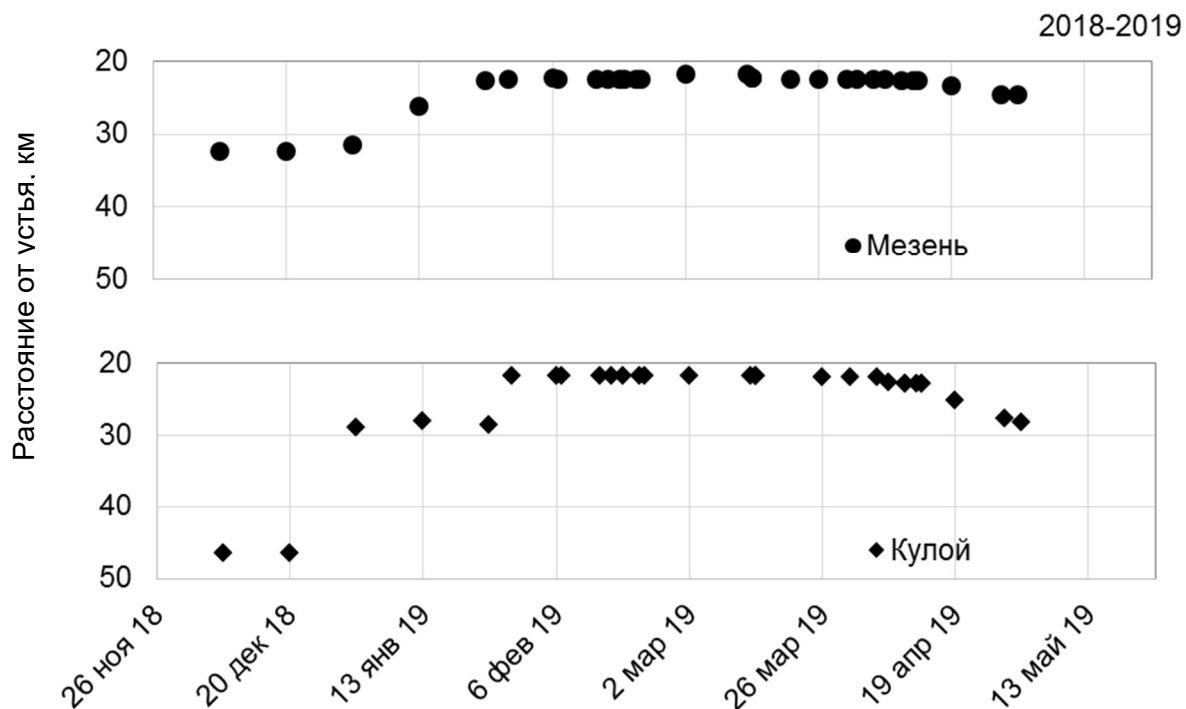


Рис.4. Динамика кромки ледяного покрова за 2018-2019 гг.

Полученный набор снимков не позволяет в достаточной мере проследить изменение ледовой обстановки в весенний период. Если для р. Кулой удастся отследить некоторое отступление кромки, то разрушение ледяной плотины на р. Мезень происходит в результате прорыва и динамику ледовой обстановки в этот период зафиксировать не удалось. В дальнейшем предполагается привлечение данных других спутников, в том числе с меньшим периодом повторной съемки и с меньшим пространственным разрешением (например, MODIS, VIIRS и др.).

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ №18-05-60021–Арктика.

Литература

1. Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). СПб: Гидрометеоздат, 1992. 383 с.
2. Desplanque C., Bray D.I. Winter ice regime in the tidal estuaries of the northeastern portion of the Bay of Fundy, New Brunswick // *Can.J.Civ.Eng.* 1986. №13. pp. 130–139. doi:10.1139/l86-021
3. Sentinel-1 SAR User Guide Introduction, ESA URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar> [дата обращения 01.05.2018]
4. Landsat 8 Data Users Handbook, USGS <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook> [дата обращения 01.05.2018]
5. Sentinel -2 User Handbook, ESA URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook [дата обращения 01.05.2018]

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУТОРАМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ОБЛАКОВ

В.И. Акселевич, Г.И. Мазуров

ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

RESULTS OF APPLICATION OF A SINGLE-DIMENSIONAL MODEL OF THE MAIN GEOPHYSICAL OBSERVATORY FOR IDENTIFYING RESOURCE CLOUDS

V.I. Akselevich, G.I. Mazurov

GGO by A.I. Voeikov, St. Petersburg, Russia

Приводятся и обсуждаются результаты применения полуторамерной модели ГГО в интересах выявления ресурсных облаков для использования активных воздействий при проведении борьбы с природными пожарами. Рассматриваются граничные условия модели, особенности подготовки данных для осуществления расчета. Исследуются параметры облаков, которые могут использоваться в качестве ресурсных.

The results of applying a single-dimensional model of the GGO in the interests of identifying resource clouds for using active impacts in the fight against natural fires are presented and discussed. The boundary conditions of the model, the features of data preparation for the calculation are considered. The parameters of clouds that can be used as resource clouds are investigated.

Природные (лесные) пожары свирепствуют в теплый период года во многих регионах земного шара. Существует много традиционных способов их тушения. Предлагается для этого (тушения лесных пожаров) использовать ресурсную облачность. Это облачность, которая не получила достаточного развития, чтобы из нее самостоятельно выпадали осадки. Обычно ее мощность составляет 2-2,5 км [1]. Воздействуя на нее различными реагентами, можно вызвать искусственные осадки с целью тушения пожара, его ослабления или предотвращения пожароопасной обстановки. Ресурсную облачность следует подразделить на облачность естественного происхождения и возникающую при пожарах. Исторически известны случаи, когда при интенсивных пожарах возникала настолько мощная кучево-дождевая облачность, что из нее самостоятельно выпадал дождь, приводивший к тушению пожаров [2].

Целью статьи является выявить вероятность возникновения ресурсной облачности в заданном районе путем использования полуторамерной модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) и ее запуска для расчета целесообразности активных воздействий на облака для борьбы с природными пожарами и предотвращения их возникновения. При этом оценивались влагозапас ресурсной облачности и ее готовность к активным воздействиям для вызывания осадков, которые могли бы понизить пожароопасность территории или ослабить пожар.

Исходным материалом послужили данные метеорологических и дистанционных наблюдений за вертикальным распределением атмосферного давления, температурой и точкой росы воздуха в тропосфере за май месяц 2015 года на выделенном на картографической основе участке, ограниченном 70°с.ш., 50°с.ш., 30°в.д. и 50°в.д.

Разработанный специалистами ГГО [3] программный пакет «Облако2» предназначен для расчета термодинамических и микрофизических характеристик конвективных облаков

внутримассового происхождения на основании данных о высотном распределении температуры, давления и влажности в атмосфере. Программный пакет может применяться при исследовании динамики пространственно-временных характеристик конвективной облачности и прогнозе эволюции облачной ситуации.

Программный пакет разработан в ГГО на базе численной нестационарной «полуторамерной» модели конвективного облака. Облачные процессы моделируются в вертикальной цилиндрической области пространства с горизонтальным радиусом R и высотой H . Данная область снизу ограничена подстилающей поверхностью; верхняя граница цилиндра задается таким образом, чтобы возмущения среды, связанные с развитием облака, не достигали ее уровня (15 км). Все уравнения осреднены по сечению цилиндра. Как внутри, так и вне цилиндрической области все физические величины меняются в пространстве только по вертикали. Изменение величин по горизонтали происходит только на границе цилиндра. Характеристики конвективного облака изменяются вследствие взаимодействия с окружающей средой (вовлечение, перемешивание). Принято, что процессы в облаке внешнюю среду не возмущают; таким образом, характеристики среды не меняются во времени. Система уравнений дополнена набором начальных и граничных условий.

Модель включает в себя систему нелинейных нестационарных уравнений гидродинамики и уравнений баланса субстанций, параметрические выражения для вычисления интенсивностей микрофизических процессов, граничные и начальные условия, численную схему решения системы уравнений, набор эмпирических зависимостей, связывающих вычисленные параметры облака с характеристиками, описывающими влияние метеопараметров на условия полетов летательных аппаратов, полученными по результатам самолетных измерений.

Система уравнений дополнена численной схемой решения, в качестве которой применена модифицированная схема «вперед по времени и вверх против потока».

Система дополнена уравнением состояния идеального газа, уравнением гидростатики, формулами для насыщающего значения отношения смеси водяного пара относительно плоской поверхности воды и льда.

Значения источников-стоков субстанций в уравнениях зависят от интенсивностей микрофизических процессов (фазовых переходов воды и обмена влагой между различными фракциями). Баланс влаги в облаке можно представить в виде блок-схемы. В настоящей модели учтены следующие процессы:

1. Все фазовые переходы воды.
2. Аккреционные процессы (автоконверсия, коагуляция, обзертание ледяных частиц).

Для исследования полуторамерной модели выделили на картографической основе участок местности, ограниченный 70° с.ш., 50° с.ш., 30° в.д. и 50° в.д. В нем с помощью электронной карты, разработанной группой сотрудников ГГО во главе с Е.В. Дорофеевым, через каждые 3 часа выявляли станции с кучево-дождевой и мощно-кучевой облачностью в количестве не менее 5 баллов. В итоге для мая 2015 года были выбраны 884 случая для станций, входящих в вышеописанный четырехугольник в разные сроки наблюдений.

Далее была взята информация ближайших станций радиозондирования и при интерполяции учитывали 2 основных срока радиозондирования (00 и 12 часов по гринвичу). Получили 322 случая. На следующем этапе вычленили из потока метеоинформации данные только для тех случаев, когда они присутствовали и запускали программу «Облако2». В итоге получили 107 случаев, для которых произвели расчеты. Следует обратить внимание на то, что значения давления должны вводиться строго в порядке убывания, т.е. номер точки должен увеличиваться с возрастанием высоты над подстилающей поверхностью (с убыванием давления).

Не следует также задавать аномально большой градиент температуры.

Вычислялись высота верхней границы облака (ВВГО), мощность облака, величина вертикальных токов и высота, на которой она прогнозировалась, а также влагозапас. В результате получили, что ВВГО прогнозировалась в интервале 1,4-6,8 км, при этом в 37 случаях ВВГО попала в слой 3-4 км, в 31 – в слой 2-3 км. Мощность облака составляла от 0,2 до 5,6 км. При этом в 68 случаях она составила более 2 км. Минимальная скорость вертикальных токов составила 3,7 м/с, а максимальная – 15,3 м/с. Как правило большие скорости наблюдались на больших высотах. В 25 случаях максимальная скорость вертикальных токов прогнозировалась под облаком.

Наибольшие значения влагозапаса соответствуют наибольшим значениям мощности облаков. Максимум величины влагозапаса превышает 48 кг на 1 м² поверхности. Во всех случаях влагозапас ресурных облаков составил более 11 кг на 1 м².

Для проведения расчета по программному пакету необходимо выполнить три действия:

1. Запустить приложение OBLAKO2
2. Ввести начальные данные
3. Запустить расчет.

На верхней панели выбираем пункт меню:

При желании прогнозиста можно вставить спрогнозированную каким-либо образом максимальную температуру воздуха и выбрать способ интерполяции данных зондирования (линейную аппроксимацию по давлению или простую замену температуры воздуха у земли) – в том случае, если необходимо получить прогностические данные зондирования.

Кроме того, имеется возможность задать скорость перемещения облака по горизонтали. Она указывается в метрах в секунду.

Результаты расчетов выводятся в двух форматах – кратком и полном. Краткий формат содержит специализированные характеристики (ориентированные на пользователя).

Полный отчет о расчете весьма полезен для решения различных исследовательских задач.

Краткие форматы результатов расчета формируются в формате «html» и выводятся автоматически в браузере (программе – интернет-обозревателе) по умолчанию – для системы Windows, чаще всего это приложение Internet Explorer [4].

Характеристики, представляемые в кратком формате, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Краткий вариант характеристик по результатам выполненного расчета.

1	Дата	Дата расчет
2	метеорологический срок	используемых аэрологических данных
3	период моделирования облака	По умолчанию – 120 минут
4	вертикальное распределение температуры и температуры точки росы воздуха в невозмущенной атмосфере	Начальные аэрологические данные (давление, температура, температура точки росы)
5	высота изотермы 0°C	В километрах (км)
6	высота изотермы -22,5°C	Км

7	наибольшее значение высоты верхней границы облака	Км
8	наибольшее значение вертикальной мощности облака	Км
9	на какой высоте достигается и сколько составляет наибольшее значение скорости восходящего потока	км, м/с
10	на какой высоте достигается и сколько составляет наибольшее значение водности облачных капель	км. г/м ³
11	на какой высоте достигается и сколько составляет наибольшее значение водности дождевых капель	км. г/м ³
12	на какой высоте достигается и сколько составляет наибольшее значение суммарной водности	км. г/м ³
13	на какой высоте достигается и сколько составляет наибольшее значение суммарной ледности	км. г/м ³
14	наибольшее значение запаса влаги	г/м ²
15	наибольшее значение интенсивности дождя у подстилающей поверхности (ПП)	мм/ч
16	наибольшее значение интенсивности града у ПП	мм/ч
17	продолжительность осадков у ПП	Мин

Расширенный анализ данных позволяет вывести таблицы и графики основных характеристик конвективного облака как функции времени и высоты [5].

К ним относят значения у земли: интенсивности жидких осадков, интенсивности кристаллических осадков, суммарной интенсивности жидких и кристаллических осадков, интенсивности аэрозольных осадков; среднее по столбу атмосферы значение вертикальной скорости; высоту нижней и верхней границ облаков; массу и радиус облака; максимальные по высоте значения: вертикальной скорости, напряженности электрического поля, водности облачных и дождевых капель, суммарной водности, ледности кристаллических осадков, массовой концентрации аэрозоля, вклада дождевых капель в радиолокационную отражаемость, вклада кристаллических осадков в радиолокационную отражаемость, ледности облачных ледяных кристаллов, суммарной ледности; высоту уровня конвекции; суммарную массу аэрозоля в столбе атмосферы; значения вклада свободных аэрозольных частиц в радиолокационную отражаемость, суммарной радиолокационной отражаемости у земли; значение объемной плотности электрического заряда, массовую концентрацию аэрозоля на высотах 0,8 и 0,2 км.

Таким образом, предварительные результаты расчетов показывают целесообразность использования полуторамерной модели ГГО в интересах выявления ресурсных облаков. Эта модель позволяет более надежно выявить вероятность возникновения конвективных облаков и определить их характеристики как функции времени и высоты.

Авторы выражают благодарность за предоставление программы «Облако2» и помощь при ее использовании и подготовке исходных данных Ю.А. Довгалою, Е.В. Дорофееву, М.Л. Тороповой и Н.Е. Веремею.

Литература

1. Козлов В.Н. Методы искусственного вызывания осадков для борьбы с лесными пожарами. СПб.: Инфо-да, 2011. – 202 с.

2. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеоздат, 1990. - 464 с.
3. Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Морозов В.Н. О параметризации микрофизических процессов в численных моделях грозных облаков // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 11. С.-5-18.
4. Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Станкова Е.Н. Численное моделирование конвективных облаков, развивающихся в атмосфере при чрезвычайных ситуациях (взрыв, пожар) // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т.43, №6, 2007 – С.792-806
5. Программный пакет «Облако», версия 2-02. Руководство пользователя. СПб.: ГГО, 2018 – 35 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НЕПОЛНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДОВ ВОДЫ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИНТЕГРАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Т.М. Аксянов

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия.

OPTIMIZATION OF DATA PROCESSING OF INCOMPLETE WATER DISCHARGE MEASUREMENTS EXECUTED BY INTEGRATION METHOD

T.M. Aksyanov

Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute», St. Petersburg, Russia.

Рассматриваются методические возможности оценки скоростей течения в областях поперечного сечения, не охваченных измерениями, при их выполнении с использованием акустических доплеровских профилографов.

Methodological possibilities of estimation of flow velocities in cross-sectional areas not covered by measurements are considered when they are executed using acoustic Doppler profilers.

Практика измерений расходов воды в руслах рек и каналов основана на применении метода «скорость-площадь», предполагающем регистрацию скоростей потока в достаточно большом количестве точек (элементарных площадок $d\omega$) по площади поперечного сечения ω . Математическая модель расхода воды при этом представляется интегралом

$$Q = \int U d\omega \text{ или его дискретной формой } Q = \sum U_i (\Delta\omega)_i.$$

Очевидно, что чем больше точек измерения скорости, тем точнее окажется значение расхода воды. Так, для определения с точностью 2-3% необходимо измерение скорости потока по крайней мере в 50-75 точках, что сопряжено с большими затратами времени и средств. Отсюда возникает стремление ускорить и сократить трудоемкость измерения РВ. Одна из таких возможностей заключается в интеграционных измерениях скоростей потока и глубин русла с применением средств, размещенных на движущемся судне. В настоящее время такие измерения выполняются с использованием акустических доплеровских профилографов (ADCP). Однако не все обстоит так просто. Перемещение судна (даже с малой осадкой) по всей ширине русла оказывается невозможным и к тому же измерениями не охватываются приповерхностная и придонная зоны поперечного сечения (рис.1).



Рис.1. Схема поперечного сечения речного потока

При измерении расходов воды возможны также случаи, когда из-за особенностей строения дна потока оказываются не освещенными измерениями отдельные зоны по всей глубине потока, как это показано на рисунке 2.

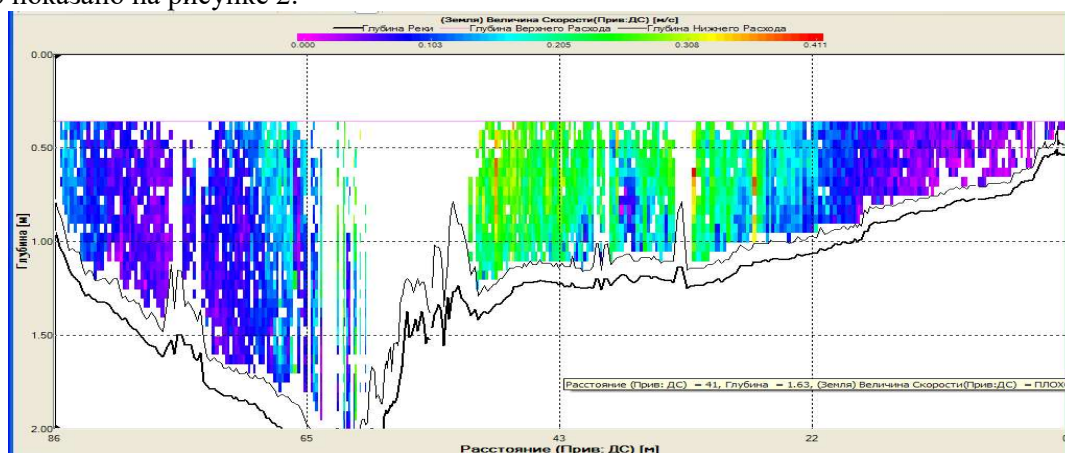


Рис. 2 Результаты измерения расхода воды с использованием ADCP, р. Сясь – с. Яхново

Следовательно, часть расхода воды, протекающая в неосвещенных измерениями зонах, должна определяться расчетными методами – посредством экстраполяции скоростей течения на границах, охваченного измерениями отсека (рис.2а). При обработке расходов в программе WinRiver II способами «Метод Расхода Верха» и «Метод Расхода низа» предусмотрена возможность использования трех способов экстраполяции измеренных скоростей течения в неизмеряемых верхней и нижней зонах : «Степенное», «Постоянное» и «3-х точек наклон». Последний способ предполагает выполнение экстраполяции по тенденции скоростей, измеренных в трех последних ячейках глубины, ближайших к неизмеряемым верхней или нижней зонам. Нужный способ выбирает гидролог, выполняющий обработку данных измерения с учетом предварительного анализа эпюр распределения скоростей по вертикали в расчетном гидрометрическом створе. Очевидно, чем большую площадь поперечного сечения занимают не освещенные измерениями зоны, тем менее правомерна такая экстраполяция измеренных скоростей. При этом эпюры мгновенных скоростей потока могут принимать самую причудливую форму, как это показано на рисунке 2б.

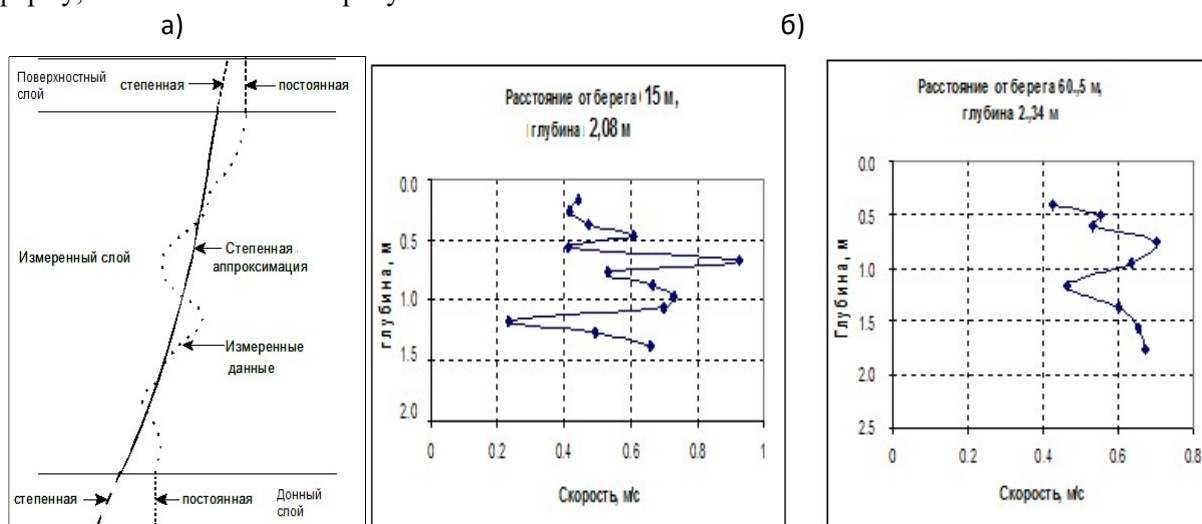


Рис.2. Эпюры мгновенных скоростей течения: а) – фактических измеренных на р. Буря – пос. Малиновка, 29 августа 2013 г.; б) – схема экстраполяции скоростей течения

Экстраполяция такого вида эпюр может приводить к существенным погрешностям определения скоростей течения за пределами области измерения. Поэтому для этой цели лучше использовать целостные модели расходов воды (РВ), построенные на основе гидравлических закономерностей движения русловых потоков. Такие модели были предложены в ГГИ.

Скорость течения U может быть представлена в функциях декартовых координат Y (по ширине потока) и Z (по глубине отсчитываемой от дна). Тогда РВ в освещенном измерениями основном отсеке поперечного сечения, ограниченном по ширине $B_0 = Y_2 - Y_1$ и глубине $h_0 = Z_2 - Z_1$ получает следующее интегральное выражение

$$Q_0 = \int_{Y_1}^{Y_2} \int_{Z_1}^{Z_2} U(Y, Z) dY dZ \quad (1)$$

Функция $U(Y, Z)$ в гидравлике представляется в зависимости от распределения глубин в поперечном сечении русла. Его математическое описание в каждом конкретном случае хотя и возможно в принципе, но представляет большую аналитическую сложность. Однако в свое время Н.Н. Павловский [1], а затем В.Н. Гончаров [2] показали, что при решении определенного класса задач можно отвлечься от конкретной формы русла и ограничиться лишь статистическими характеристиками распределения глубин русла по его ширине. Последовательно развивая методы приближенного представления случайных функций в задачах гидрометрии, И. Ф. Карасев [3] показал возможность статистической аппроксимации пространственно-временных функций в пределах фиксированных интервалов данных и времени.

Распределение глубин в поперечном сечении русла может быть описано функцией геометрического представления вероятности их не превышения

$$h = h_m (Y/B)^p \quad (2)$$

где h_m – максимальная глубина в поперечном сечении. Показатель степени p зависит от коэффициента формы русла $\varphi = h_m/h_{cp}$ (h_{cp} – средняя глубина потока); $p = \varphi - 1$.

В свою очередь, распределение скоростей течения по глубине потока достаточно изучено. Для него предложено много формул различной сложности. В нашем случае наиболее предпочтительной оказалась формула В.С. Боровкова [4], предложенная в последнее время:

$$U = U_n (Z/h)^k \quad (3)$$

Как видим, в этом выражении – два параметра: показатель степени k и поверхностная скорость U_n ; их значения в общем случае предлагается определять на основе гидравлических зависимостей. В [4] для k предложена зависимость, которая нами интерпретируется в форме, включающей коэффициент Шези C :

$$k = 2.26 \sqrt{g} / C,$$

где g – ускорение свободного падения. Для равнинных рек $k = 0,125-0,25$. В дальнейшем применяется $k = 0,167$.

Поверхностную скорость U_n в гидравлике выражают в зависимости от средней

скорости на вертикали V посредством переходного коэффициента α_n : $U_n = \alpha_n V$,

представляя V в функции глубины на вертикали h с использованием параметра Великанова m :

$$V = mh^{2/3}, \quad m = \sqrt{I}/n.$$

Существуют гидравлические оценки α_n и m , но они неизвестны для конкретных створов измерения. В связи с этим их целесообразно объединить в один гидравлический параметр

$a = \text{опт}$, который при необходимости может быть идентифицирован непосредственно по данным измерений РВ.

Функции (2) и (3) позволяет представить математическую модель (1) для освещенного измерениями основного отсека в виде двух интегральных выражений: сначала для средних скоростей на вертикалях

$$V = \frac{ah^{2/3}}{h - S_n - S_\partial} \int_{S_\partial}^{h-S_n} \left(\frac{z}{h}\right)^k dz = \frac{ah^{2/3-k}}{h - S_n - S_\partial} \left[\frac{(h - S_n)^{k+1} - S_\partial^{k+1}}{k+1} \right], \quad (4)$$

а затем – для расхода воды в основном отсеке

$$Q_{ou} = \int_{\alpha_\partial B}^B V(h - S_n - S_\partial) dy = 3aB h_m^{2/3} \left\{ \frac{h_m(1 - \alpha_\partial^{5p/3+1})}{(k+1)(5p+3)} - \frac{S_n(1 - \alpha_\partial^{2p/3+1})}{2p+3} - \frac{S_\partial \left[1 - \alpha_\partial^{(2p-3kp+3)/3} \right]}{(k+1)[(2-3k)p+3]} \right\}, \quad (5)$$

Здесь $\alpha_\partial = (b_l + b_{пр})/B$, S_n и S_∂ соответственно высота поверхностного и придонного слоя. Используем измеренный расход Q_{oi} для идентификации гидравлического параметра a :

$$a_u = \frac{Q_{oi}}{3B h_m^{2/3} D}, \quad (6)$$

где D - множитель формулы (5), заключенный в фигурные скобки.

Полный измеренный расход воды представляется тем же интегралом (5) при нулевых значениях α_∂ , S_n и S_∂ с подстановкой идентифицированного параметра a :

$$Q_u = \frac{Q_{oi} h_m}{(k+1)(5p+3)D}. \quad (7)$$

Объединяя характеристики створа и условий измерений, получим

$$Q_u = \beta Q_{oi}, \quad (8)$$

где

$$\beta = h_m / (k+1)(5p+3) \left\{ \frac{h_m(1 - \alpha_\partial^{5p/3+1})}{(k+1)(5p+3)} - \frac{S_n(1 - \alpha_\partial^{2p/3+1})}{2p+3} - \frac{S_\partial \left[1 - \alpha_\partial^{(2p-3kp+3)/3} \right]}{(k+1)[(2-3k)p+3]} \right\}.$$

Безразмерная величина β представляет собой компенсирующий коэффициент, зависящий от площади поперечного сечения, охваченной измерениями скорости потока. При полном охвате поперечного сечения измерениями $\beta=1$.

Расчеты, выполненные по данным 75 измерений расходов воды профилографами, выполненными на различных гидрологических постах сети Росгидромета показали, что расхождения данных измерений расходов воды с помощью ADCP и гидрометрической вертушки, обработанные по методике ГГИ в 48% случаев на 2 – 3 % меньше, чем при использовании способов экстраполяции, использующихся в ПО WinRiver II.

Преимущества разрабатываемого метода особенно ощутимы при обработке измерений на небольших реках, когда процент освещенной области измерения не превышает 70.

Литература

1. Павловский, Н. Н. Курс гидравлики. - Л. : КУБУЧ, 1930, 180 с.
2. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков Л.: Гидрометеоздат, 1962, 366 с.

3. Карасев И.Ф., Коваленко В.В. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1992, 208 с.
4. Боровков В.С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях. Л.: Гидрометеоздат, 1989, 285 с.

ПАРАДОКСЫ ГИДРОДИНАМИКИ РЕВЕРСИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ РЕК

А. М. Алабян^{1,2}, Е. Д. Панченко¹, А. М. Медин^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

HYDRODYNAMIC PARADOXES OF THE REVERSIBLE CURRENTS IN TIDAL ESTUARIES

A. M. Alabyan^{1,2}, E. D. Panchenko¹, A. M. Medin^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russia

При выполнении гидрометрических работ в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря (Кянда, Тамица, Сёмжа) с использованием современного гидрометрического и геодезического оборудования были получены новые и весьма неожиданные результаты, касающиеся особенностей динамики реверсивных водных потоков при различных сочетаниях величины прилива и речного стока. В частности, в ходе непрерывных наблюдений в течение приливного цикла были выявлены существенные вариации коэффициентов гидравлического сопротивления, а также коррективов скорости Кориолиса и Буссинеска. Эти параметры входят в уравнения Сен-Венана, которые в настоящее время являются фундаментальной основой расчета неустановившегося течения воды в естественных руслах. Значительная изменчивость коррективов скорости в течение приливного цикла ставит вопрос о необходимости модификации уравнений Сен-Венана путем введения в них дополнительных членов, отражающих эту изменчивость. Циклические вариации гидравлического сопротивления в широком диапазоне значений отмечаются во всех исследованных приливных устьях, при этом в некоторые фазы водного режима наблюдался уникальный гидродинамический феномен – отрицательные значения гидравлического сопротивления в моменты времени, близкие к развороту течения. Это явление может быть истолковано при условии допущения проявления в реверсивных водных потоках отрицательной турбулентной вязкости, что возможно в случае, когда происходит передача энергии вихревых образований поступательному движению водной массы («контрдиссипация» энергии осредненного течения). Данное явление ранее было предсказано теоретически, однако экспериментальным путем исследовано впервые.

Hydrometric measurements in the tidal estuaries of the White Sea (Kyanda, Tamitsa, Syomzha) using modern hydrometric and geodetic equipment allowed to obtain new and very exciting results regarding the characteristics of reversible water flows under various combinations of the tide height and river runoff. In particular, during continuous observations during the tidal cycle, significant variations in hydraulic resistance coefficients, as well as Coriolis and Boussinesq velocity corrections, were revealed. These parameters are included in the Saint-Venant equations, which currently represent the fundamental basis for calculating the unsteady flow in natural channels. The significant variability of Coriolis and Boussinesq coefficients during the tidal cycle raises the question of the need to modify the Saint-Venant equations by introducing additional terms in them to reflect this variability. Cyclic variations in hydraulic resistance in a wide range of values have been observed in all the tidal estuaries studied. Throughout some phases of the flood-ebb transition a unique hydrodynamic phenomenon of the negative hydraulic resistance was observed. This phenomenon can be interpreted under the assumption that the negative eddy viscosity manifests itself in reversible water flows, when the energy of turbulent vortex formations is transferred to the translational motion of the water flow ("counter-dissipation" of the averaged flow energy). This phenomenon was previously predicted theoretically, but experimentally has been investigated for the first time.

Реверсивные водные потоки в естественных руслах могут наблюдаться в различных гидрологических ситуациях (протоки, соединяющие реку с озером; многорукавные узлы слияния рек, межбассейновые соединения и т.п.), однако наиболее часто и регулярно это явление наблюдается в приливных устьях рек. Для расчетов реверсивных потоков используется тот же математический аппарат, что и для неустановившегося течения – уравнения Сен-Венана, выведенные более века назад.

Идеи исследования неустановившегося движения воды в реках с применением системы уравнений Сен-Венана начали внедряться в практику гидрологических расчетов в 30-е годы XX века. Тогда же появились первые численные методы ее решения (метод характеристик, метод мгновенных режимов и пр.). Однако для их реализации требовалось проводить сложную и

кропотливую вычислительную работу, поэтому широкое использование численных методов решения уравнений Сен-Венана для выполнения конкретных практических задач началось лишь с внедрением ЭВМ в 1960е годы. Практически в это же время и на той же математической основе начались попытки моделирования взаимодействия обратных длинных волн, движения воды на участках рек, подверженных влиянию приливов [1, 2]. По мере развития вычислительной техники увеличивалась «разрешающая способность» моделей как по шагу в пространстве, так и во времени, однако фундаментальная основа моделирования – уравнения Сен-Венана – претерпели лишь незначительную модификацию. Так, например, выражение для уклона трения было модифицировано таким образом, чтобы его знак всегда был бы противоположен направлению средней скорости течения [3-10]. Гидравлическое сопротивление при этом обычно задается через коэффициент шероховатости Маннинга, реже – непосредственно через коэффициент Шези или коэффициент гидравлического трения Дарси-Вейсбаха.

На этой основе были разработаны весьма популярные компьютерные модели MIKE-11 Датского гидродинамического института [11] и HEC-RAS Инженерного корпуса Армии США [12], получившие широкое распространение как в нашей стране, так и за рубежом. Попытки использовать эти модели для воспроизведения реальной ситуации на малых реках бассейна Белого моря Кянды, Тамицы и Семжи показали, что многие особенности распространения обратных волн по устьевым участкам рек не воспроизводятся адекватно [13-17].

Анализ результатов моделирования показал, что причиной этого может быть невозможность учета данными моделями существенного изменения в течение приливного цикла таких параметров, входящих в уравнения Сен-Венана, как коэффициент шероховатости и коррективы скорости Кориолиса и Буссинеска. О необходимости учета коэффициентов Кориолиса и Буссинеска в приливных устьях указывается в работах В.Н.Михайлова [3], Б.Ф.Полонского и О.В.Горелиц [18], однако это делалось применительно в основном к крупным рекам. В зарубежной литературе этому аспекту гидродинамики приливных устьев должного внимания не уделялось и, как правило, обозначалась лишь возможность отличия коррективов скорости от единицы [19]. В то же время наши исследования показывают, что в момент разворота течения данные коэффициенты приобретают бесконечно большие значения, и их конкретные величины при моделировании должны определяться лишь величиной шага модели по времени. Значительная изменчивость коррективов скорости в течение приливного цикла ставит вопрос о необходимости модификации уравнений Сен-Венана путем введения в них дополнительных членов, отражающих эту изменчивость.

Изменчивость гидравлического сопротивления при изменении уровня заполнения русла и его морфологических особенностей (растительность, гряды и т.п.) – явление достаточно ординарное [20], его вариации в приливном устье также отмечались [4], однако столь широкий диапазон циклических изменений в ходе приливного цикла, как на Кянде, Тамице и Семже нами был зарегистрирован впервые. При этом наблюдался редкий гидродинамический феномен – отрицательные значения коэффициента Дарси-Вейсбаха (лямбда), что отражает преобладание отрицательной турбулентной вязкости в толще водного потока в моменты времени, близкие к развороту течения [21, 22]. Само по себе явление отрицательной турбулентной вязкости ранее было теоретически предвидено [23-25], и в настоящее время используется при описании аэродинамических, метеорологических и астрофизических явлений [26], однако в природных условиях на естественных водотоках ранее не изучалось.

Основными методами наших исследований были натурные эксперименты с использованием акустик-доплеровского профилирования и их анализ по оригинальной методике, отработанной на реках Беломорского бассейна в 2016-2019 гг. [27, 28]. Суть метода состоит в синхронном профилировании в течение приливного цикла по двум створам приливного участка реки: фиксация расхода воды, средней скорости потока и распределения скорости и направления течения по поперечному сечению русла с одновременной фиксацией уровня воды в единой системе высот. При этом используются акустик-доплеровские профилографы RiverRay и автономные регистраторы уровня воды Keller, высотная привязка нулей которых выполняется с использованием дифференциальной системы спутникового позиционирования, состоящей из приемников Trimble 5700, Javad Triumph-VS и Javad Triumph-1, либо (при возможности) геометрическим нивелированием.

Выбор в качестве объекта исследования малых рек Беломорского бассейна был обусловлен тем обстоятельством, что при современных ограничениях, накладываемых техническими возможностями профилографов (скорость движения судна должна быть соизмеримой со скоростью течения), получение кондиционных материалов для подобного рода исследований представляется возможным только для рек шириной менее 100-150 м. Как показал опыт работы на более крупных реках (Онега, Мезень, Северная Двина), при большей ширине русла во время его пересечения может произойти существенное изменение скоростного поля потока, и получаемая картина распределения скоростей и направления течений по сечению не может считаться "мгновенной".

Анализ распределения скоростей течения по поперечному сечению в двух створах в ходе приливного цикла дает возможность оценить изменчивость коэффициентов Кориолиса и Буссинеска как во времени, так и по длине реки. Таким образом, в результате измерений могут быть оценены все члены уравнения движения Сен-Венана, кроме уклона трения, получаемого как разность остальных членов. Исходя из его значения рассчитывается гидравлическое сопротивление, значение которого закономерно изменяется в ходе приливного цикла, в отдельных случаях принимая отрицательные значения (будучи выраженным через коэффициент Дарси-Вейсбаха) [21, 22].

Допущение отрицательного гидравлического сопротивления при одномерной схематизации реверсивного потока с использованием уравнений Сен-Венана возможно при допущении преобладания отрицательной турбулентной вязкости в водном потоке в моменты времени, близкие к развороту течения. При этом водная масса не стоит на месте, а представляет собой совокупность разномасштабных вихрей, а средняя по поперечному сечению скорость течения близка к нулю.

Природа «отрицательной турбулентной вязкости» или «отрицательного гидравлического сопротивления» может быть объяснена с точки зрения представлений о механизме диссипации кинетической энергии в турбулентных потоках: обычно передача энергии происходит от осредненного течения к крупномасштабным турбулентным образованиям, от них к все более мелким вихрям, и при достижении ими субмолекулярных размеров – переход в тепловую энергию («каскад Колмогорова»). Если же существенная часть энергии турбулентных пульсаций не переходит в тепло, а возвращается осредненному течению, а с теоретической точки зрения «противопоказаний» этому процессу нет [25, 29, 30], то гидравлическое сопротивление может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Например, если энергия пульсаций переходит в тепло и возвращается осредненному течению в равных долях, то гидравлическое сопротивление исчезает, а если возврат превосходит диссипацию (т.е. происходит «контрдиссипация» энергии поступательного движения), то оно становится отрицательным. В этом случае вместо потери энергии осредненным движением происходит его подпитка энергией пульсаций, в результате чего скорость осредненного течения увеличивается.

Анализ хода основных гидравлических параметров реверсивных водных потоков в ходе приливного цикла показывает, что изменение гидравлического сопротивления происходит вполне закономерно, и его попадание в область отрицательных значений не носит характер случайных выбросов, а соответствует вполне устойчивым временным промежуткам. В то же время это явление наблюдается лишь при весьма ограниченном диапазоне соотношений «стокового» расхода воды в реке и величины прилива.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 16-05-01018 и 19-35-90032.

Литература

1. Einstein H.A., Harder J.A An electric analog model of tidal estuary // Transactions ASCE, 1961. Vol.126, pt. IV.
2. Розенберг Л.И. О взаимодействии прямых и обратных сложных волн в условиях подпора // Труды ГГИ, 1970. Вып. 183. С.155-165.
3. Михайлов В.Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек. М.: Гидрометиздат, 1971. 260 с.
4. Knight D.W. Some field measurements concerned with the behaviour of resistance coefficients in a tidal channel // Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1981. Vol. 2, Issue 3, P.303-322.
5. Мак-Доуэлл Д. М., О'Коннор Б. А. Гидравлика приливых устьев рек. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.

6. Godin G. Compact approximations to the bottom friction term for the study of tides propagating in channels. *Cont. Shelf Res.*, 1991, 11(7), 579-589.
7. Parker B.B. *Tidal hydrodynamics*, John Wiley, New York, 1991.
8. Toffolon M., Savenije H.H.G. Revisiting linearized one-dimensional tidal propagation, *J. Geophys. Res.*, 2011, 116, C07007.
9. Savenije H.H.G. *Salinity and tides in alluvial estuaries* // Delft University of Technologies, 2012, 163 p.
10. Hoitink A.J.F., Jay D.A. Tidal river dynamics: Implication for deltas, *Rev. Geophys.*, 2016, 54, 240-272.
11. Mike 11. *A modeling system for Rivers and Channels. Reference Manual / Mike by DHI. Denmark, 2009. P. 524.*
12. Brunner G.W. *CEIWR-HEC. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Version 5.0, 2016. 960 p.*
13. Alabyan A.M., Lebedeva S.V., Panchenko E.D. Hydrodynamic modeling as a tool for flood hazard assessment in river mouths: case study of the White Sea / *Материалы Международной научно-практической конференции "Водный форум БРИКС"*, 2016, ВШЭ, Москва, с. 132-134.
14. Панченко Е.Д. Гидродинамические процессы в гиперприливном эстуарии малой реки Сёмжа: возможность моделирования / *Труды V Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)"*, Центр морских исследований МГУ, Москва, 2016, с. 527-529.
15. Панченко Е.Д. Моделирование гидродинамических процессов в приливном эстуарии малой реки / *Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Мининский Университет, Нижний Новгород, 2016, с. 191-197.*
16. Панченко Е.Д., Алексеева А.А., Медин А.М. Проблемы использования одномерных гидродинамических моделей для устьевых областей малых рек / *Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)"*, Москва, 2017, с. 674-675.
17. Алабян А.М., Панченко Е.Д., Алексеева А.А. Динамика потока в устьевых областях малых рек бассейна Белого моря и возможность применения 1D моделей / *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, ИО РАН Москва, 2017, Т. 3, с. 155-159.*
18. Полонский В.Ф., Горелиц О.В. Количественная оценка изменений структуры речного потока в приливном устье реки [Северной Двины и Онеги] // *Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 9. Устья рек. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С. 189–195.*
19. Savenije H.H.G. Lagrangian solutions of St. Venant's equations for alluvial estuaries // *J. Hydraul. Eng.*, 1992, 118(8), 1153-1163.
20. Барышников Н.Б. *Гидравлические сопротивления речных русел. СПб.: РГГМУ, 2003, 145 с.*
21. Алабян А.М., Панченко Е.Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен «отрицательного трения» в речной гидравлике / *Инженерные изыскания, 2017, № 3, с. 24-32.*
22. Алабян А.М., Панченко Е.Д., Алексеева А.А. Особенности динамики вод в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря / *Вестник Московского университета. 2018 Серия 5: География, № 4, с. 39-48.*
23. Форхгеймер Ф. *Гидравлика. М.-Л.: ОНТИ, 1935. 616 с.*
24. Lorenz E.N. Interaction between a mean flow and random disturbances // *Tellus*, 1953, V.5, N 3, p. 238-250.
25. Старр В. *Физика явлений с отрицательной вязкостью. М.: Мир. 1971. 261 с.*
26. Высоцкий Л.И. Существуют ли зоны с отрицательной вихревой вязкостью в продольно-однородных турбулентных потоках? // *Инженерно-строительный журнал, 2013, №2. С. 48-53.*
27. Алабян А.М., Алексеева А.А., Крыленко И.Н., Панченко Е.Д., Попрядухин А.А., Фингерт Е.А., Демиденко Н.А., Лебедева С.В. Опыт и проблемы гидрологических изысканий в приливных устьях / *Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Двенадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций, 2016, Москва, с. 260-263.*
28. Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А., Крыленко И.Н., Лебедева С.В., Льюменс М.Х., Панченко Е.Д., Попрядухин А.А., Фингерт Е.А., Фролова Н.Л. Гидрологические исследования приливных устьев малых рек Белого моря // *Труды V Международной научно-практической конференции — Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)" 18-21 октября 2016 г. — ООО Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова" Москва, 2016. С. 476–479.*
29. Монин А.С., Яглом А.М. *Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч.1 // М.: Наука, 1965, 640 с.*
30. Фидман Б.А. *Турбулентность водных потоков // Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.*

О КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ НА РОССИЙСКИХ АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ
НА РУБЕЖЕ XX – XXI ВВ.

В.Я. Александров¹

¹Российский государственный гидрометеорологический университет

ON CLIMATE CHANGE AT THE RUSSIAN ANTARCTIC STATIONS AT THE TURN OF XX – XXI CENTURIES

V. Ya. Alexandrov¹

¹Russian state hydrometeorological University

Рассматривается многолетний ход температуры воздуха на российских антарктических станциях на фоне продолжающегося глобального потепления. Выявлен положительный тренд хода температуры. Отмечается роль ледников как хороших индикаторов изменения климата. Сделан вывод о том, что потепление особенно ярко проявилось на Антарктическом полуострове.

The long-term course of air temperature at the Russian Antarctic stations against the background of continuing global warming is considered. A positive trend in the course of temperature was revealed. The role of glaciers as good indicators of climate change is noted. It is concluded that the warming is particularly evident in the Antarctic Peninsula.

Изучение Антарктики имеет важное научное и экономическое значение. Изменения климата, произошедшие в последние десятилетия, коснулись и Антарктиды. Являясь важным климатообразующим регионом планеты, Антарктика привлекает к себе особое внимание.

Потепление, которое наблюдается последние полвека, наиболее ярко проявилось на Антарктическом полуострове, где расположена российская станция Беллинсгаузен.

Задача данного исследования - проанализировать многолетний ход температуры воздуха на российских антарктических станциях и определить характер ее многолетнего изменения.



Рис.1. Снимок Антарктиды из космоса (NASA)

Фактический материал – температурные ряды шести научных станций (табл. 1), расположенных в различных климатических областях Антарктиды (рис. 1, 2).

Таблица 1. Российские антарктические станции

Название станции (период работы)	Место расположения станции	Географические координаты
Мирный	Восточная Антарктида, Берег моря Дейвиса	60°43' S; 45°36' E
Беллинсгаузен (с 1968 г. – по настоящее время)	Южные Шетландские о-ва, о. Кинг-Джордж	62°12' S; 58°58' W
Новолазаревская (с 1961 г. по настоящее время)	Восточная Антарктида Земля Королевы Мод, Оазис Ширмахера	70°46' S; 11°50' E
Прогресс (с 1989 г. по настоящее время)	Восточная Антарктида, П-ов Миррор (залив Прюдс), море Содружества	69°23' S; 76°23' E

Восток (с 1957 г. по настоящее время)	Ледниковое плато Восточной Антарктиды, высота 3488 м над у.м.	78°27' S; 106°52' E
Молодежная, Открыта в 1962 г., (в наст. время – статус АМС)	Восточная Антарктида, Бухта Алашеева, море Космонавтов	67°40' S; 45°13' E

Станции репрезентативны (данные наблюдений показательны для общей характеристики климата данного региона). Станции удовлетворяют требованиям равномерности распределения по территории, длине и качеству метеорологических рядов.

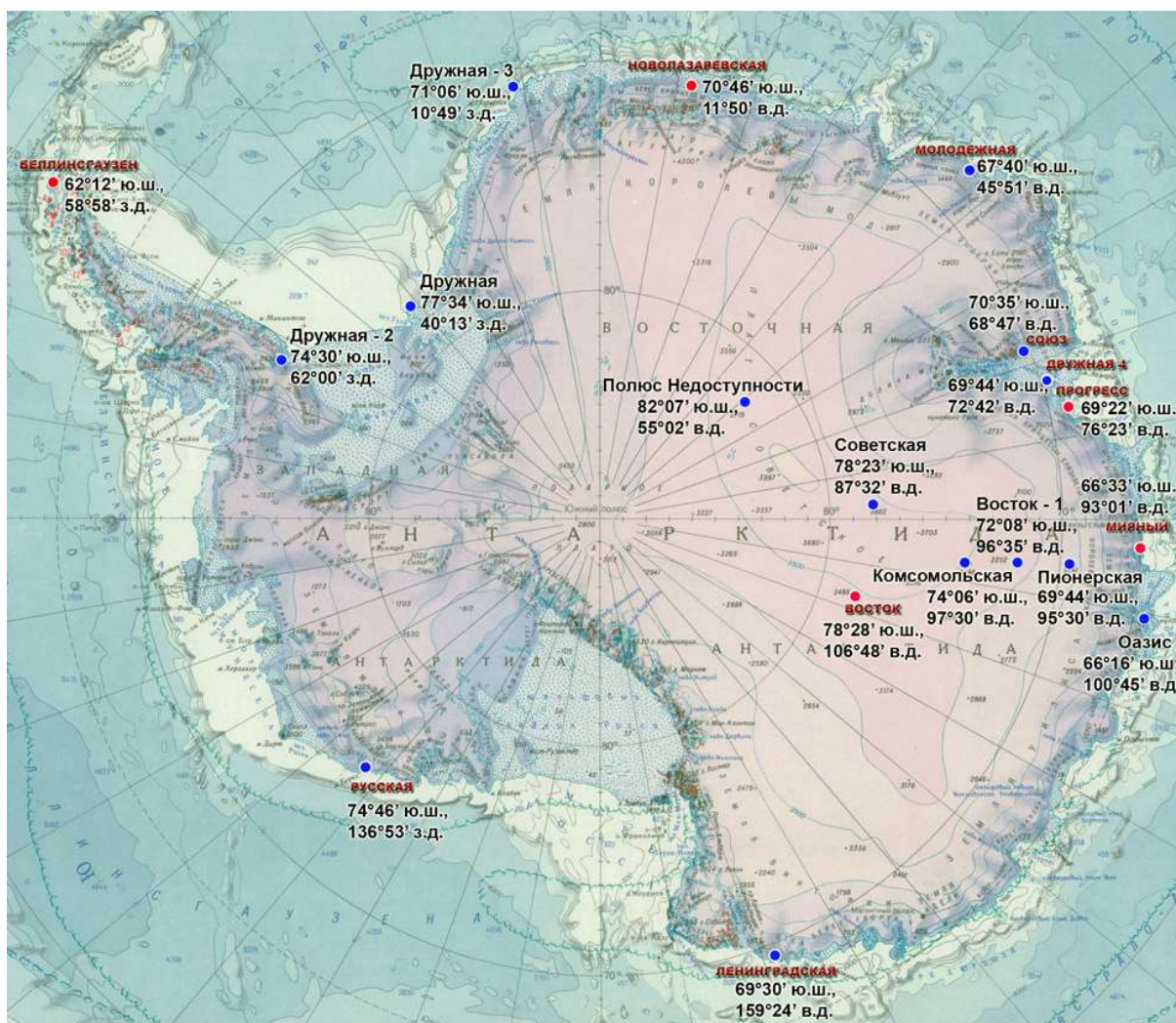


Рис.2. Карта Антарктиды с расположением российских научных станций [1]

Температурный режим

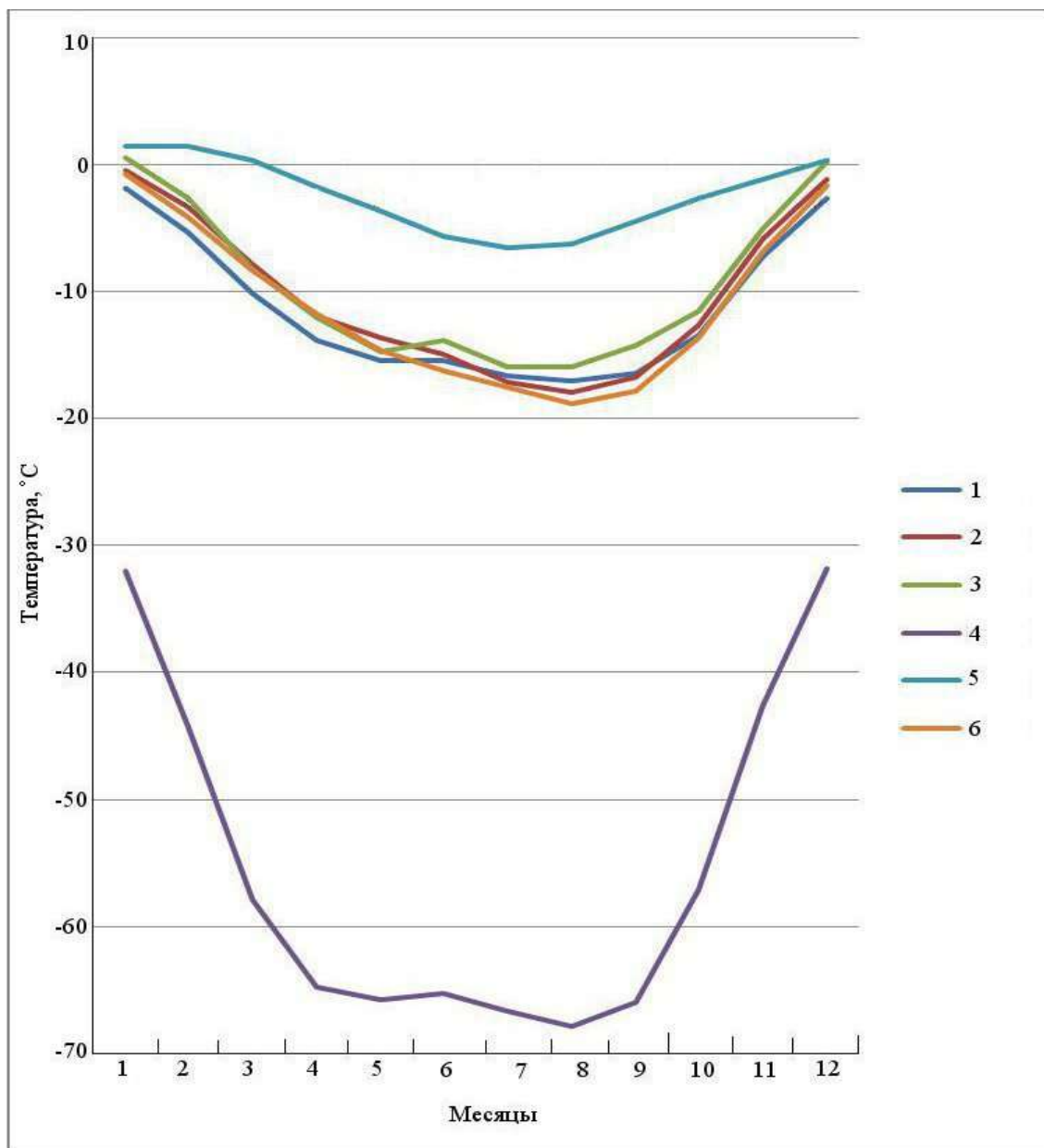
Пространственно-временная структура полей метеорологических величин в Антарктике определяется взаимодействием многих факторов: циркуляция атмосферы, радиационный режим, орография, высота над уровнем моря, характер подстилающей поверхности и др.

Однако, основным фактором, формирующим нестационарность метеорологического режима, является атмосферная циркуляция [2, 3].

Температура воздуха

На рис. 3 представлен годовой ход температуры на станциях. Из анализа графика можно заключить, что станции, расположенные на побережье - Новолазаревская, Молодежная, Прогресс, Мирный – незначительно отличаются по годовому ходу температуры воздуха. Эти станции расположены в одной климатической зоне – у подножия ледникового склона. Только станции Беллинсгаузен и Восток сильно отличаются по температурному режиму от вышеперечисленных: станция Беллинсгаузен находится на острове Кинг-Джордж (Южные Шетландские о-ва), на широте 62°, на пути движения циклонов, зарождающихся в юго-восточной части Тихого океана, здесь преобладает морской тип климата. Станция Восток находится на ледяном плато Восточной Антарктиды, на высоте 3488 м над у.м., здесь отмечены самые низкие температуры на планете (абсолютный минимум температуры воздуха зафиксирован в 1986 г. и составил – 89,2 °С).





1 – Беллинсгаузен; 2, 3, 5, 6 – прибрежные станции Восточной Антарктиды (Новолазаревская, Молодежная, Прогресс, Мирный); 4 – Восток

Рис.3. Годовой ход среднемесячных температур воздуха на антарктических станциях

Проанализируем многолетний ход температуры воздуха на станциях (рис. 4 – 9). Разброс среднегодовых значений температуры не превышает двух градусов, только на ст. Восток этот разброс достигает трех градусов.

По проведенной линии тренда можно судить о том, что за период наблюдений произошло повышение температуры воздуха на станциях от 0,5° до 1,0 °С (кроме ст. Молодежная). Это согласуется с данными, представленными на рис. 10.

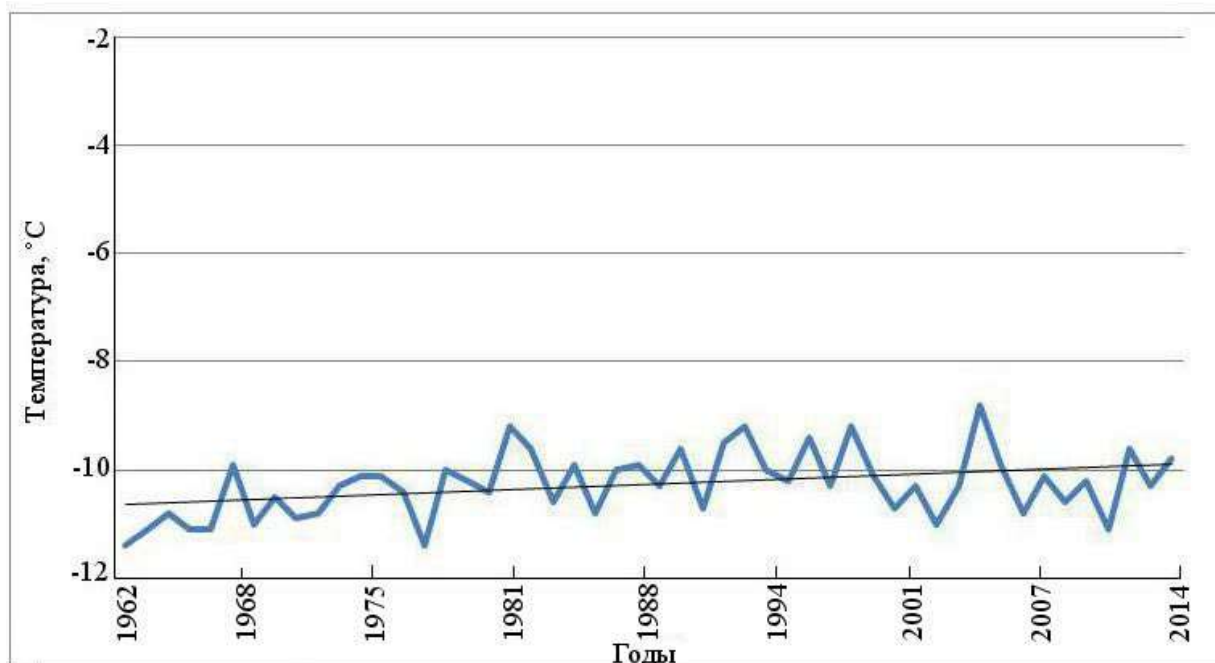


Рис.4. Многолетний ход температуры воздуха на ст. Новолазаревская

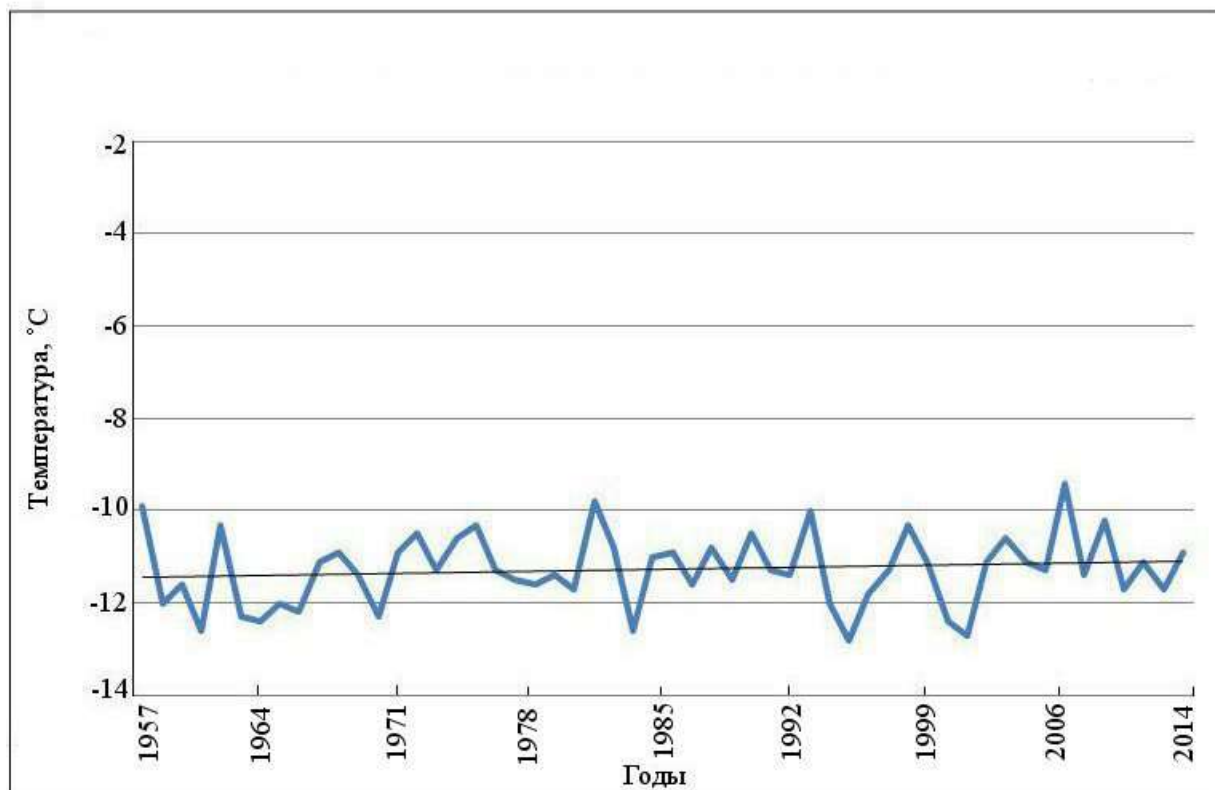


Рис.5. Многолетний ход температуры воздуха на ст. Мирный

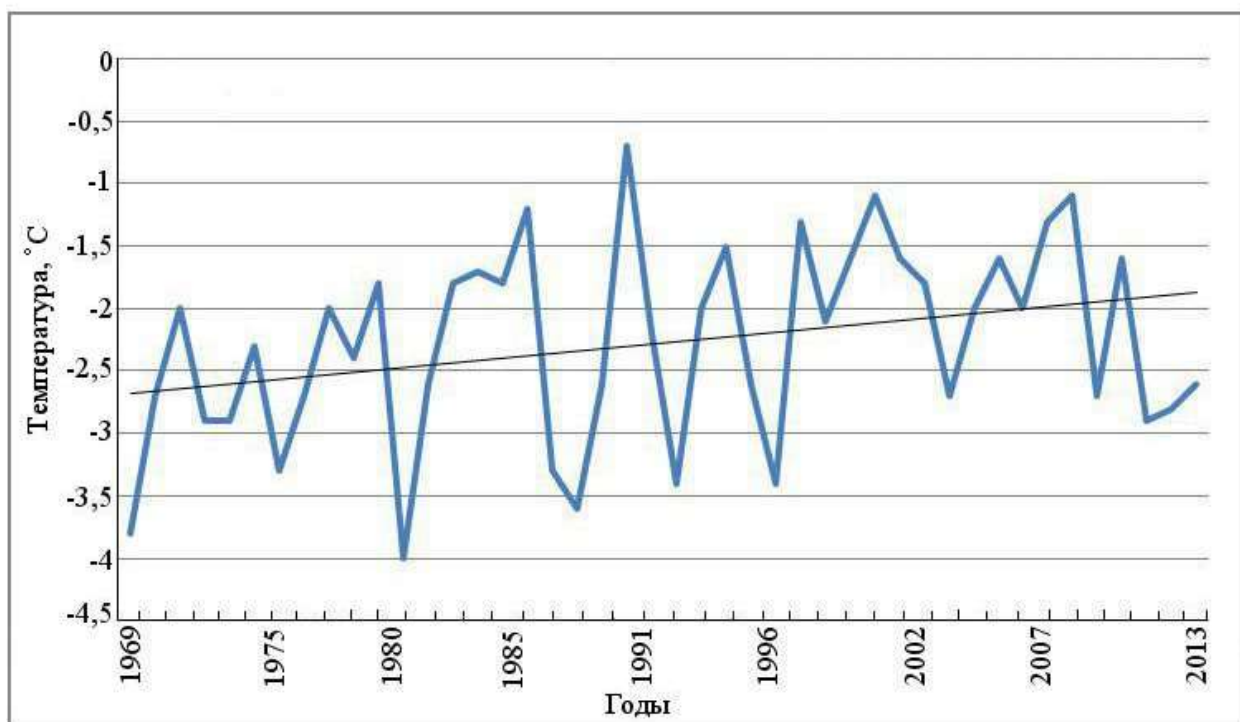


Рис. 6. Многолетний ход температуры воздуха на ст. Беллинсгаузен

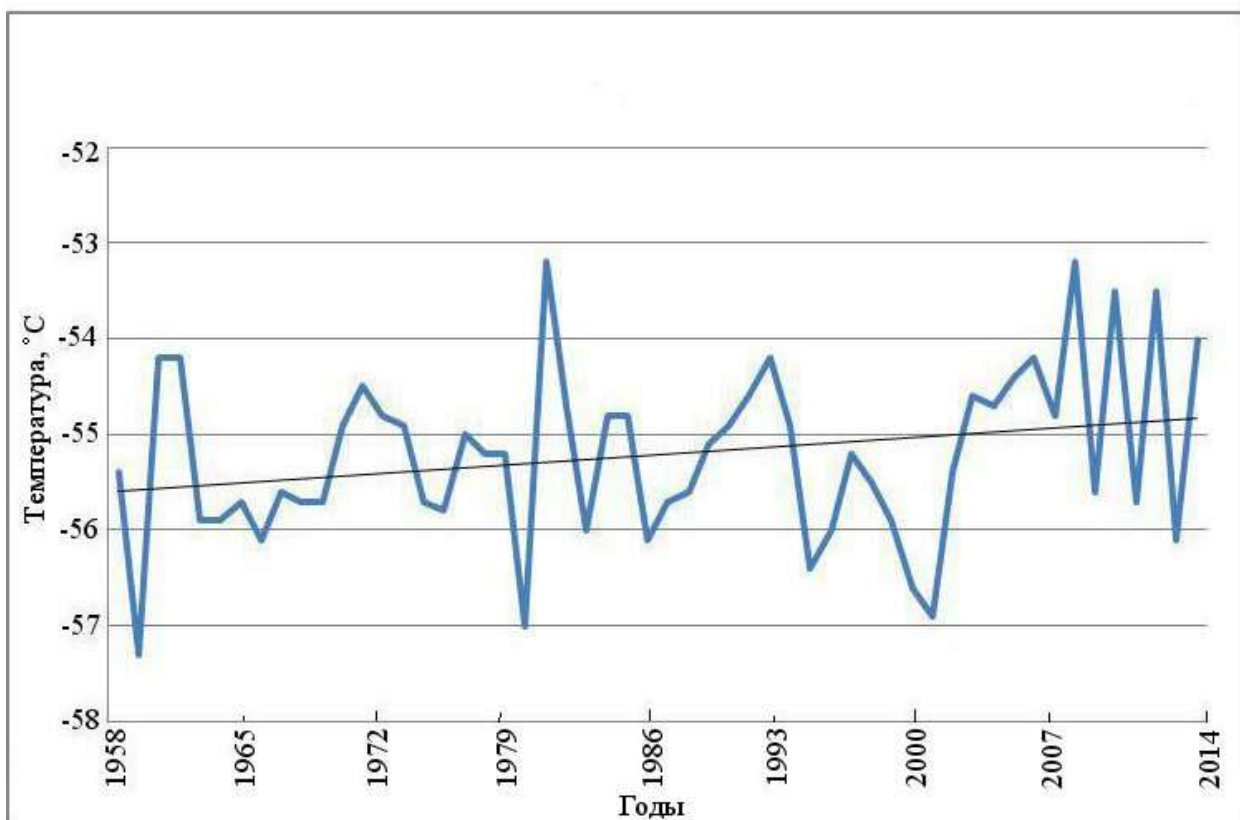


Рис. 7. Многолетний ход температуры воздуха на ст. Восток

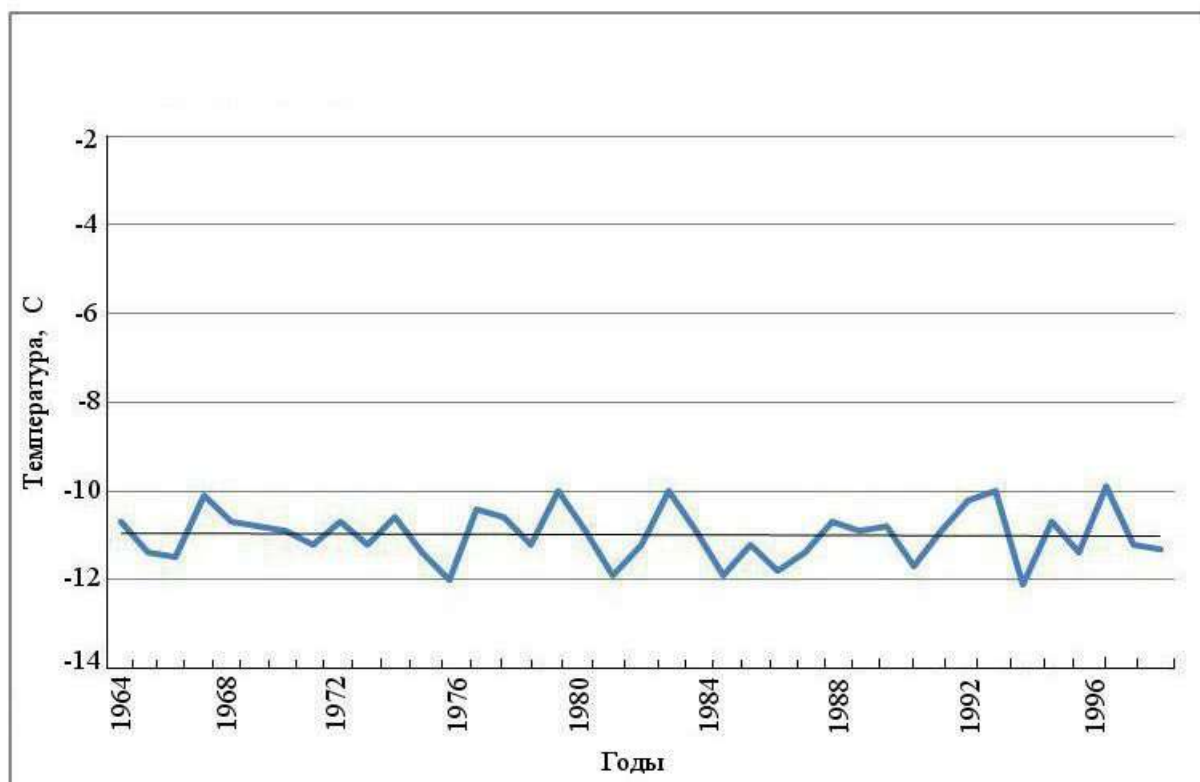


Рис. 8. Многолетний ход температуры воздуха на ст. Молодежная

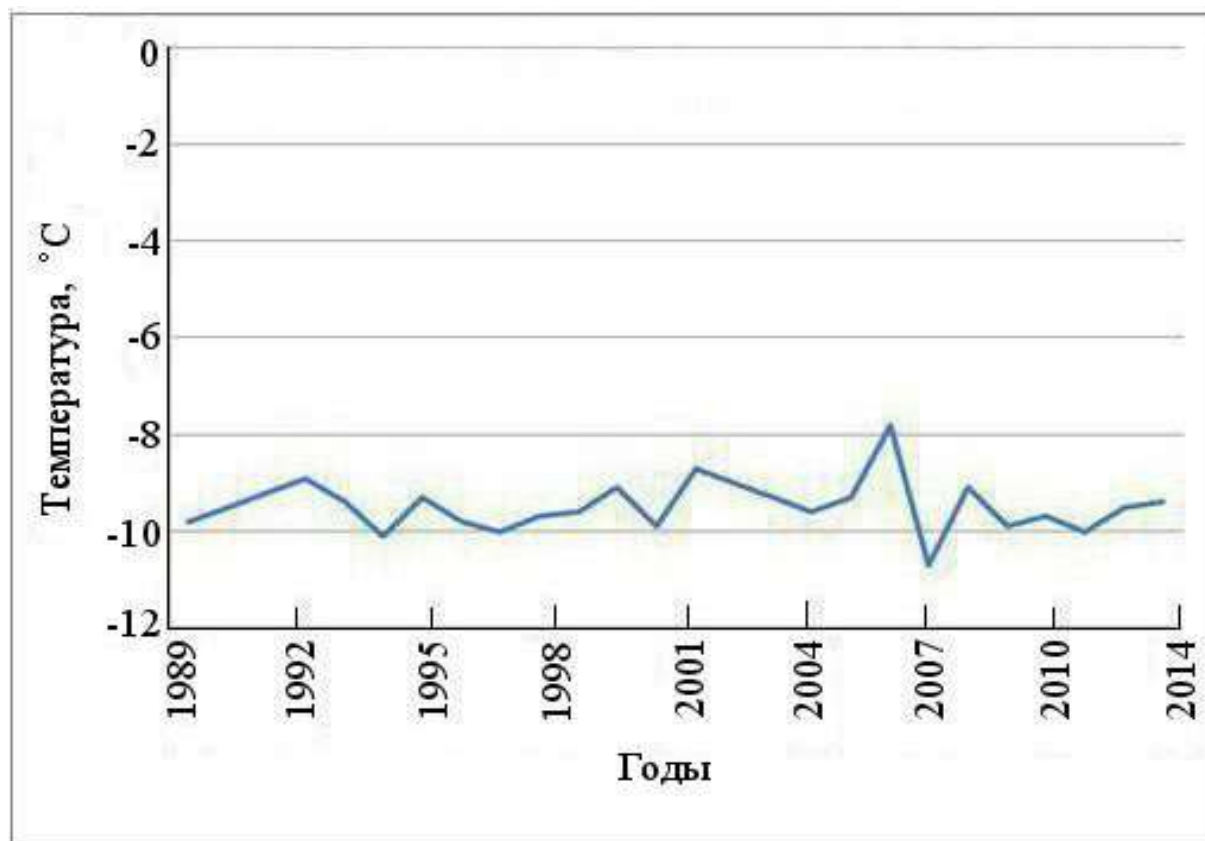


Рис. 9. Многолетний ход температуры воздуха на ст. Прогресс

(с 1992 по 2004 гг. станция не работала. Температурные ряды восстановлены по данным китайской станции Зонг Шанг, расположенной в 500 м от ст. Прогресс).

В Антарктике за последние 50 лет произошло потепление климата. В основном потеплела Западная Антарктида. А наиболее ярко потепление проявилось в регионе Антарктического полуострова. Причем современное потепление наиболее сильно выражено с середины 80-х годов прошлого века.

Потепление на Антарктическом полуострове протекает на фоне глобального повышения температуры воздуха (в 70-е годы прошлого века отмечено увеличение глобальной температуры на 0.15 °С за десятилетие).

Особенно ярко потепление проявилось в регионе Антарктического полуострова. Рост температуры воздуха на большинстве станций региона происходит практически синфазно глобальным изменениям [4], причем современное потепление наиболее сильно выражено с середины 1980-х годов (рис. 10).

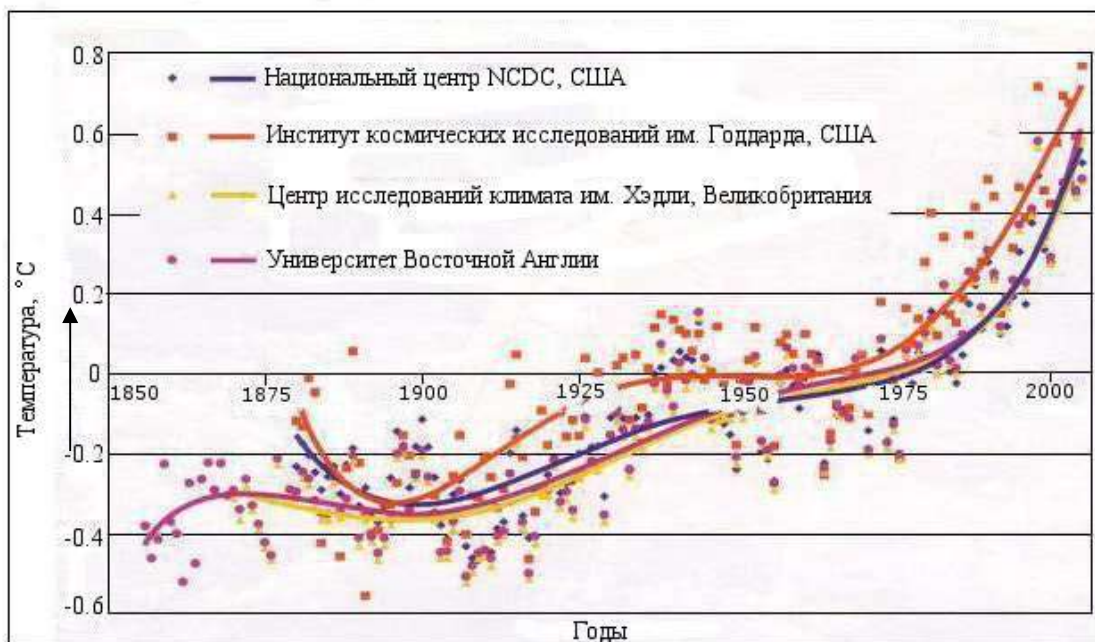


Рис. 10. Динамика глобального потепления [9]

С 1947 года среднегодовая температура воздуха на Антарктическом полуострове повысилась на величину от 2,4 до 2,6 °С (Наибольший вклад в потепление на этих станциях вносит повышение температуры в зимние месяцы (июнь – август) [4], однако летний рост температуры, будучи значительно менее выраженным по величине, во многом обуславливает деградацию оледенения в связи с расширением периода времени со среднесуточными температурами выше нуля

Ледниковое покрытие Антарктического полуострова – это более чем 400 отдельных ледников, высоких и узких горных плато. Площадь ледников (включая шельфовый лед) – около 95200 км², среднегодовая аккумуляция (накопление массы) – около 143 гигатонн [5].

С 1953 года, из 244 ледников, связанных с островами, 212 показывают общее отступление с их ранее известных позиций. Другие 32 ледника показывают очень незначительное наступление [6, 7].

Начиная с 1954 года отступление ледников неуклонно увеличивалось, и, к 2004 году достигло 75 % от общей площади ледников, причем границы отступления сместились к югу (рис. 11).

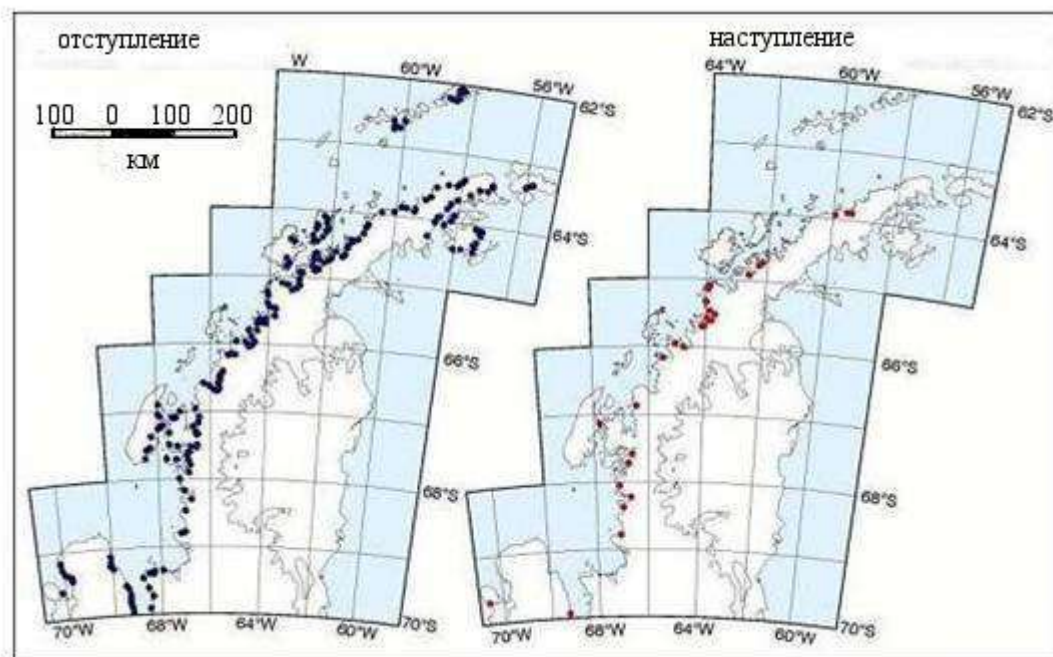


Рис.11. Общее изменение фронтов ледников (отступление / наступление) [5]

Данные измерений на 300 ледниках западного побережья Антарктического полуострова (с 1992 по 2005 годы) показали, что скорости движения ледников выросли на 10 %, и что эта тенденция увеличивается [8].

Увеличение потери льда может быть частично возмещено увеличением количества осадков в западной части Антарктического полуострова. Но шельфовые ледники и ледники на западной стороне полуострова продолжают отступать. Суммарная оценка массовой потери составляет около 43 гига тонн / год [8].

Разрушение шельфовых ледников приводит к непрерывной потере наземного льда (покровного ледника), из которого вытекают выводные ледники.

Крупномасштабные синоптические процессы, в результате влияния которых происходит вынос тепла, вызывают таяние снега. В частности, адвекция теплых влажных воздушных масс с севера способствует более высоким нормам таяния. Довольно велики различия в межгодовых нормах удаления. Решающее значение здесь имеют преобладающие синоптические условия.

За прошедшие полвека Антарктический полуостров потерял около 27 тыс.км² площади шельфовых ледников. Основной причиной отступления шельфовых ледников Антарктического

полуострова можно считать повышение уровня поверхностного таяния, как результат атмосферного потепления [5, 6]. Ледники острова Кинг-Джордж – очень хорошие индикаторы обнаружения климатических изменений в регионе Антарктического полуострова.

Литература

1 Атлас океанов. Антарктика [Карты] / Под ред. В.Д. Фомченко и Б.С. Фридмана / ГУНО Минобороны РФ, ГНЦ РФ «АНИИ». – СПб., 2005. – 280 с.

2 Русин Н.П. Метеорологический и радиационный режим Антарктиды [Текст] / Н.П. Русин. – Л. Гидрометеиздат. 1961. – 448 с.

3 Савицкий Г.Б. Типы синоптических процессов в Антарктике в связи с формами атмосферной циркуляции Южного полушария [Текст] / Г.Б. Савицкий. – Труды АНИИ. – 1976. – Т.330. – С. 30–49.

4 Александров, В.Я. Колебания среднегодовых аномалий температуры воздуха в регионе Антарктического полуострова в связи с особенностью атмосферных процессов в южной полярной области [Текст] / В.Я. Александров, А.Я. Коржиков // Ученые записки РГГМУ. – 2010. – № 15. – С.86 – 91.

5 Braun, M. Ablation on the ice cap of King-George Island (Antarctica) [Text]: Doct. thesis at the Faculty of Earth Sciences Albert-Ludwigs-University / M. Braun. – 2001. – 165 p.

6 Antarctic Climate Change and the Environment. A contribution to the International Polar Year. 2007–2008/ Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). Edited by: Dominic Hadson, John Turner, Peter Convey. British Antarctic Survey, UK; Robert Bindaschadler, National Aeronautic and Space Administration, USA; Eberhard Fahrbach, Julian Gutt, Alfred Wegener Institute, Germany; Paul Mayevski, Climate Change Institute, University of Maine, USA; Colin Summerhages, Scientific Committee on Antarctic Research. Cambridge. Victoria Press, 2009. 526 p.

7 Ferrigno, J.G. Coastal-Change and Glaciological [Maps]. – Maps of the Trinity Peninsula area, Antarctica: 1843 – 2002 (USGS map number 102600–A). – 2006.

8 Александров В.Я. Ледники Антарктического полуострова и их реакция на климатические изменения [Текст] / В.Я. Александров // Ученые записки РГГМУ. – 2011 – С. 78–82.

9 <http://galspase.spb.ru>

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК

Г.В. Алексеев, А.Е. Вязилова, Н.Е. Харланенкова, Н.И. Глок
ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

IMPACT OF GLOBAL WARMING ON SIBERIAN RIVERS DISCHARGE

G.V. Alekseev, A.E. Vyazilova, N.E. Kharlanenkova, N.I. Glok
Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Рассматривается влияние изменений глобальных климатообразующих факторов (атмосферная циркуляция, осадки, содержание влаги в атмосфере) на формирование стока главных сибирских рек: Оби, Лены и Енисея.

Impact of global climatic factors (atmospheric circulation, precipitation, surface air moisture content) on conditions for main Siberian rivers: Ob, Lena and Yenisei discharge formation is investigated.

Ведение

Содержанию пресной воды (СПВ) в Арктическом бассейне уделяется большое внимание как источнику притока опресненных вод в северную часть Атлантического океана, влияющих на Атлантическую термохалинную циркуляцию. По оценке [1] в среднем за год приток пресной воды в Арктику определяется речным стоком (42%), притоком через Берингов пролив (32%) и чистым количеством осадков (26%). Ранее Aagaard & Carmack (1989) [2] оценили вклад речного стока в 56% при 28% притока через Берингов пролив и 15% чистых осадков.

По данным работы [2] половина среднего за год притока речных вод в СЛО приходится на три крупнейшие сибирские реки: Обь, Енисей и Лена, поэтому изменения их стока будут характеризовать климатические изменения притока речных вод в СЛО.

Относительно причин этих изменений, особенно значительных в последние два десятилетия, нет единого мнения. В частности, относительно роли атмосферной циркуляции и связанных с ней изменений в осадках и температуре воздуха на водосборных бассейнах и их влияния на сток. Потепление климата в течение последних десятилетий сопровождается ростом температуры воздуха, увеличением количества атмосферных осадков и изменением речного стока с тенденцией к увеличению.

Цель нашего исследования — оценить влияние изменений глобальных климатообразующих факторов, таких как атмосферная циркуляция, осадки, содержание влаги в атмосфере на условия в области формирования стока трех главных сибирских рек.

Данные и методы

Используются данные температуры воздуха, влагосодержания из реанализов NCEP (1948-2018) [3], ERA/Interim (1979-2018) [4], данные об осадках на суше PREC/L [5], поля осадков проекта GPCC (Global Precipitation Climatology Center) [6]. Данные речного стока за 1936-2018 гг. получены из следующих источников: массивы данных R-ArcticNet [7], ArcticGRO [8].

Для проведения исследования были выделены географические регионы, включающие области водосбора отдельных рек и общий водосбор: область $51,25^{\circ} - 68,75^{\circ}$ с. ш., $61,25^{\circ} - 88,75^{\circ}$ в. д. для водосбора Оби; $51,25^{\circ} - 68,75^{\circ}$ с. ш., $91,25^{\circ} - 108,75^{\circ}$ в. д. для Енисея; $51,25^{\circ} - 68,75^{\circ}$ с. ш. $111,25^{\circ} - 131,25^{\circ}$ в. д. для Лены; $70^{\circ} - 50^{\circ}$ с. ш., $60^{\circ} - 160^{\circ}$ в. д. для трех рек.

Определялись средние по областям, включающим водосбор рек, среднемесячные температура воздуха и осадки. По данным о среднемесячной приповерхностной температуре воздуха из реанализов рассчитывались индексы зональной, меридиональной и общей циркуляции по методике из работы [9]. Применялись методы многомерного взаимно-корреляционного и взаимно-спектрального анализа, разложение по ЕОФ, построения распределений повторяемости значений менее 10% и более 90% обеспеченности.

Результаты

Влияние атмосферной циркуляции на климатические условия на водосборах. Индексы влияния

При усилении зонального и меридионального переноса тепла атмосферной циркуляцией пространственные контрасты приповерхностной температуры воздуха уменьшаются, а при ослаблении переносов, наоборот, возрастают. На этом основании были предложены [10] индексы для оценки влияния колебаний атмосферных переносов на среднюю приповерхностную температуру воздуха на полушарии, Земле в целом и в отдельных областях.

Индекс влияния зональной циркуляции D_Z рассчитывается по формуле:

$$D_Z = \frac{1}{2\pi(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos \varphi \int_0^{2\pi} (T_{\varphi\lambda} - T_{\varphi})^2 d\lambda d\varphi \quad (1)$$

Индекс влияния меридиональной циркуляции D_M определяется формулами:

$$D_M = \left\langle (T_{\varphi} - \langle T_{\varphi} \rangle)^2 \right\rangle_{\varphi}, T_{\varphi} = \langle T_{\varphi\lambda} \rangle_{\lambda}, \langle T_{\varphi} \rangle = \langle T_{\varphi} \rangle_{\varphi} \quad (2)$$

и характеризует неоднородность распределения температуры вдоль меридиана от экватора до полюса. Угловые скобки означают осреднение по широте φ , или по долготе λ ,

Индекс совместного влияния зональной и меридиональной или общей циркуляции определён как

$$D = (D_Z + D_M)^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

Средний квадрат отклонения приповерхностной температуры воздуха от соответствующих средних в формулах для D_Z и D_M входит в определение доступной потенциальной энергии в атмосфере [11; 12].

Влияние на приповерхностную температуру воздуха (ПТВ), содержание влаги и осадки на водосборах

Наиболее заметное влияние зональные переносы оказывают на ПТВ в Азии к северу от 40° с. ш., а влияние меридиональных переносов сказывается в более северных областях, включая Арктический бассейн. Области влияния зональных и меридиональных переносов на ПТВ включают водосборные бассейны сибирских рек и, следовательно, переносы могут влиять на климатические условия на водосборах. Заметим, что зональные переносы оказывают отопляющее влияние только в холодную часть года с октября по март.

Расчеты корреляций между индексами и климатическими параметрами на водосборах подтвердили это предположение. Все коэффициенты подтверждают значимое влияние атмосферных переносов на приповерхностную температуру воздуха, содержание влаги в атмосфере и осадки (в меньшей степени) в холодную часть года.

Связь между климатическими условиями в областях водосборов и речным стоком

Проведена оценка влияния изменений приповерхностной температуры воздуха и осадков в областях водосбора на сток. Расчеты коэффициентов корреляции между средней температурой воздуха и средними осадками в областях водосбора и годовым стоком рек показали, что наибольшее влияние на сток оказывают средние за год, особенно на сток Лены осадки (коэффициент корреляции 0.77) (рис. 1).

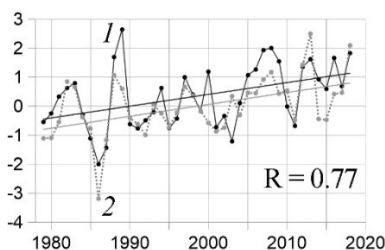


Рис. 1. Связь между среднегодовым стоком реки Лены и среднегодовыми осадками в бассейне реки Лены (нормированные значения, 1 – сток, 2 – осадки).

Влияние изменений температуры заметнее при осреднении температуры по всем трем бассейнам, особенно для средней за год температуры. Наибольший коэффициент корреляции наблюдается между суммарным годовым стоком 3-х рек и среднегодовой ПТВ в общей области

водосбора 3-х рек, рассчитанный по данным реанализа ERA/Interim за 1979–2018 гг., составляет 0.56.

Основной вклад в связь между климатическими показателями и стоком вносят тренды, которые показывают изменения одного знака. Максимальные положительные тренды средних температур воздуха и осадков характерны для весеннего периода. Наибольший рост осадков наблюдается в марте в области водосбора р. Оби (0.67 мм/год) и в мае в области водосбора р. Лены (0.63 мм/год) и р. Енисей (0.32 мм/год). Для среднегодовых и средних за холодный период года температур воздуха и осадков также характерен рост, как и для годовых стоков рек.

Многолетние изменения параметров стока и климата в области водосбора

Положительные коэффициенты тренда годового стока рек Оби, Лены и Енисея показывают рост расходов и годового стока трех рек, которые максимальны для р. Лены ($500.41 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1} \text{ год}^{-1}$ в период 1936-2018 гг., $1079.73 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1} \text{ год}^{-1}$ в период 1979-2018). Суммарный годовой сток трех рек также растет в период 1936-2018 гг. (рис. 2а) с линейным трендом $2.216 \text{ км}^3 \text{ год}^{-1}$ и абсолютным максимумом в 2007 году. Среднемесячные значения расходов на всех трех реках возрастали более всего в мае. В июне, когда в основном отмечался максимальный расход на трех реках, расходы убывали в течение 1936-2018 и 1979-2018 гг. (рис. 2б).

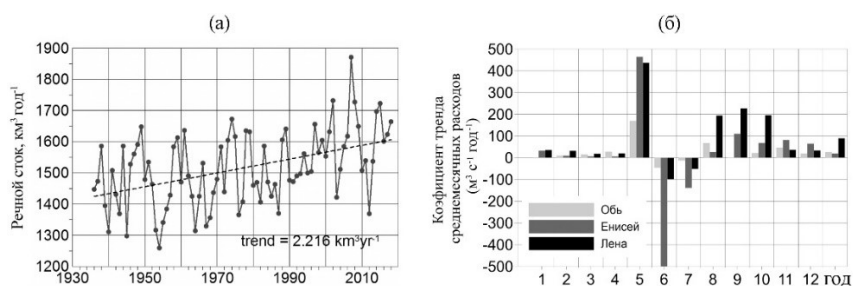


Рис. 2. Суммарный годовой сток трех рек в период 1936-2018 гг. (а), коэффициенты трендов среднемесячных расходов ($\text{м}^3 \text{ с}^{-1} \text{ год}^{-1}$) в 1979-2018 гг. (б)

Максимальные расходы и связанные с ними паводки на реках представляют угрозу для населения, живущего в речных долинах. С этой точки зрения уменьшение максимальных расходов — благоприятное последствие потепления. Другим важным показателем влияния паводков является их повторяемость при изменениях климата. Для оценки изменений повторяемости максимальных расходов были рассчитаны интегральные повторяемости малых расходов менее 10% и больших расходов, превышающих 90% обеспеченность (рис. 3).

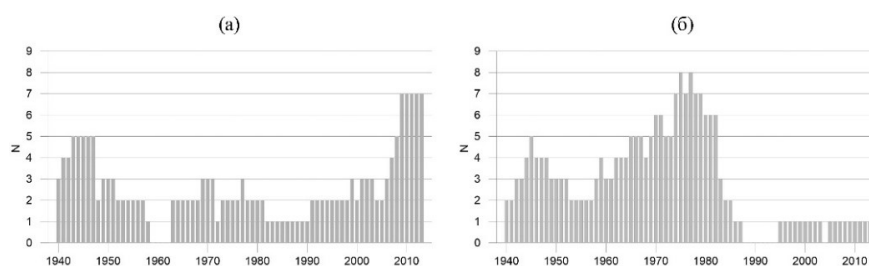


Рис. 3. Количество значений (а) <10% обеспеченности, (б) >90% обеспеченности максимальных расходов на трех реках в 9-летних скользящих интервалах.

Из рисунка видно рост числа малых максимумов в периоды 1940-50 гг. и в 2000-е гг. и увеличение числа максимальных расходов в 1970-80-е годы. Можно предположить, что в периоды потеплений преобладают меньшие максимальные расходы, при похолодании растет число максимальных расходов. Расчеты повторяемости температуры воздуха в областях водосбора трех рек (рис. 4) подтверждают это предположение.

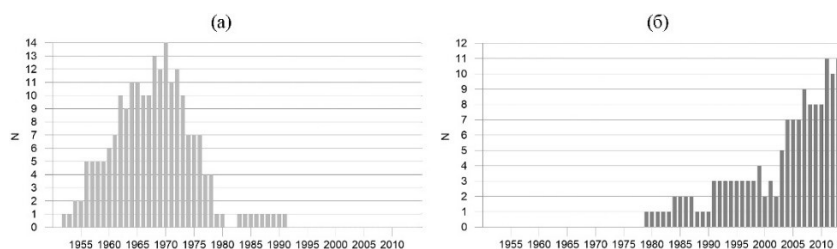


Рис. 4. Количество значений (а) <10% обеспеченности, (б) > 90% обеспеченности среднегодовой температуры воздуха в областях водосборов в 9-летних скользящих интервалах.

Выводы

Климатические условия в областях водосбора главных сибирских рек формируются под влиянием атмосферной циркуляции, приносящей тепло, влагу и осадки. Атмосферные переносы влияют более всего в холодную часть года, особенно в ноябре и марте. Летом усиление зональной циркуляции сопровождается понижением температуры воздуха в области водосборов, а меридиональные переносы повышают температуру.

Переносы зимой формируют сходные изменения средних значений температуры, содержания влаги и осадков в областях водосборов, в то время как летом изменения не связаны или противоположны в области водосборов Оби и Лены.

Наибольшее влияние на сток оказывает рост средних за год осадков, особенно на сток Лены. Влияние изменений температуры заметно при осреднении по всем трем бассейнам для средней за год температуры.

Годовой сток рек возрастает, особенно сток Лены. Суммарный годовой сток трех рек рос в 1936-2018 гг., со скоростью $2,216 \text{ км}^3\text{год}^{-1}$, а максимальный сток убывал в 1979-2018 гг., со скоростью от $0,14$ (Обь) до $1,0 \text{ км}^3\text{год}^{-1}$ (Енисей).

В 2000-е годы повторяемость максимумов стока менее 10% обеспеченности увеличилась, а больших максимумов более 90% обеспеченности уменьшилась. Максимальная повторяемость больших максимумов приходится на 1970-80-е годы. Такое распределение повторяемостей максимумов стока связано с потеплением климата в 2000-е годы и похолоданием в 1970-е годы.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-05-60107).

Литература

1. Serreze M.C., Barrett A.P., Slater A.G., Woodgate R.A., Aagaard K. [и др.]. The large-scale freshwater cycle of the Arctic // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2006. № C11010 (111). С. 1–19.
2. Aagaard K., Carmack E.C. The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation // *Journal of Geophysical Research*. 1989. № C10 (94). С. 14485–14498.
3. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W.D., Deaven D. [и др.]. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1996. (77). С. 437–471.
4. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P. [и др.]. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2011. (137). С. 553–597.
5. Chen M., Xie P., Janowiak J.E., Arkin P. Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations // *Journal of Hydrometeorology*. 2002. № 3 (3). С. 249–266.
6. Adler R.F., Huffman G.J., Chang A., Ferraro R., Xie P.-P. [и др.]. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present) // *Journal of Hydrometeorology*. 2003. № 6 (4). С. 1147–1167.
7. Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Vörösmarty C.J., Fekete B.M., Peterson B.J. R-ArcticNet, A Regional Hydrographic Data Network for the Pan-Arctic Region (ISO-image of CD-ROM). PANGAEA. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.859422>.
8. Shiklomanov A.I., Holmes R.M., McClelland J.W., Tank S.E., Spencer R.G.M. Arctic Great Rivers Observatory. Discharge Dataset, Version 20190402. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arcticrivers.org/data>.
9. Алексеев Г.В. Арктическое измерение глобального потепления // *Лед и снег*. 2014. № 2. Р. 53–68.
10. Алексеев Г.В., Подгорный И.А., Священников П.Н. Колебания отепляющего влияния океанов на глобальный климат // *ДАН СССР*. 1991. № 1 (320). С. 70–73.
11. Ван Мигем Ж. Энергетика атмосферы. Под ред. Л.Т. Матвеев. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 327 р.
12. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 259 р.

ОСЦИЛЛЯЦИЯ МАДДЕНА – ДЖУЛИАНА И ДИНАМИКА ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ СТРАТОСФЕРЫ

О.Г.Анискина, К.К.Кандиева, А.И.Погорельцев

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

MADDEN - JULIAN OSCILLATION AND THE DYNAMICS OF THE EXTRATROPICAL STRATOSPHERE

O.G.Aniskina, K.K.Kandieva, A.I. Pogoreltsev

Приводятся результаты исследований влияния осцилляции Маддена – Джулиана на динамику внетропической стратосферы. Установлена связь между осцилляцией Маддена-Джулиана и устойчивостью полярного вихря.

The results of studies of the influence of the Madden-Julian oscillation (OMD) on the dynamics of the extratropical stratosphere are presented. A connection was established between OMD and the stability of the polar vortex.

Осцилляция Маддена-Джулиана (ОМД) это колебание в тропической области, которое проявляется в аномалиях кучевой облачности, которые перемещаются вдоль экватора с запада на восток со средней скоростью около 5 м/с и периодом от 30 до 60 суток. Развитие крупномасштабной конвективной ячейки ОМД начинается на западе Индийского океана, затем зона глубокой конвекции перемещается на восток, постепенно затухая по мере продвижения к восточной части Тихого океана. В тропической зоне ОМД оказывает воздействие на интенсивность осадков и температуру воздуха [1, 2].

Анализ изменчивости стратосферы в данном исследовании проводился с помощью индекса интенсивности вихря и площади полярного вихря, которые были рассчитаны по среднесуточным значениям данных ре-анализа JRA-55. Анализировались поля за холодный сезон года (ноябрь – апрель) в период с 1985 – 2018 гг. с шагом 24 часа на десяти изобарических поверхностях в стратосфере от 250 гПа до 1 гПа. Рассматривалось влияние ОМД на полярный вихрь в разные фазы ОМД. Цикл ОМД разделен на 8 фаз. Время перехода между каждой фазой составляет 6 дней, но может меняться от события к событию. События ОМД с амплитудой меньше 1 относят к «слабым» событиям, больше 1 к «сильным» [3].

Площадь полярного вихря определялись, как площадь ячеек сетки, в которых завихренность отрицательна. Индекс интенсивности полярного вихря рассчитывался по аномалии геопотенциальной высоты [1]. На рисунках 1 и 2 представлена зависимость площади полярного вихря и его интенсивности от фазы ОМД, полученная по осредненным для каждой фазы данным.

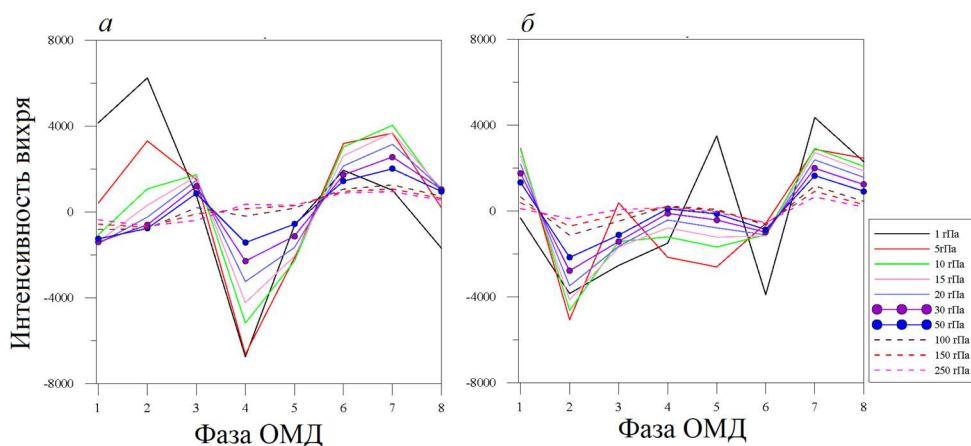


Рис. 1 Зависимость среднего индекса интенсивности полярного вихря от фазы ОМД: *a* – для «слабых» ОМД; *b* – для «сильных» ОМД

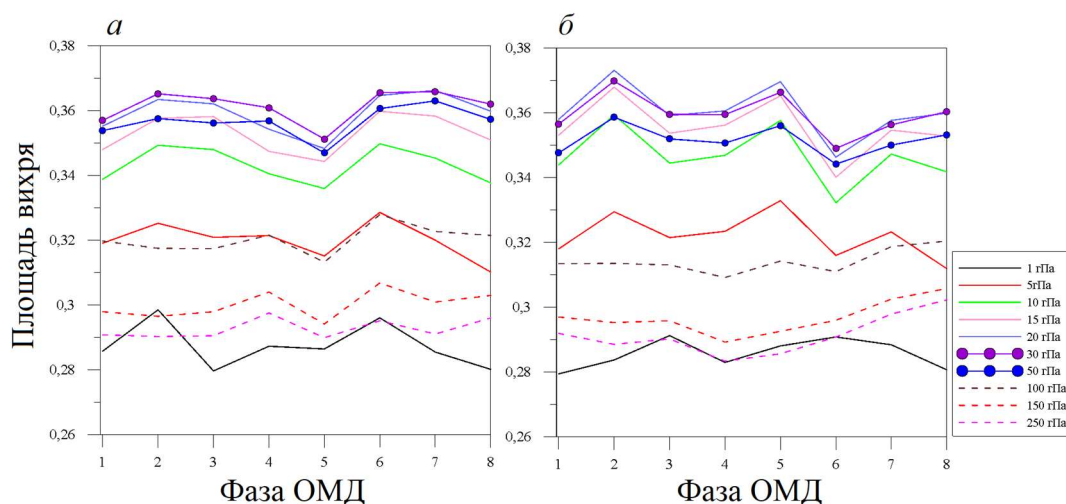


Рис. 2 Зависимость средней нормированной площади полярного вихря от фазы ОМД: *а* – для «слабых» ОМД; *б* – для «сильных» ОМД

Полученные результаты позволяют говорить о том, что влияние тропического колебания ОМД на изменение циркуляции стратосферы зависит от географического положения аномалий, связанных с фазой ОМД.

Во время сильных событий ОМД наблюдается разное влияние на полярный вихрь в верхней (выше 5 гПа) и средней стратосфере. Индекс интенсивности чаще всего отрицателен во время сильных событий ОМД, в то время как во время слабых событий возможны разные изменения знака аномалии интенсивности.

Анализ изменения площади вихря позволяет сделать вывод о том, что в вертикальном развитии площадь вихря достигает максимума на уровне 30 гПа, минимальное значение площади вихря приходится на 5-ю фазу во время слабого состояния ОМД. Во время сильных событий ОМД максимальная площадь вихря наблюдается на изобарической поверхности 20 гПа.

Анализ аномалий геопотенциальной высоты для верхней стратосферы (1 гПа) для 8 фаз ОМД показал, что во время сильных событий ОМД (примерно в 65 % случаев) колебание интенсивности полярного вихря совпадает со стадиями развития облачности, наблюдаемыми во время ОМД; к тому же центр полярного вихря смещается в восточном направлении. Можно предположить, что аномалии в полях метеорологических величин, связанные с ОМД во время 1–3-й фазы способствуют развитию сильного полярного вихря, а в период с 4-й по 8-ю фазу ведут к ослаблению и заполнению полярного вихря.

В результате исследования влияния ОМД на стратосферный полярный вихрь получено, что изменение циркуляции полярной стратосферы зависит от географического положения аномалий, связанных с ОМД. Аномалии метеорологических параметров, генерируемые ОМД, во время 1–3-й фазы способствуют развитию сильного полярного вихря, а с 4-й по 8-ю фазу ведут к ослаблению и заполнению полярного вихря. ОМД оказывает различное влияние на циркуляционные процессы верхней и нижней стратосферы. Возможно в нижней стратосфере аномалии, генерируемые ОМД, ослабляют средний зональный поток, а в верхней стратосфере способствуют его усилению.

Литература

1. Кандиева К.К., А.И. Погорельцев, О.Г. Анискина. Влияние осцилляции Маддена–Джулиана на интенсивность и структуру полярного вихря // Ученые записки РГГМУ. – 2018. – № 50. – С. 18–27.
2. Кандиева К.К., А.И. Погорельцев, О.Г. Анискина, О.С. Зоркальцева, В.И. Мордвинов. Влияние осцилляции Маддена–Джулиана и квазидвухлетнего колебания на динамику внетропической стратосферы // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2019. – том 59, № 1. – С. 114–124. DOI: 10.1134/S0016794018060068
3. Ракушина Е.В., Кандиева К.К., Анискина О.Г., Погорельцев А.И. Применение аппарата Естественных Ортогональных Функций для анализа крупномасштабных динамических процессов в средней атмосфере // Труды ГГО. – 2018. – № 591. – С. 105–123.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТЕОРИСКОВ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ

Ю.С. Афанасьева, Л.Ю.Белусова

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Россия

FORECASTING OF METEOROLOGICAL RISKS CONSIDERING WEATHER PHENOMENA DURATION

Y.S.Afanasieva, L.Y.Belousova

Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia

Рассматриваются вопросы учета метеорологических рисков для обеспечения безопасности выполнения полетов. Представлено программное решение для расчета метеорисков.

This article studies a challenge of meteorological risks consideration for providing flight safety. Software solution for calculating meteorological risks is presented.

Для России освоение и использование воздушного пространства является одной из главных задач ее развития. Это связано и с огромной территорией страны, и с большим количеством удаленных регионов со слаборазвитой транспортной инфраструктурой, с многообразием природных явлений и множеством погодных факторов, оказывающих влияние на людей и все отрасли их деятельности.

С каждым годом количество авиационных перевозок увеличивается, в том числе и в России. По данным Росавиации в 2018 году российскими авиакомпаниями было перевезено свыше 116 млн пассажиров (рост 10,6%), в том числе на международных линиях – более 47 млн (рост 11,5%), на внутренних – порядка 69 млн (рост 10%). [1] Пассажиропоток российских авиакомпаний на внутренних воздушных линиях за последние 20 лет нарастает практически ежегодно около 10%. (рис.1)

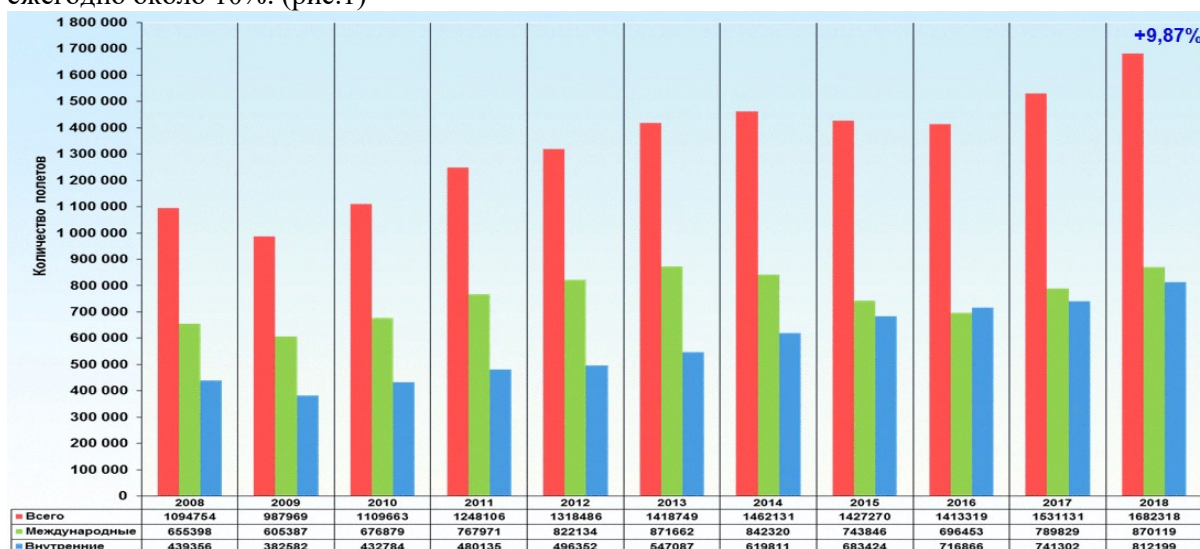


Рис. 1. Динамика интенсивности воздушного движения в воздушном пространстве Российской Федерации за 2008-2018гг.

Основным показателем эффективности работы Гражданской авиации является обеспечение безопасности полетов. Для ее решения необходимо еще при планировании рассмотреть и учесть всевозможные риски попадания воздушных судов (ВС) в неблагоприятные метеоусловия. И, как правило, метеоусловия являются форс-мажорными обстоятельствами, что значительно усложняет их учет.

Несмотря на совершенствование технического оснащения аэродромов, улучшение качества наземного обеспечения полетов и производство новых ВС, влияние метеорологических условий

на выполнение полетов усиливается, снижая уровень безопасности, регулярность, а в результате и экономическую эффективность гражданской авиации.

На состоявшемся еще в июле 2014 года специализированном совещании по метеорологии в ИКАО было признано, что в настоящее время информация об опасных явлениях погоды не обладает достаточной полнотой, а местами даже полностью отсутствует, что оказывает значительное негативное влияние на международную авионавигацию. В октябре 2018 года на 13 авионавигационной конференции в Монреале, посвященной безопасности полетов и совершенствованию глобальной авионавигационной системы, метеорологическая информация рассматривалась в качестве необходимого инструмента для модернизации авиационной системы, представленной в Глобальном авионавигационном плане ИКАО.

Многие метеорологические условия оказывают негативное влияние не столько на полет по маршруту, сколько на пропускную способность крупных узловых аэродромов, которая, из-за постоянно увеличивающегося объема движения, делает всю систему более чувствительной к нарушению регулярности, что в свою очередь приводит к росту экономического ущерба авиапредприятий. Поэтому необходимо, чтобы метеорологическая информация не просто учитывалась в процессе принятия решения, а была полномасштабно интегрирована с помощью автоматизированных средств, для возможности учета неблагоприятных воздействий погоды в различные временные интервалы, ограничивающих принятие решение и планирование полетов от нескольких минут до нескольких дней.

Из всего вышесказанного следует, что метеорологические риски следует оценивать при долгосрочном и оперативном планировании полетов, в процессе выполнения полета. При этом следует учитывать метеориски не только в районах аэродрома вылета и посадки, а также на запасных аэродромах и на эшелоне полета.

В 2017 г. в Давосе прошел Всемирный экономический форум (ВЭФ), посвященный глобальным рискам, с которыми сталкивается человечество. В его докладе была приведена эволюция рисков за последние 10 лет, где экстремальные явления погоды, начиная с 2014 года уже рассматривались в топ-5 глобальных рисков, ранжированных по вероятности, а в 2017 г даже заняли первую позицию. [2, 3]

Для эффективной оценки риска необходимо провести анализ частот возникновения того или иного явления. Использование соответствующих хронологических данных для идентификации события или ситуации, произошедших в прошлом и допускающих возможность экстраполяции вероятности их появления в будущем, является одним из методов анализа частот для оценки вероятности возникновения нежелательных событий в виде опасных погодных явлений. [4]

Информацию о повторяемости метеоявлений можно получить в результате статистической обработки регулярных и специальных наблюдений за фактической погодой в аэропортах. Для расчета вероятности попадания ВС в то или иное явление погоды, которое может возникнуть в районе выбранного аэропорта, сначала необходимо найти общие закономерности повторяемости на основе имеющихся данных.

К таким закономерностям можно отнести среднее количество проявлений различных погодных явлений. Однако данный показатель не позволяет оценить вероятность возникновения некоторого природного явления в более детализированном временном промежутке. Следовательно, отсутствует возможность предсказать проявление погодных особенностей в течение дня, что уменьшает точность оценки безопасности погодных условий для осуществления полета. Для этого автором была разработана методика и ее программное решение, которое позволяет рассчитывать повторяемость явлений погоды с учетом их продолжительности и оценивать метеорологические риски при возникновении опасных явлений или сложных условий погоды, вводя значения возможного ущерба от реализации негативных событий. [5]

В качестве исходных данных используются данные архива срочных наблюдений за явлениями погоды с указаниями сроков начала и окончания явления, полученные с сайта Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД). [6] Разбивка на периоды наблюдения в расчетах производится по месяцам (в годовом цикле) и по 30 минут (в суточном цикле). Таким образом, можно оценить вероятность возникновения погодного явления в различные временные интервалы в течение суток.

При сохранении значения величины ущерба 100, риск представляется в виде повторяемости в процентах. При необходимости туда можно ввести значение возможного ущерба (например, стоимости самолета или экономических потерь от нарушения регулярности полетов) в случае инцидента и получить значение риска в виде потерь. Таким же образом рассчитывается риск с учетом продолжительности явления по времени суток.

Месяц	Время ▲	Явление	Риски
01		аэродром частично покрыт туманом	3.23
01		дождь	12.9
01		дождь со снегом	9.68
01		дымка	29.03
01		ледяные иголки	6.45
01		ливневый снег	16.13
01		морось	3.23
01		переохлажденная морось	3.23
01		переохлажденный туман	6.45
01		снег	70.97
01		снег с дождем	3.23
01		снежная низовая метель	9.68
01		снежный позёмок	22.58
01	с 00:00 до 0:30	дождь	0.21
01	с 00:00 до 0:30	снег	1.82
01	с 00:00 до 0:30	снежная низовая метель	0.81
01	с 00:00 до 0:30	снежный позёмок	0.39
01	с 00:30 до 1:00	дождь	0.21
01	с 00:30 до 1:00	снег	1.61
01	с 00:30 до 1:00	снежный позёмок	0.78
01	с 01:00 до 1:30	дождь	0.42

Рис. 2. Пример расчетов повторяемости явлений погоды с учетом их продолжительности

Разработанное инструментальное программное средство дает возможность оценить повторяемость того или иного явления погоды в различное время года и суток и оценить метеориски в случае реализации негативного события, что позволяет учитывать метеорологические риски еще на этапах планирования полетов, а также использовать эту информацию в составлении прогнозов при метеорологическом обеспечении полетов для обеспечения безопасности и регулярности воздушного движения.

С помощью данной программы был произведен расчет средней повторяемости опасных явлений и сложных условий погоды с учетом их продолжительности для основных аэродромов Северо-западного федерального округа в период с 1977 по 2015гг для дальнейшей оценки метеорологических рисков, с учетом конкретных экономических потерь каждой авиакомпании. На основании полученных результатов, в табл. 1 отмечены возрастающие риски за выбранный период.

Таблица 1. Явления погоды, участвовавшие за период с 1977 по 2015гг

	Санкт-Петербург	Петрозаводск	Сыктывкар	Воркута	Архангельск	Нарьян-Мар	Вологда	Мурманск	Псков	Калининград
Град	*		*	*				*	*	
Гроза			*					*	*	
Дождь ливн.				*	*	*	*	*		
Дождь	*		*	*					*	
Мгла	*	*			*		*		*	
Туман										*
Снег ливн.					*	*				
Снег ливн. мокр.					*	*	*	*		
Снег мокр.	*		*	*			*		*	
Метель		*		*					*	
Изморозь							*			*

	Санкт-Петербург	Петрозаводск	Сыктывкар	Воркута	Архангельск	Нарьян-Мар	Вологда	Мурманск	Псков	Калининград
Иней							*	*		
Гололед		*		*		*	*	*		*
Лед. Дождь		*								*

Методика и программное решение для расчетов повторяемости явлений погоды с учетом их продолжительности и связанных с ними метеорисков, разработанные автором, могут быть использованы в качестве необходимого инструмента для модернизации авиационной системы, представленной в Глобальном аэронавигационном плане ИКАО. Данная методика является универсальной и позволяет рассчитать возможные экономические потери для метеорологических рисков на любом аэродроме для различных типов ВС и для всех опасных явлений погоды или сложных для производства полетов метеоусловий.

Таким образом можно сделать следующие выводы. Для решения научных и практических задач по метеорологическому обеспечению полетов наиболее целесообразно использовать годовое распределение повторяемости явлений погоды на каждом аэродроме отдельно, т.к. они абсолютно по-разному оказывают свое влияние на производство полетов и значение среднего ущерба от них будет сильно отличаться, а из-за огромного разнообразия климатических и географических особенностей расположения аэродромов значения экстремумов в годовом распределении метеоявлений наблюдаются в различные месяцы и даже сезоны года.

Используя статистический метод оценки риска, основанный на определении повторяемости по имеющимся многолетним архивным данным наблюдений за явлениями погоды, с помощью разработанной автором методики и программного решения можно рассчитать метеорологические риски от возникновения опасных явлений и сложных условий погоды с учетом их повторяемости и продолжительности, которые могут оказать негативное влияние на безопасность и регулярность полетов.

На каждом аэродроме в зависимости от интенсивности воздушного движения метеорологические риски от одного и того же опасного явления погоды будут разные. При постоянно увеличивающихся объемах воздушного движения из-за сбоев в регулярности полетов возрастает и чувствительность авиапредприятий к ним и их экономические ущербы.

Учёт влияния метеорологических рисков необходим при решении различных экономических задач авиапредприятия и задач по обеспечению регулярности, а главное безопасности полётов. Используя для этих целей методы статистического анализа, полученные результаты можно использовать для экстраполяции вероятности их появления в будущем.

Литература

1. Доклад «Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2018 году, основных задачах на 2019 год и среднесрочную перспективу». Электронный ресурс [Электронный ресурс] – URL: <https://www.favt.ru/o-rosaviacii-kollegija-materially/?id=5204>
2. Российское научное общество анализа риска. [Электронный ресурс] – URL: <http://sra-russia.ru>
3. World Economic Forum. The Global Risks Report 2017. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2017>
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. Введ. С 01.12.2011г. – Москва: Стандартинформ, 2012
5. Афанасьева Ю.С. Оценка метеорологических рисков для авиации с помощью программных средств/ Афанасьева Ю.С., Богаткин О.Г., Вискнин И.И.// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2017 - № 2(15). – с.37-44
6. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс] ВНИИГИ-МЦД // Доступ к данным – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных>

РАЗРАБОТКА КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРТОСТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИБРЕЖНО-МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Алаа Ахмад

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

DEVELOPMENT OF COMPENSATION MEASURES TO REDUCE THE IMPACT OF PORTS' CONSTRUCTION ON COASTAL MARINE ECOSYSTEMS

Alaa Ahmad

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Разработка и совершенствование компенсационных мероприятий, необходимых для восстановления экосистем, нарушенных в ходе строительства и эксплуатации морских портовых комплексов.

Development and improvement of compensatory measures necessary for the restoration of ecosystems disturbed during the construction and operation of seaport complexes.

Введение

Компенсационные мероприятия по восстановлению окружающей среды – это любые действия, предпринятые для компенсации временных потерь, связанных с ухудшением состояния окружающей среды, которое возникает с момента нанесения вреда и до достижения восстановления окружающей среды до ситуации ее устойчивого состояния.

К числу основных компенсационных мероприятий, предпринимаемых при строительстве и эксплуатации МПК «Морские Портовые Комплексы», относятся: зеленение береговой зоны – формирование прибрежных фитоценозов; организация питомников посадочного материала; организация рыбопитомников; выпуск в водную среду молоди рыб; рекультивация земель; очистка придонной зоны водоемов; формирование искусственных биотопов для привлечения рыб и водно-болотных птиц; организация в прибрежно-морской зоне особо охраняемых природных территорий (ООПТ).



Рис. 1 – Цикл улучшения мероприятий по компенсации ущерба

Объекты и методы

Цель работы заключается в анализе, типизации и оценке эффективности компенсационных мероприятий для снижения негативного воздействия на природную среду прибрежной морской зоны «ПМЗ» при строительстве и функционировании объектов портовой инфраструктуры.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

1. изучение факторов негативного (стрессового) воздействия портостроительства на природную среду ПМЗ в различных географических регионах (на примере Балтийского, Карского и Средиземного морей);

2. типизация существующих и разрабатываемых компенсационных мероприятий для минимизации негативных антропогенных воздействий от МПК на прибрежно-морские экосистемы;

3. анализ эффективности компенсационных мероприятий как способа повышения экологической безопасности ПТС «морской порт – прибрежная зона» в различных геоэкологических условиях.

Объектами исследования являются МПК Бронка (Российская Федерация; Балтийское море); МПК Сабетта (Российская Федерация; Карское море), порты Латакия и Тартус (Сирийская Арабская республика; Средиземное море), государственные природные заказники «Западный Котлин» и «Южное побережье Невской губы»; морские охраняемые природные территории «МОПТ» в Сирии: «Фанар ибн хани», «Ом аль тоюр» и «Рас эль-бассит».

В соответствии с действующей Методикой исчисления размера вреда водным биоресурсам (2011) расчет ущерба ихтиофауне от строительства подходного канала и углубления фарватера при формировании аванпорта Бронка сделан по категории – временный ущерб.

Определение потерь водных биоресурсов от снижения продуктивности зоопланктона произведено по формуле:

$$N = B \times (1 + P/B) \times W \times K_E \times (K_3/100) \times d \times 10^{-3} \quad (1)$$

где:

N – потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг или т;

B – средняя многолетняя для данного сезона (сезонов, года) величина общей биомассы кормовых планктонных организмов, г/м³;

P/B – коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов (продукционный коэффициент);

W – объем воды в зоне воздействия, в котором прогнозируется гибель кормовых планктонных организмов, м³;

K_E – коэффициент эффективности использования пищи на рост (доля потребленной пищи, используемая организмом на формирование массы своего тела);

K_E = 1/K₂ (K₂ – кормовой коэффициент);

K₃ – средний для данной экосистемы (района) и сезона года коэффициент (доля) использования кормовой базы, %;

D – степень воздействия, или доля количества гибнущих организмов от общего их количества, в данном случае – отношение величины теряемой биомассы к величине исходной биомассы, в долях единицы;

10⁻³ – показатель перевода граммов в килограммы или килограммы в тонны.

Определение потерь водных биоресурсов от гибели бентоса произведено по формуле:

$$N = B \times (1 + P/B) \times S \times K_E \times (K_3/100) \times d \times \Theta \times 10^{-3} \quad (2)$$

где:

S – площадь зоны воздействия, где прогнозируется гибель кормовых организмов бентоса, м²;

Θ – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия намечаемой деятельности и восстановления до исходного состояния водных биоресурсов (численность, биомасса):

$$\Theta = T + \sum K_{B(t=i)} \quad (3)$$

где:

Θ – величина повышающего коэффициента, в долях;

T – показатель длительности негативного воздействия, в течение которого невозможно или не происходит восстановление водных биоресурсов и их кормовой базы, в результате

разрушения условий обитания и воспроизводства водных биоресурсов (определяется в долях года, принятого за единицу, как отношение сут./365);

$\sum K_{B(t=i)}$ – коэффициент длительности восстановления теряемых водных биоресурсов, определяемых как $K_{t=i} = 0,5i$. При этом длительность восстановления (i лет) с момента прекращения негативного воздействия для планктонных кормовых организмов составляет 1 год, для бентосных кормовых организмов – 3 года.

Ориентировочная стоимость компенсационных затрат на искусственное воспроизводство предлагаемых видов была рассчитана по формуле:

$$(A \div B) \times 100\% \div C \quad (4)$$

где:

A – ущерб водным биоресурсам, в кг;

B – средняя масса производителей предлагаемого вида, в кг;

C – коэффициент промыслового возврата в % от сеголетки массой 0,5г;

Обсуждение результатов

На основе обобщения и анализа материалов и данных в районе «аванпорту Бронка», можно прийти к следующим выводам:

1. Временный ущерб ихтиофауне от дноуглубительных работ на фарватере определен в 7,476 т рыбы.

2. Для его компенсации необходим выпуск молоди палии в количестве 12 565 экз. сеголеток.

3. Предложенное компенсационное мероприятие направлено на компенсацию ущерба ихтиофауне и не может компенсировать негативные воздействия на другие компоненты прибрежно-морских биологических сообществ, например – на птиц.

На основе обобщения и анализа материалов и данных можно прийти к следующим выводам в отношении влияния мероприятий по строительству порта Сабетта на геоэкологическое состояние прибрежных морских вод:

1. Наиболее существенным экологическим последствием от выполнения ремонтных дноуглубительных работ в районе МПК Сабетта будет снижение количественных показателей кормового зообентоса, в результате чего ожидается снижение запасов рыб.

2. Ущерб биоресурсам будет носить временный характер.

3. Прогнозируемый размер ущерба, всего по зоопланктону и зообентосу, составит ориентировочно 176 т ежегодно.

4. Предположительный размер затрат на компенсационные мероприятия, по трем объектам воспроизводства годовиков за 1 год, составят: по пеляди – 64 822 тыс. руб., по осетру – 139 029 тыс. руб., по муксуну – 98 034 тыс. руб.

5. Для минимизации негативных экологических последствий от ремонтного дноуглубления могут быть предложены следующие природоохранные мероприятия:

– выполнение ремонтных дноуглубительных работ в строгом соответствии с проектными решениями;

– согласование сроков начала и производства работ с контролирующими инстанциями;

– осуществление постоянного экологического контроля и мониторинга водных биоресурсов;

– выполнение компенсационных мероприятий по возмещению вреда в соответствии с порядком, определенным действующим законодательством;

– в качестве восстановительного мероприятия для компенсации ущерба водным биоресурсам – искусственное воспроизводство молоди определенных видов рыб, с последующим выпуском в водные объекты.

На основании тематического исследования упомянутых ООПТ можно прийти к следующим выводам:

1. ООПТ «Западный Котлин» и «Южное побережье Невской губы» играют важную роль в поддержании стабильной экологической ситуации в районе аванпорта Бронка.

2. В ходе выполнения 1-го и начала 2-го этапа реализации проекта строительства и эксплуатации аванпорта Бронка необратимого воздействия на орнитофауну – наиболее уязвимый компонент местных биологических сообществ – не произошло.

3. Важнейшей задачей деятельности рассматриваемых ООПТ является сохранение зарослей высшей водной растительности, являющихся полифункциональным биотопом для водоплавающих и околоводных птиц.

4. В качестве компенсационного мероприятия по минимизации антропогенного воздействия на береговую зону Сирии предлагается формирование в ближайшей перспективе сети дополнительных МОПТ.

5. При определении границ и режима перечисленных территорий в Сирии следует руководствоваться принципами пространственного планирования.

6. Создаваемые МОПТ должны образовать в береговой зоне Сирии единую сеть с уже существующими.

Заключение

В целом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Негативное воздействие на водные биологические ресурсы выполненных гидротехнических работ имеет временный характер.

2. В качестве восстановительного мероприятия для компенсации ущерба водным биоресурсам предложено искусственное воспроизводство молоди экономически ценных видов рыб, с последующим выпуском в водные объекты.

3. Предложенные компенсационные мероприятия направлены на компенсацию ущерба ихтиофауне и не могут компенсировать негативные воздействия на другие компоненты прибрежно-морских биологических сообществ, например – на птиц.

4. Комплексный компенсационный эффект дает только организация ООПТ.

5. При реализации компенсационных мероприятий необходимо использовать подходы КУПЗ, подразумевающие уравнивание развития инфраструктуры береговой зоны и природоохранных консервационных мероприятий.

6. Целесообразно разработать рекомендации по внедрению опыта наилучшей практики компенсационных мероприятий в Сирийской Арабской республике.

Следует отметить, что данная работа была выполнена в рамках кандидатской диссертации автора.

Литература

1. М.Б. Шилин, О.В. Хаймина «Прикладная морская экология», учебное пособие. - СПб., изд. РГГМУ, 2014.- 88 с.;
2. М.Б. Шилин и другие. Уязвимость экосистем береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу. [Текст], Ученые записки РГГМУ №25, стр. 107-121;
3. Приоритетные вопросы защиты и сохранения окружающей среды при проектировании и строительстве ММПК "Бронка [Электронный ресурс]. Официальный сайт порта Бронка компании Феникс – URL: <https://www.port-bronka.ru/descr/ohrana-cin-6/> (дата обращения 07.02.2019) ;
4. Жигульский В.А., Шилин М.Б., Царькова Н.С., Коузов С.А. Состояние гидробиологических сообществ района аванпорта Бронка после окончания дреджинговых работ. Ученые Записки РГГМУ, 2016, № 43: с.2018 – 222;
5. Товары и услуги [Электронный ресурс]. Официальный сайт «ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод»» – URL: <http://fsgzr.ru/tovary-i-uslugi> (дата обращения 03.02.2019).
6. Бибби К., Джонс М., Марсден С. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц. Пер. с англ. - М.: Союз охраны птиц России, 2000: 186 с.
7. Коузов С.А., Шилин М.Б. Основные тенденции многолетней динамики сообществ гидрофильных птиц островной зоны восточной части Финского залива // 14 международ. орнитол. Конф. Сев. Евразии / Алматы, 2015: с. 266 – 267.
8. Шилин М.Б., Чусов А.Н., Жигульский В.А., Коузов С.А. Водно-Болотные птицы в заказнике «Южное побережье Невской губы»: не на птичьих правах! // Окружающая среда Санкт-Петербурга, 2017, № 1: с. 40 – 47.

МОДЕЛЬ ПЕРЕДНЕАЗИАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ НА УРОВНЕ 925 ГПА

В.С. Балакин, Ю.В. Шипко, А.Н. Маслобойщиков

Центральный научно-исследовательский институт ВВС (Минобороны России)

THE PRE-ASIAN DEPRESSION MODEL AT 925 HPA LEVEL

V.S. Balakin, Yu.V. Shipko, A.N. Maslobovshikov

Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense)

Рассматривается построение программно-реализованной модели переднеазиатской депрессии – преобладающего типа атмосферной циркуляции нижней тропосферы в летний период над территорией Ближнего и Среднего Востока.

The construction of the program-implemented pre-Asian depression model – the predominant type of atmospheric circulation of the lower troposphere during summer over the territory of the Middle East is considered.

Введение. В основе метеорологического обеспечения различных потребителей лежит знание закономерностей процессов атмосферной циркуляции, обуславливающих характер погоды и ее изменений. При этом большое значение в исследовании глобальной циркуляции имеют климатологические (сезонные, годовые) центры действия атмосферы (ЦДА). Одним из таких ЦДА является переднеазиатская депрессия (ПАД) – основной тип барического образования над территорией Ближнего и Среднего Востока в теплый периода года (апрель–октябрь) [1].

ПАД представляет собой обширную и глубокую область низкого давления с центром над южными районами Афганистана и северо-западными Пакистана. Депрессия имеет сезонный характер, начинает формироваться в апреле и достигает максимального развития в июле, августе, когда значительно возрастает солнечная радиация, что приводит к сильному нагреванию подстилающей поверхности. Для ПАД характерна большая устойчивость (94–96 %), она прослеживается в среднем до высоты 3–4 км и не исчезает даже в периоды холодных вторжений.

С образованием ПАД связано возникновение этезий – преобладающих северных ветров в восточной части Средиземного моря, дующих с большим постоянством с апреля по октябрь. Кроме того, термические вихри летнего сезона создают большую запыленность воздуха, снижающую видимость, временами до 100 м и менее. После пыльной бури продолжительное время наблюдается сухая мгла, которая нередко распространяется до высоты 6–10 км.

Отмеченные метеорологические условия ограничивают или исключают применение авиации, поэтому актуальность разработки модели ПАД (с выявлением особенностей атмосферной циркуляции нижней тропосферы) – для оценки ее влияния на авиационные погодноклиматические характеристики и совершенствования прогностических схем, не вызывает сомнений.

Информационный ресурс исследования. Исходной информацией служил архивный материал резервного объективного анализа (реанализа) параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II [2] за летние месяцы (июнь, июль, август) 30-летнего периода 1988–2017 гг. Использовалась программа автоматизированной обработки файлов реанализа [3]. На базе данных срочных (00,

06, 12, 18 ч Всемирного скоординированного времени) значений геопотенциальной высоты на изобарическом уровне 925 гПа проведен расчет среднесуточных значений в узлах регулярной сетки с шагом $2,5^\circ$ по широте и долготе.

Программно-реализованная модель ПАД. Рассматривается ограниченная поверхность геопотенциальной высоты H_{925} ($\varphi = 10\text{--}40^\circ$ северной широты, $\lambda = 30\text{--}80^\circ$ восточной долготы), представленная значениями H_{ij} в узлах сетки.

Использован подход [4, 5], определяющий циклонический объект как объем «чаши» (с жидкостью), образованной топографией изобарической поверхности с некоторой краевой изогипсой H_0 и горизонтальной плоскостью, проходящей через эту изогипсу. Рассматривается проекция изобарической поверхности на плоскость экватора в системе координат XOY , центр которой совмещен с центром Земли, ось X проходит через нулевой меридиан, ось Y направлена на восток. Полагается аналогия между проекцией поверхности геопотенциальной высоты (заданного изобарического уровня) на плоскость XOY и двумерным распределением на этой плоскости величин X, Y с условной массой p_{ij} в точке (x_i, y_j) [5]:

$$p_{ij} = \frac{(H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}, \quad (1)$$

где учитываются только точки (узлы сетки), для которых выполняется условие $H_{ij} < H_0$.

Для циклонического объекта ПАД алгоритм построения модели включает следующие последовательные процедуры.

1) Определение минимального значения геопотенциальной высоты H_{\min} в рассматриваемой области, которое принимается за центр циркуляции; расчет координат $(\varphi_{\min}, \lambda_{\min})$ центра.

2) За краевую изогипсу условно принимается значение $H_0 = H_{\min} + 4$ (учитывается, что изогипсы принято проводить через 4 дам). Плоскость, проходящая через краевую изогипсу геопотенциальной поверхности, отсекает локальные минимумы и ложбины различной конфигурации и ориентации. Чтобы формализовать структурные особенности полученной «чаши» неправильной формы, вводятся характеристики циркуляционных объектов ПАД.

3) Принимается во внимание, что центром циркуляции можно считать и центр масс системы точек с весами (1) [4, 5], поэтому дополнительно рассчитываются координаты x_c, y_c такого центра масс в системе XOY по формулам механики [5]:

$$x_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos^2 \varphi_i \cos \lambda_j}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}, \quad y_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos^2 \varphi_i \sin \lambda_j}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}, \quad (2)$$

где r – радиус Земли.

Координаты (2) связаны с географическими координатами посредством известных формул: $x_c = r \cos \varphi_c \cos \lambda_c, y_c = r \cos \varphi_c \sin \lambda_c$. Условные центры циркуляции $(\varphi_{\min}, \lambda_{\min})$ и (φ_c, λ_c) отличаются, поскольку в их приведенных понятиях заложен разный физический смысл.

4) Определяются площадь S , ограниченная краевой изогипсой H_0 , условная «масса» M рассматриваемого объема «чаши» и их отношение $z = M/S$ (условная плотность циклонического образования) следующим образом [4, 5]:

$$S = r^2 \Delta\varphi \Delta\lambda \sum_i \sum_j \cos \varphi_i, \quad M = r^2 \Delta\varphi \Delta\lambda \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i, \quad (3)$$

где $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ – шаги по меридиану и параллели, выделяющие элементарную площадку (в данном случае $2,5^\circ$ по широте и долготе).

5) Рассчитываются ρ, σ_x, σ_y – коэффициент корреляции и средние квадратические отклонения величин X, Y двумерного распределения около центра масс (эллипса рассеяния). От величин σ_x, σ_y можно перейти к параметрам σ_u, σ_v – полуосям или главным средним квадратическим отклонениям эквивалентного единичного эллипса рассеяния [5]:

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{2} \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\rho^2 \sigma_x^2 \sigma_y^2} \right], \quad \sigma_v^2 = \frac{1}{2} \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\rho^2 \sigma_x^2 \sigma_y^2} \right]. \quad (4)$$

6) Определяется характеристика формы двумерного распределения – коэффициент сжатия эллипса рассеяния: $k = \sigma_v / \sigma_u$.

7) Рассчитывается угол положения оси ложбины β циклонического образования ПАД [6].

Статистические оценки характеристик модели. Разработанная программно-реализованная модель ПАД позволила провести вычислительный эксперимент, в результате которого получена выборка (объема $n = 2760$) описанных выше параметров модели. Результаты статистической обработки многомерной выборки представлены в таблице 1.

На рисунке 1 отображено распределение центров циркуляции (φ_c, λ_c) объектов ПАД.

Как следует из рисунка 1, местоположение тепловой депрессии в летний период (в связи с активностью) имеет значительную устойчивость, в особенности по широте, что соответствует понятию стационарного (в смысле локализации) барического образования.

Таблица 1. Статистические оценки параметров модели ПАД уровня 925 гПа (июнь–август, 1988–2017 гг.)

Параметр модели	Средняя	Медиана	Максимум	Минимум	Среднеквад. отклонение
H_{\min} , дам	66,59	66,53	72,93	60,00	2,22
$S \cdot 10^{-6}$, км ²	3,8630	3,5300	12,9911	0,54499	2,0480
$M \cdot 10^{-6}$, км ² дам	5,5588	4,7371	25,0693	0,0110	3,3698
Z , дам	1,42	1,42	2,38	0,70	0,24
σ_u , км	779,7	778,5	1611,3	135,8	256,2
σ_v , км	156,3	144,8	453,2	61,2	62,2
k	0,21	0,19	0,90	0,07	0,07
λ_c , град. в. д.	64,07	64,34	79,07	41,86	5,45
φ_c , град. с. ш.	28,62	28,69	34,87	7,19	1,53
β , град.	132,21	132,83	146,97	84,81	6,17

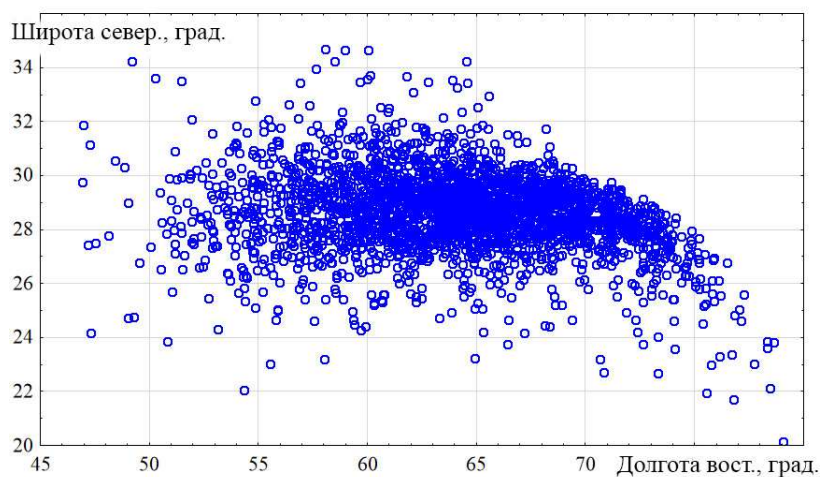
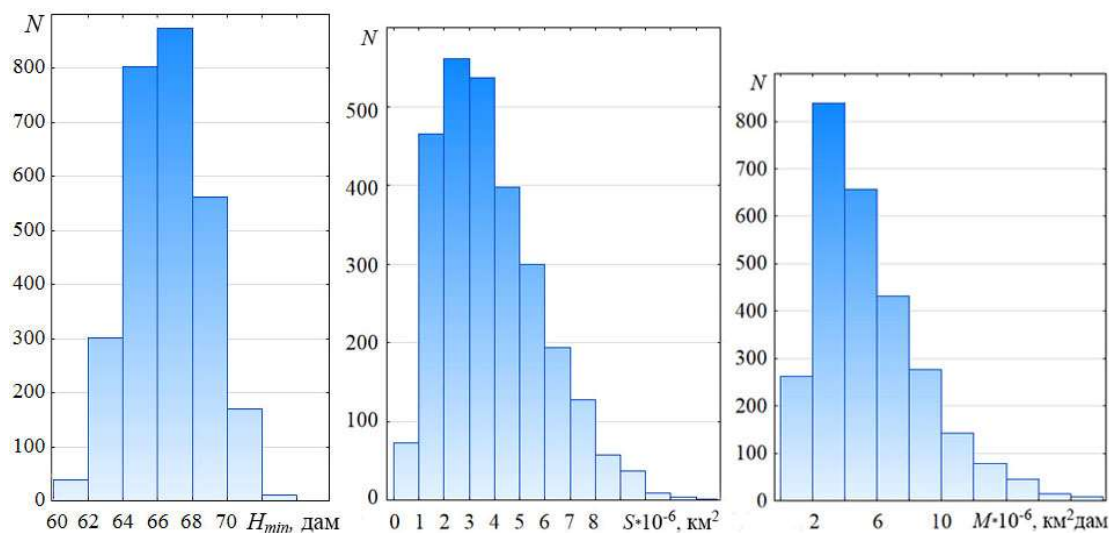


Рис. 1. Распределение центров циркуляции ПАД (925 гПа, июнь–август, 1988–2017 гг.)
 На рисунке 2 даны гистограммы распределения параметров объектов ПАД летнего сезона.



а) H_{\min} объектов ПАД б) площадь S объектов ПАД в) масса M объектов ПАД

Рис. 2. Гистограммы распределения параметров ПАД (925 гПа, июнь–август, 1988–2017 гг.)

Заключение. В данном исследовании предлагается новая модель ПАД летнего периода, разработанная на основе сеточных данных геопотенциальной поверхности изобарического уровня 925 гПа. Положение центра циркуляции и другие представленные параметры модели ПАД являются одними из основных характеристик общей циркуляции атмосферы в районах Ближнего и Среднего Востока, которые могут служить индикатором развития синоптических процессов в нижней тропосфере в рамках прогнозирования метеорологических условий на различные сроки.

Определенную роль в моделировании процессов циркуляции атмосферы может играть выбор краевой изогипсы циркуляционного образования. Вопрос о выборе краевой изогипсы остается

открытым, а в зависимости от выбранного подхода меняются и расчетные параметры объекта циркуляции.

В статье представлен первичный статистический анализ результатов вычислительного эксперимента, дальнейшее исследование, в частности, проведение разведочного статистического многомерного анализа данных с целью выявления их вероятностной и геометрической природы, позволит сформировать адекватные отображения реальных атмосферных процессов.

Построенная модель позволит дать оценку связей (синхронных/асинхронных) между параметрами ПАД и характеристиками погодных условий. Разработанная программная реализация и использование комплекса характеристик модели в качестве предикторов позволят более полно и оперативно отражать особенности атмосферной циркуляции над макрорегионом Ближнего и Среднего Востока в схемах метеорологических прогнозов, моделях климатической системы, моделировать параметры атмосферы в задачах принятия метеозависимых решений.

Литература

1. Апасова Е.Г. О характеристиках местоположения центров действия атмосферы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1979. Вып. 58. С. 89–97.
2. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html](http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html) (дата обращения: 22.05.2018).
3. Автоматизированная обработка файлов реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018618252 от 10.07.2018 / Шипко Ю.В., Кукарских Л.А.; заявка № 2018615521.
4. Багров Н.А., Орлова И.И. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы // Труды ГМЦ. 1978. Вып. 211. С. 3–14.
5. Глызь Г.А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1979. Вып. 58. С. 98–104.
6. Шипко Ю.В., Шувакин Е.В. Шуваев М.А. Модель циркумполярного вихря северного полушария в терминах механики // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XVII Междунар. научно-метод. конф. (Воронеж, 9–10 февраля 2017 г.). Воронеж: «Научно-исследовательские публикации», 2017. Т. 4. С. 91–96.

ЗАЖОРЫ ЛЬДА НА РЕКЕ НЕВА

Банщикова Л.С.^{1,2}, Сумачев А.Э.¹

1 – Государственный Гидрологический институт, Россия, Санкт-Петербург,

2 - НПО «Гидротехпроект», Россия, Валдай

HANGING ICE DAMS ON NEVA RIVER

Banshchikova L.S.^{1,2}, Sumachev A.E.¹

1- State Hydrological Institute, Russia, Saint-Petersburg,

2- SPO "Gidrotehproekt" Russia, Valdai

В работе изложены особенности процесса образования зажоров на реке Нева, дана типизация этих явлений. Оценена повторяемость зажоров за многолетний период, их изменчивость по длине реки и во времени. Приводятся результаты расчетов уровенных характеристик параметров зажоров, а также оценка влияния применяемых мер по борьбе с зажорами льда на реке. Нева.

The paper presents the features and typification of hanging ice dams on the Neva river. The repeatability and temporal variability of this phenomena along the length of the river is estimated. The calculations of the level characteristics are presented. The impact of the applied actions to prevent hanging ice dams on the Neva river was assessed.

Особенностью осенне-зимнего периода ледовых явлений на реке Нева является интенсивное шугообразование, которое в большинстве случаев приводит к формированию зажоров льда.

Первые упоминания о зажорах льда на р. Нева, которые являлись причиной серьезных наводнений приведены в [1]: «Еще в 1888 году, когда образовавшийся около деревни Ключки 28-го октября зажор вызвал столь значительный подъем воды, что были затоплены некоторые мастерские Обуховского завода, Директором Департамента Водяных и Шоссейных Сообщений Андреевским была вытребована гальваническая рота для принятия мер по уничтожению зажора».

Ежегодно проводимые так называемые «Зажорные партии на р. Нева» еще в начале прошлого века позволили выявить механизм образования зажоров льда.

В дальнейшем в работах Нежиховского Р.А., Донченко Р.В., Бузина В.А., Карановича В.Н., К. Е. Иванова, Н. А. Колокольцева, В. В. Лебедевой и Н. С. Медреса, Р. А. Нежиховского и Н. К. Ухабовой, Ж. Н. Суриковой и других ученых, работавших как в ГГИ, так и в ЛГМИ (РГГМУ), в составе партий Северо-Западного УГМС [2-6], были получены надежные методы оценки развития процессов зажорообразования и максимальных уровней воды., которые способствовали предотвращению негативных последствий.

Несмотря на то, что (зажоры на реке Нева являются достаточно изученными, в условиях антропогенной нагрузки на русло реки и в условиях изменяющегося климата дополнительные исследования по изучению зажоров на р. Нева являются актуальными и востребованными.

Известно, что главные условия формирования зажоров льда— это высокая осенняя водность реки, значительное количества льда и относительно высокая температура воздуха.

Кроме указанных выше факторов, свойственным всем зажорным рекам, на р. Нева можно выделить ряд условий и отличительных особенностей.

Образование зажоров происходит в период осеннего ледохода, который на реке Нева наблюдается на всем ее течении. Очаг образования зажора возникает там, где наблюдается более медленное продвижение кромки ледостава и более интенсивное торошение или скопление шуговых полей [3]. Таким образом, практически на любом участке р. Нева может сформироваться зажор льда.

Места образования зажоров, повторяемость на этих участках и протяженность зажорных скоплений по длине реки за многолетний период были определены по методике, основанной на решении системы уравнений Сен-Венана [7].

В качестве примера приведён график хода уровня воды по длине р. Нева за декабрь 2009 — январь 2010 года (рис. 1) [8]. Очевидно, что зажор льда сформировался не только вблизи постов, но и практически по всей длине реки, причем по ходу изолиний можно сказать, что под кромку

установившегося сплошного ледостава вовлекается и переносится значительное количество шуги, поступающей с верхнего течения р. Нева.

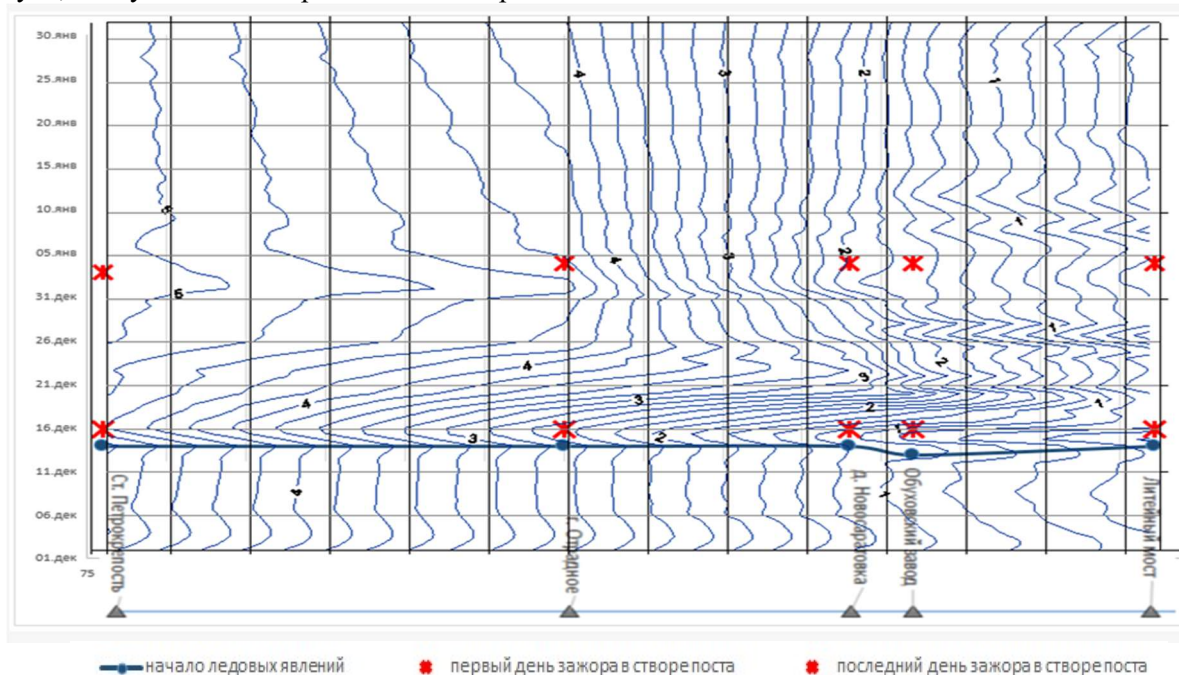


Рис. 1. График хода уровня воды по длине реки Нева, 01.12.2009-31.01.2010г.

Отличительной особенностью р. Нева является возможность формирования зажоров двух типов. Первый тип характеризуется наличием в теле зажора преимущественно ладожского льда, в то время как шуга и внутриводный лед р. Нева наблюдается в небольшом количестве. Зажоры данного типа формируются при температуре воздуха от -4 до -6 °С. Второй тип характеризуется преобладанием в теле зажора шуговых полей и внутриводного льда р. Невы. Зажоры второго типа формируются при более низких температурах от -7 до -10 [3].

В течение периода осенне-зимних ледовых явлений по длине реки может образовываться несколько зажоров, имеющих распространение как по длине реке, так и во времени. Этому способствует недружное замерзание р. Невы, при этом чем больше продолжительность периода от шугохода до образования ледостава, тем больше вероятность возникновения мощных зажоров.

В качестве примера приведен график изменения продолжительности зажоров на р. Нева – г. Отрадное, который отображает общую тенденцию временного характера этих явлений по длине реки за многолетний период (рис. 2).

Анализ исходных данных показал, что с начала 2000-х годов продолжительность зажоров составляет в среднем 30 дней, при этом сроки появления смещаются на конец первой декады декабря.

Характер движения и отложения шуговых образований под ледяным покровом обусловлен гидравлическими характеристиками зазорного участка, размерами, формой и физическими свойствами шуги. Головная часть зажора формируется непосредственно у кромки ледяного покрова.

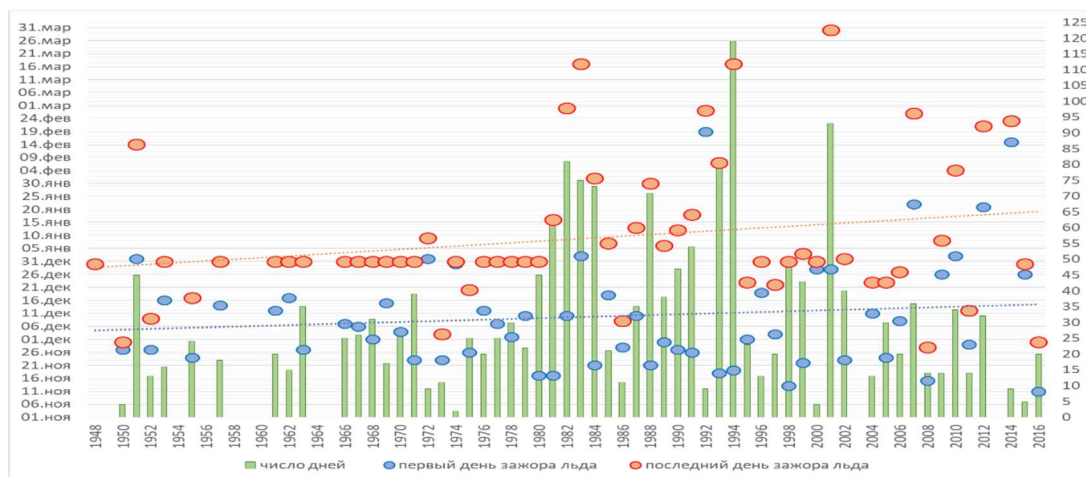


Рис. 2. Продолжительность зажоров льда, р. Нева - г. Отрадное.

Закономерность перемещения кромки ледяного покрова в значительной мере определяется характером изменения общего уклона реки, а также местными уклонами на отдельных участках.

В последние годы наблюдается увеличение зимних температур, что сказывается на ледовом режиме р. Нева. Так, в течение зимы наблюдаются подвижки льда, а большое количество полыней способствует увеличению мощности и уплотнению зажорного скопления на р. Нева.

Уровни воды, при которых происходит формирование зажоров льда, равно как и максимальный зажорный уровень, являются основной характеристикой при выборе мер по борьбе с негативными последствиями.

В годы повышенной водности зажоры льда формируются по первому типу. Чаще всего отмечаются на участке от Большеохтинского моста до г. Отрадное, протяженностью 32 км, что и наблюдается в последние годы.

В качестве примера приведен график изменения максимальных зажорных уровней воды на р. Нева – г. Отрадное, который отображает общую тенденцию к увеличению зажорных уровней воды (рис. 3).

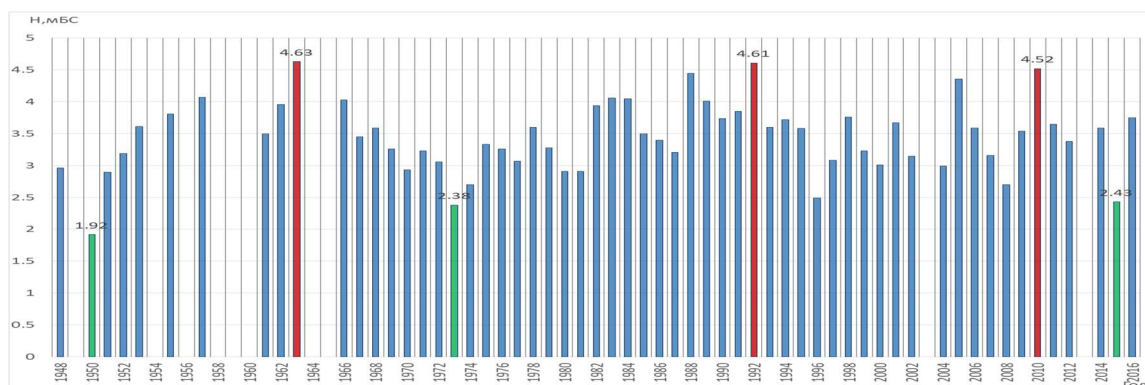


Рис. 3. Максимальные зажорные уровни за многолетний период р. Нева – г. Отрадное.

Значительные подъёмы уровней воды, вызванные зажорами льда на р. Нева, приводят к зимним наводнениям и подтоплениям прибрежных территорий. Это вызывает нарушения в работе предприятий, коммунальных служб. Большое количество шуги нарушает нормальную работу водозаборов.

Однако применяемые меры по борьбе с зажорами, (взрывные, ледокольные работы) малоэффективны и при определённых условиях могут вызвать обратный эффект. Зажоры льда, формирующиеся на р. Нева, являются частью годового цикла ледовых явлений. Зажоры льда при сочетании определённых условий в период вскрытия реки могут привести к формированию заторов льда.

Поэтому мониторинг ледовых явлений по всей длине реки, в совокупности с надёжными методами оценки развития процессов зажорообразования и максимальных уровней воды, способствуют предотвращению или снижению отрицательных последствий от этих явлений.

Литература

1. Тарашкевич А.И. О зажорах на р. Неве и способах борьбы с ними (отдельный оттиск из Ежегодника СПб Округа путей сообщения за 1911 г.), СПб, 1912.
2. Бузин В.А. Условия и прогноз подвижек льда при замерзании реки Нева. – Метеорология и гидрология, 1997, №8, с.87-94.
3. Донченко Р.В., Щеголева Е.В. Методика прогноза максимальных зажорных уровней воды реки Невы. – Труды ГГИ, 1989, вып. 345, с.74-81.
4. Карнович В.Н., Сурикова Ж. Н. Прогноз максимальных зажорных уровней на Неве.— Метеорология и гидрология, 1984, № 12, с. 111—113.
5. Нежиховский Р.А. Вопросы гидрологии Невы и Невской губы. – Л., Гидрометеиздат, 1988, 224 с.
6. Лебедева В.В. , Медерес П.Л. Зажоры на р. Неве. Сборник работы ЛГМО СЗУГМС, вып. 3, 1966
7. Банщикова Л.С. Мониторинг процесса заторообразования на реках по пространственно – временным графикам уровня воды. /Метеорология и гидрология, 2008, № 9, М, изд. «Планета», с.87 – 93.
8. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1935-2016 гг. Том 1, вып.5, ч. 1. Бассейн рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

С.П. Баринов, А.Е. Жестерев
АО «РИРВ», Санкт-Петербург, Россия

SOME ASPECTS OF SATELLITE TECHNOLOGIES APPLICATION IN HYDROMETEOROLOGY

S.P. Barinov, A.E. Zhesterev
JSC "RIRT", Saint-Petersburg, Russia

В докладе отражены проблемные вопросы гидрометеорологических наблюдений и предложены пути их решения с использованием спутниковых технологий.

This report represents some problematic issues of hydrometeorological observations and offers corresponding ways of solution with satellite technologies application.

Опыт использования в нашей стране космических систем в интересах гидрометеорологии, океанографии и мониторинга окружающей среды имеет более чем полувековую историю. Данные, получаемые с отечественных и зарубежных спутников, способствуют улучшению гидрометобеспечения народно-хозяйственных задач, повышению достоверности прогнозов, эффективному использованию водных ресурсов страны и снижению рисков чрезвычайных ситуаций.

Вместе с тем, большой объем наземных наблюдений выполняется подразделениями Росгидромета с использованием традиционных технологий. К числу таких работ можно отнести наблюдения за высотой уровня воды, изменением её расхода, за толщиной льда, шуги, а также измерения высоты снежного покрова и плотности снега. Производство этих работ связано, как правило, с их большой трудоемкостью, а в отдельных случаях - с рисками для здоровья и жизни сотрудников. Приборный парк, используемый при этих исследованиях, в большинстве своем морально и физически устарел. Поэтому актуальными задачами являются создание и совершенствование средств и методов, обеспечивающих автоматизацию наблюдений, проведение дистанционных измерений без потерь в точности и достоверности получаемой информации.

Создание и развитие отечественной глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС способствовало разработке и совершенствованию ряда технологий, которые уже применяются или могли бы быть успешно использованы в смежных отраслях экономики, науки и техники. В частности, необходимость уточнения модели геоида Земли при эфемеридно-временном обеспечении ГНСС дало толчок в развитии технологии спутниковой альтиметрии. Эта технология, в свою очередь открывает новые возможности по дистанционному определению ряда гидрометеорологических факторов, в том числе, параметров волнения водной поверхности. В России данная технология реализуется в проекте ГЕО-ИК-2.

Диверсификация спутниковых технологий может идти по пути расширения функциональных возможностей бортового оборудования космических аппаратов (КА). Интегрирование спутниковых высокоточных радиовысотометров и антенных систем с синтезированной апертурой способствует получению качественно нового эффекта - объемной съемки местности. Спектральный анализ отраженных от поверхности зондирующих сигналов позволяет определить не только тип отражающей поверхности, но и толщину её слоя, что очень важно для выявления толщины льда, высоты снежного покрова и плотности снега.

Перспективным направлением использования спутниковых технологий является разработка и размещение аппаратуры мониторинга атмосферы Земли на малых КА для наблюдения навигационных сигналов ГНСС радиозатменным методом. Известно, что запаздывание радиосигнала в тропосфере относительно времени его распространения в вакууме имеет строгую математическую зависимость от физических параметров атмосферы

$$\delta t_{\text{тр}} = \frac{1}{c} \int_l \frac{3.725 \cdot p}{T} dl \cdot 10^{-6} + \frac{1}{c} \int_l \frac{3.725 \cdot 10^3 \cdot e}{T^2} dl \cdot 10^{-6}$$

где T – абсолютная температура, °K; p – давление сухого воздуха, Па; e – давление водяного пара, Па; l – толщина слоя тропосферы; c – скорость распространения радиоволны.

Радиозатменный метод предполагает приём сигналов ГНСС в нижней полусфере относительно местного горизонта на просвет через ионосферу и тропосферу.

Данный метод планируется реализовать в КА «Метеор-М» №3 с размещением на нем аппаратуры радиопросвечивания атмосферы. Данная аппаратура будет иметь до 24 измерительных каналов в диапазоне частот 1160 – 1600 МГц, обеспечивать вертикальное разрешение 150 м и горизонтальное разрешение 300 км.

Следует отметить, что новые возможности в проведении локальных гидрометеорологических наблюдений открываются в связи с успехами в микроминиатюризации специализированных датчиков и измерителей, создаваемых, в том числе, на основе ГНСС-технологий и развитием беспилотной авиации. Использование беспилотных летательных аппаратов в ряде случаев может стать серьезной альтернативой спутниковым платформам.

Спутниковая геодезия уже сейчас позволяет существенно сократить трудоемкость работ по определению нормальных высот с точностью нивелирования IV класса для обеспечения гидрологических постов. Однако в данной технологии заложен более высокий потенциал для автоматизации всего процесса мониторинга уровня воды. Примером может служить разработка ученых из Шведского технологического университета Чалмерса, создавших оригинальное устройство по определению высоты уровня воды на прибрежных акваториях.

Для контроля уровня рек, особенно с нестабильным руслом, целесообразно применять другой метод, основанный на совместной обработке в интегрированном измерительном устройстве сигналов ГНСС и зондирующих водную поверхность импульсов (рис. 1). Реализующее данный метод измерительное устройство закрепляется на тросе, протянутом поперек русла реки. Непрерывно излучая зондирующие импульсы и фиксируя их отражения от воды и от дна, указанный измеритель с высокой точностью способен определять расстояние над водой. Высотное положение самого измерителя непрерывно и с требуемой точностью будет определяться методами спутниковой геодезии (RTK-измерения) или с использованием PPP-технологии. Результаты измерений, передаваемые по выделенным каналам связи в центр мониторинга, наряду с данными других гидрологических постов позволят в реальном масштабе времени осуществлять контроль текущего состояния водного объекта. Изложенный метод предлагается положить в основу создания автоматизированной мониторинговой системы.

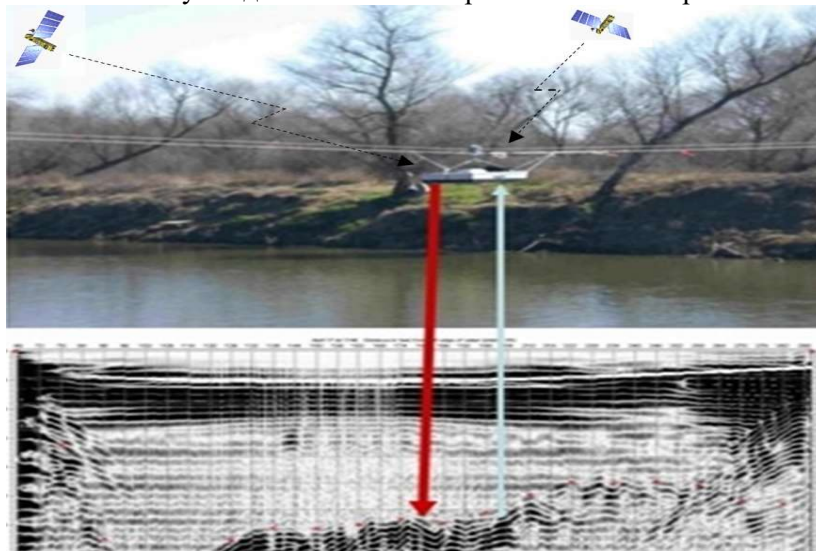


Рис. 1. Метод определения уровня воды за счет совместной обработки сигналов ГНСС и зондирующих импульсов радара или его акустического/оптического аналога.

В настоящее время при координирующей роли Роскосмоса формируется новая федеральная целевая программа по совершенствованию системы ГЛОНАСС. В число программных мероприятий данной ФЦП включена ОКР «Создание государственной системы определения уровня моря и внутреннего бассейна рек», шифр «ГСУ», государственный заказчик – Росреестр, сроки выполнения 2021 – 2030 г.г. Полагаем, что сегмент такой системы в части внутреннего бассейна рек должен быть реализован в виде территориально распределенной трехуровневой автоматизированной мониторинговой системы (АМС). Первый, нижний уровень АМС составит измерительно-связное оборудование системы, размещаемое на уровнемерных постах государственной гидрологической наблюдательной сети, второй уровень – аппаратно-программные средства (АПС), размещаемые в региональных центрах по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, третий уровень – АПС, размещаемые в территориальных управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Необходимость создания АМС определения уровня воды рек, озер, водохранилищ и каналов на основе ГНСС-технологий обусловлена следующими обстоятельствами:

- вся сеть инженерных сооружений обширной территории Российской Федерации на реках, озерах, водохранилищах и каналах (далее водных объектах) спроектирована и функционирует с учетом характеристик уровней воды водных объектов, число которых превышает 3 млн.;

- гидрологическая сеть наблюдений (постов и станций) Российской Федерации является одной из старейших и хорошо развитых в мире, однако она насчитывает всего лишь порядка 3 000 гидрологических постов, что явно недостаточно, чтобы обеспечить экономику страны достаточно надежной гидрологической информацией; обширные территории страны являются слабо изученными в гидрологическом отношении;

- в условиях глобального изменения характеристик климата гидрометеорологический режим стал нестационарным, гидрологическая обстановка существенно усложнилась, изменились гидрометеорологические условия формирования катастрофически высоких и катастрофически низких уровней воды;

- систематически в различных районах Российской Федерации выпадают «сверхнормативные атмосферные осадки», сумма которых за сутки двое или трое составляет месячную, двухмесячную или трехмесячную норму;

- наводнения наносят ощутимый ущерб экономике страны, снижают безопасность населения городов и поселений, расположенных по берегам водных объектов;

- в то же время водные пути в ряде регионов находятся в условиях с пониженным уровнем воды, что ведет к снижению эффективности водного транспорта;

- своевременное принятие мер по ликвидации угрозы высоких паводков и наводнений требует масштабного мониторинга уровня воды в водных объектах, охватывая, например, реки от истока до устья, т. е. неизученные или слабо изученные в гидрологическом отношении территории;

- существующие средства и методы, как показывает практика, не обеспечивают надежного мониторинга уровня вод в водных объектах и своевременного прогноза границ затопления и подтопления населенных пунктов;

- применение ГНСС-технологий обеспечивает возможность реализации автоматизированного мониторинга уровня воды в водных объектах на всем их протяжении при минимальных финансовых затратах.

Полагаем, что для решения вышеуказанной проблемы должны быть решены следующие задачи:

- разработаны основные технические решения по созданию АМС определения уровня воды рек, озер, водохранилищ и каналов на основе ГНСС-технологий, учитывающие большую изменчивость уровня воды в водных объектах;

- разработана конструкторская документация на изготовление опытного образца станции АМС;

- изготовлен опытный образец станции АМС в составе:

- устройство бесконтактного измерения уровня воды

– 1 шт.;

оборудование спутниковое геодезическое ГЛОНАСС/GPS	– 1 к-т;
серверное оборудование	– 1 к-т;
связное оборудование	– 1 к-т;
АПС для объектов АМС II и III уровня	– 1 к-т.

- проведены предварительные и государственные испытания.

Актуальность предлагаемой тематики работ определяется возросшими требованиями к точности и оперативности прогнозов затопления и подтопления населенных пунктов в период паводков и наводнений, а также прогнозов наполнения водой водохранилищ, поддержания судоходных отметок русел рек и каналов в условиях снижения притока воды в период маловодья. Применение спутниковых технологий позволит автоматизировать процесс измерений, сбора и обработки данных об уровне воды, а также охватить практически всю обширную территорию Российской Федерации средствами мониторинга.

В результате выполнения предлагаемых работ будет создан комплекс средств, который обеспечит:

- Точность привязки контрольных точек (отметок реперов и свай водомерных постов и уровней воды в водных объектах) к Балтийской системе высот – 10 мм +1,5 PPM;
- Периодичность контроля – 1 раз в 10 минут;
- Площадь навигационного поля, создаваемого 1 базовой станцией - около 300 км² (для режима RTK);
- около 2500 км² для режима постобработки измерений.

Предлагаемая к разработке система позволит обеспечить достижение цели по внедрению спутниковых навигационных технологий в организацию автоматизированного мониторинга уровня воды на водных объектах по всей их длине при минимальных финансовых затратах.

По нашим оценкам, внедрение АМС в государственную систему контроля состояния водных объектов обеспечит по сравнению с традиционными средствами:

- сокращение сроков развертывания временных гидрологических постов в труднодоступной местности - в 3 раза;
- сокращение трудозатрат по оборудованию и эксплуатации стационарных гидрологических постов - в 5 раз;
- сокращение трудозатрат по мониторингу уровня воды - в 10 раз.

Учитывая масштабность задач и ограниченный срок до начала работ, представляется необходимым:

1. Заблаговременно сформировать кооперацию научных организаций и предприятий промышленности, нацеленную на успешное выполнение ОКР «ГСУ».

2. Начать подготовку предложений в проект технического задания на выполнение ОКР «ГСУ» с привлечением заинтересованных предприятий и организаций.

К числу потенциальных эксплуатантов и потребителей АМС определения уровня воды внутреннего бассейна рек следует отнести предприятия Росгидромета, Росреестра, Минэнерго (РусГидро) и Морречфлота России.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В СУБПОЛЯРНЫХ МОРЯХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И СЛО

Башмачников И.Л.^{1,2}, Федоров А.М.^{1,2}, Яковлева Д.А.¹, Весман А.В.^{1,2,3}

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Научный фонд Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Фонд "Нансен-центр"), Санкт-Петербург, Россия

³Институт Арктики и Антарктики, отдел взаимодействия океана и атмосферы, Санкт-Петербург, Россия

INTERANNUAL VARIABILITY OF THE INTENSITY OF DEEP CONVECTION IN THE SUBPOLAR NORTH ATLANTIC

Bashmachnikov I.L.^{1,2}, Fedorov A.M.^{1,2}, Iakovleva D.A.¹, Vesman A.V.^{1,2,3}

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Scientific Foundation «Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre», Saint-Petersburg, Russian Federation

³Arctic and Antarctic research institute, Atmosphere-sea ice-ocean interaction department, Saint-Petersburg, Russian Federation

Выявлены новые области наиболее частого развития глубокой конвекции, а также характер и причины межгодовой изменчивости конвекции в областях ее частого развития.

The new areas of the most frequent development of deep convection are detected; the interannual variability of the convection intensity in these areas are derived.

Введение

Глубокая конвекция в субполярных морях Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна СЛО является неотъемлемым компонентом атлантической меридиональной океанической циркуляции (АМОЦ) и важным звеном глобальной климатической системы [1]. В данной работе является развитием результатов работ [2-4] по исследованию изменчивости глубокой конвекции и анализу причин этой изменчивости.

Материалы и методы

В качестве массива океанических натуральных данных использовался массив совместного анализа натуральных и спутниковых данных ARMOR (1993-2016 гг.) с пространственным разрешением 0.25° и дискретностью 1 месяц. Потоки тепла на границе океан-атмосфера были рассчитаны по данным реанализа ERA-Interim (<http://apps.ecmwf.int/datasets>) с пространственным разрешением 0.75° и дискретностью 6 часов. Потоки пресной воды рассчитывались по изменению объема морского льда в районах исследования, с учетом приноса и выноса льда по данным модели PIOMAS (Pan-Arctic Ice Ocean Modeling and Assimilation System) с пространственным разрешением 0.25° и дискретностью 1 месяц. Данные по стоку пресной воды и льда с о. Гренландия были взяты из [5].

Глубина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) выделялась тремя различными способами: de Boyer Montegut et al. [6], Kara et al. [7] и Духовского [2]. Межгодовая изменчивость интенсивности глубокой конвекции определялась как максимальная глубина перемешанного

слоя (МВКС) за зиму и как максимальная площадь области, где конвекция превысила 800 м (S800).

Результаты

Были выделены 4 основные области глубокой конвекции в Гренландском море, морях Лабрадор и Ирмингера (рис. 1). Было установлено, что в Гренландском море глубокая конвекция часто наблюдается также в западной части моря. В субполярном круговороте также была обнаружена область частого развития глубокой конвекции на между двумя традиционно выделяемыми районами морей Лабрадор и Ирмингера.

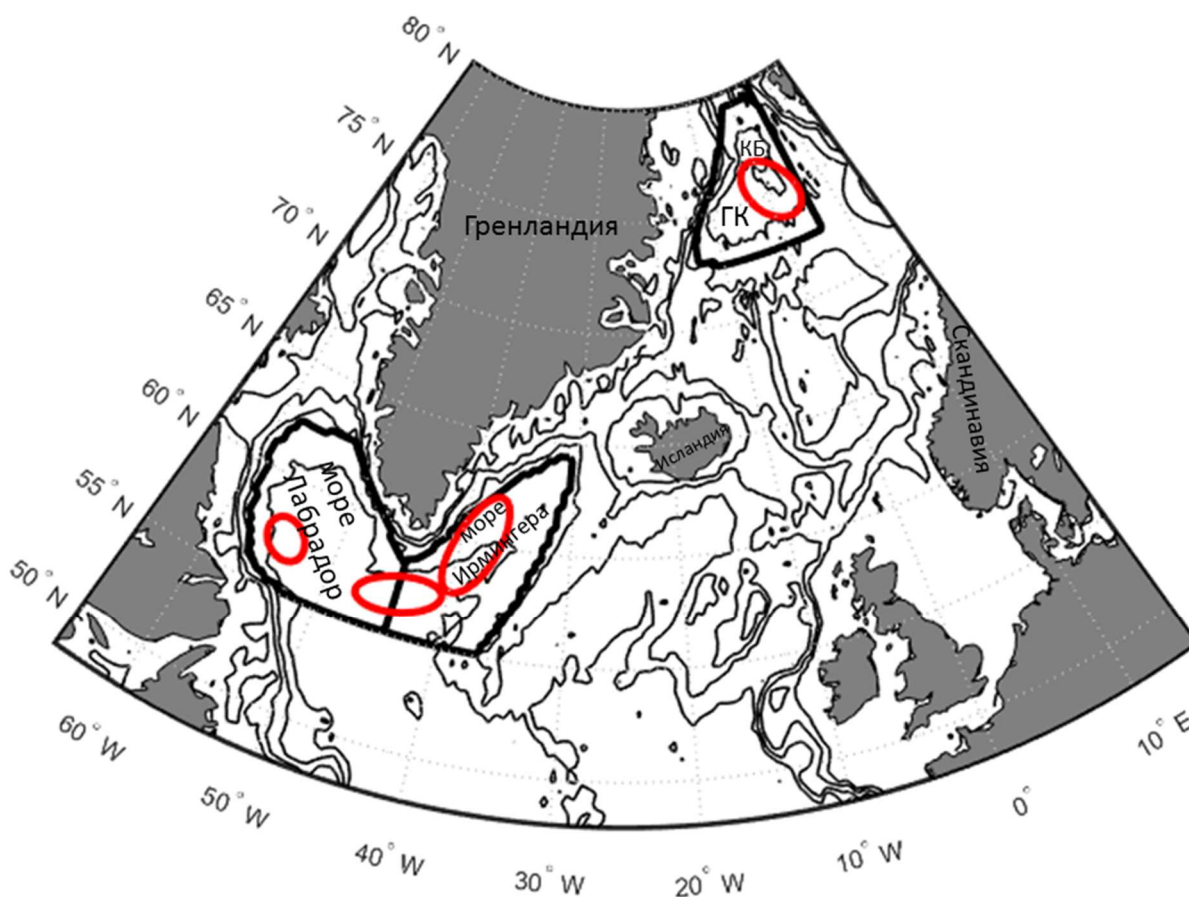


Рис. 1. Районы, где возможно развитие глубокой конвекции, ограничены жирными черными линиями. Области, где конвекция происходит наиболее часто, ограничены красными эллипсами. Батиметрия нанесена серыми контурами. КБ – котловина Борей, ГК – Гренландская котловина.

Была выявлена тенденция к увеличению интенсивности глубокой конвекции в Гренландском море с середины 1990-х по конец 2000-х гг. с последующей стабилизацией (рис. 2а). Интенсивность глубокой конвекции в море Лабрадор за указанный период, наоборот, несколько уменьшалась (рис. 2б). В море Ирмингера интенсивность конвекции уменьшалась с середины 1990-х по середину 2000-х, а далее росла до конца промежутка наблюдений в 2016г. (рис. 2в).

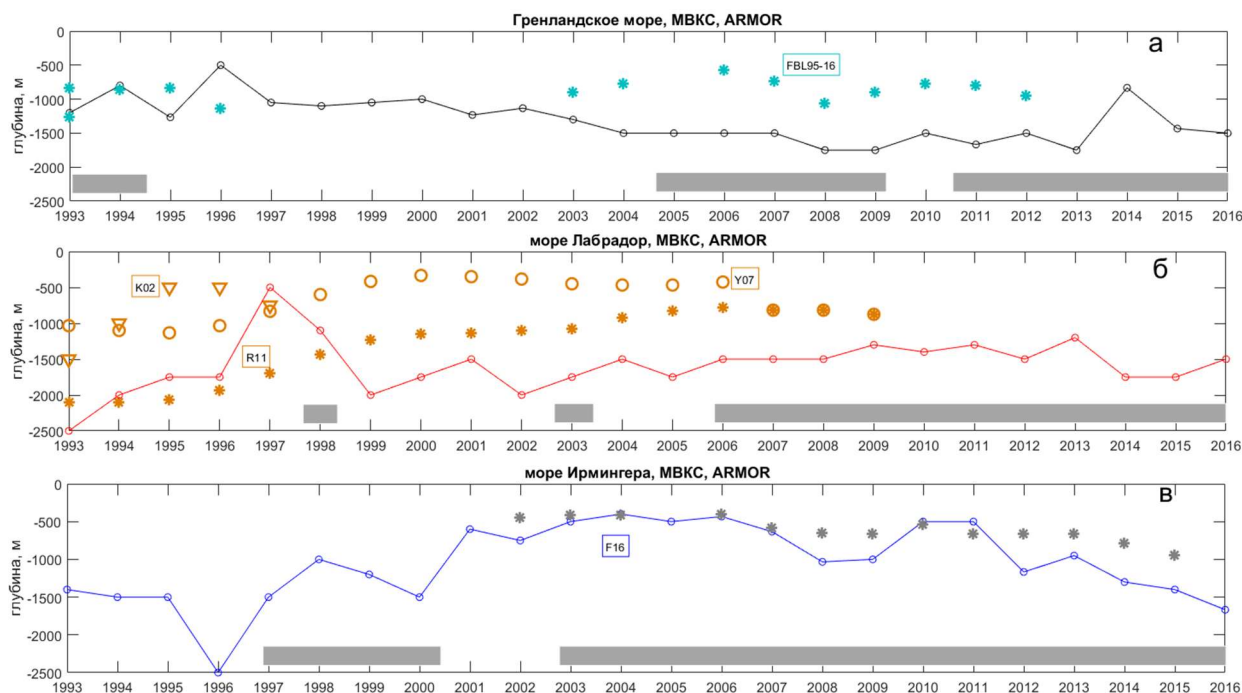


Рис.2 Максимальная глубина перемешанного слоя с ноября предыдущего года по октябрь текущего года по данным ARMOR (сплошные линии) в морях (а) Гренландском, (б) Лабрадор и (в) Ирмингера. Маркерами показаны данные об относительной глубине конвекции по данным непосредственных определений МВКС а также различных индексов интенсивности конвекции (условные единицы): F16 - Frob et al., 2016; K02 - Khatiwala et al., 2002; Y07 - Yashayaev, 2007; R11 - Rhein et al., 2011; FBL95-16 - Fischer et al., 1995; Budeus et al., 1998; Latarius, Quadfase, 2016).

Анализ данных по межгодовой изменчивости теплосодержания и содержания пресной воды показал, что долгосрочные тенденции интенсивности конвекции в Гренландском море, прежде всего, связаны с изменениями солености воды (коэффициент корреляции 0.7); в море Ирмингера – с изменениями температуры воды (коэффициент корреляции 0.6); а в море Лабрадор – с температурой воды и интенсивностью циклонической циркуляции.

Была проанализирована межгодовая изменчивость потоков, которые могут определять изменчивость интенсивности глубокой конвекции в исследуемых акваториях: потока тепла из океана в атмосферу, радиационного баланса, океанической адвекции тепла, океанической адвекции соли, баланса осадков и испарения, поступления пресной воды от замерзания и таяния морского льда, поступления пресной воды от ледников Гренландии.

Было показано, что в Гренландском море глубокая конвекция, прежде всего, регулируется межгодовой изменчивостью океанической адвекции соли и интенсивностью таяния морского льда. Изменчивость потоков тепла в атмосферу вносит только порядка 30% в изменчивость МВКС в Гренландском море. Остальные факторы не имели постоянного существенного влияния на выделенные тенденции в изменчивости интенсивности глубокой конвекции.

Долгопериодная изменчивость глубокой конвекции в море Ирмингера определяется интенсивностью океанической адвекции.

В море Лабрадор межгодовая изменчивость глубокой конвекции, помимо локальной интенсивности циклонической циркуляции, связана с изменчивостью теплообмена океана и атмосферы.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151)

Литература

1. Rhein M., Kieke D., Hüttl-Kabus S., Roessler A., Mertens C., Meissner R., Yashayaev I., Deep water formation, the subpolar gyre, and the meridional overturning circulation in the subpolar North Atlantic// Deep Sea Research II – 2011 – Т. 58 – №. 17 – С. 1819-1832.
2. Башмачников И.Л., Федоров А.М., Весман А.В., Белоненко Т.В., Колдунов А.В., Духовской Д.С. Термохалинная конвекция в субполярных морях Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна СЛО по спутниковым и натурным данным. Часть 1: локализация областей конвекции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т.15..
3. Башмачников И.Л., Федоров А.М., Весман А.В., Белоненко Т.В., Колдунов А.В., Духовской Д.С. Термохалинная конвекция в субполярных морях Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна СЛО по спутниковым и натурным данным. Часть 2: индексы интенсивности конвекции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т.15..
4. Фалина А.С., Сарафанов А.А., Соков А.В. К вопросу об обновлении Лабрадорской водной массы в бассейне Ирмингера // Океанология. – 2007. – Т. 47. – №. 4. – С. 533-538.
5. Bamber, J. L., Tedstone, A. J., King, M. D., Howat, I. M., Enderlin, E. M., van den Broeke, M. R., Noel, B. Land ice freshwater budget of the Arctic and North Atlantic Oceans: 1. Data, methods, and results// Journal of Geophysical Research – 2018 – Т. 123 – № 3 – С. 1827-1837.
6. de Boyer Montegut C., Madec G., Fischer A.S., Lazar A., Iudicone D. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology// Journal of Geophysical Research – 2004 – Т. 109 – С. 12003 – doi: 10.1029/2004JC002378.
7. Kara A.B., Rochford P.A., Hurlburt H.E. Mixed layer depth variability over the global ocean// // Journal of Geophysical Research – 2003 – Т. 108 – С. 3079 – doi:10.1029/2000JC000736

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН РОССБИ С ЗОНАЛЬНЫМ ПОТОКОМ:
ДЕМОНСТРАЦИЯ ДЛЯ АЦТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТИМЕТРИИ

Белоненко Т.В.¹, Гневывшев В. Г.², Кубряков А. А.³, Фролова А.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
btvlisab@yandex.ru

² Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова, Москва, Россия

³ Морской гидрофизический институт, Севастополь, Россия

NONLINEAR INTERACTION OF ROSSBY WAVES WITH ZONAL FLOW:
DEMONSTRATION FOR THE ACC USING ALTIMETRY

Belonenko T.V.¹, Gnevyshev V. D.², Kubryakov A. A.³, Frolova A.V.¹

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia,

btvlisab@yandex.ru

² Institute of Oceanology RAS. P.P. Shirshov, Moscow, Russia

³ Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol, Russia

Предлагается новая нелинейная теория, позволяющая описать особенности волн Россби при взаимодействии с зональным течением. В рамках этой теории показано, что в длинноволновом приближении нелинейность в точности компенсирует доплеровский сдвиг. Получено новое дисперсионное соотношение для волн Россби на струйном потоке. Данный подход верифицируется для области, расположенной в Антарктическом циркумполярном течении (АЦТ). Анализируется изменчивость уровня по данным спутниковой альтиметрии, проводится сравнение эмпирических скоростей, рассчитанных по альтиметрическим данным, и теоретических фазовых скоростей волн, определенных по нелинейному дисперсионному соотношению с использованием эквивалентного β -эффекта. Сравнение показывает, что полученное в рамках нелинейного подхода новое дисперсионное соотношение позволяет описать перемещение, как в западном, так и в восточном направлении, мезомасштабных вихрей в поле аномалий уровня, идентифицируемых, как волны Россби.

We propose a new nonlinear theory, which makes it possible to describe the Rossby waves interacting with a zonal flow. Within the framework of this theory, we show that non-linearity exactly compensates the Doppler shift in the long-wave approximation. We obtain a new dispersion relation for Rossby waves interacting with a jet stream and verify it for the area in the Antarctic Circumpolar Current (ACC). We analyze sea level variability and compare the empirical velocities calculated using altimetry data with theoretical phase velocities of waves determined from a nonlinear dispersion relation with the equivalent β -effect application. The comparison shows that the new dispersion equation obtained in the framework of the nonlinear approach allows us to describe the displacement, both in the western and in the eastern direction, of mesoscale eddies identified as Rossby waves.

Основная проблема описания взаимодействия волн Россби со струйными течениями заключается в том, что предлагаемые теории обычно исходят из предположения о приблизительном равенстве скоростей среднего потока и волн Россби [1-3]. Однако анализ спутниковых альтиметрических карт для района АЦТ показывает, что скорости АЦТ значительно превышают скорости волн Россби, характерные для этих широт. Это обстоятельство делает непригодными ранее выдвинутые теории описания волн Россби на течениях, в которых скорости течения и волн принимались сравнимыми или равными по величинам, и ставит под сомнение общепринятую интерпретацию наблюдаемого западного потока энергии, как переноса

линейными волнами Россби, и предполагает важность учета нелинейных динамических процессов в обширных регионах внутри океана.

В последние годы наблюдавшийся прогресс в области дистанционного зондирования Земли способствовал развитию эмпирических представлений о волнах Россби в океане, которые проявляются в океане в виде мезомасштабных вихрей. Установлено, что на большей части акватории Мирового океана распространение волн Россби в западном направлении происходит без дисперсии и в этом процессе участвует множество долго живущих мезомасштабных вихревых структур [4-9]. Районы, богатые вихрями, географически совпадают с районами крупномасштабных течений, которые также являются районами, где наблюдаются вихри с наибольшими амплитудами. Скорости перемещения мезомасштабных вихрей, в целом, неплохо согласуются с дисперсионными соотношениями бароклинных волн Россби, хотя при этом многие авторы замечают, что эмпирические скорости несколько превышают теоретические фазовые скорости, полученные в линейном приближении для гармонических волн. Однако в области мощных струйных течений линейная теория не работает. Как показывают спутниковые наблюдения, в области АЦТ мезомасштабные вихри перемещаются не только западным, но и в восточном направлении, а само АЦТ является волноводом, в котором захватывается кинетическая энергия мезомасштабных вихрей

В своем исследовании мы предлагаем новый подход, который свободен от ограничений о равенстве скоростей волн и течений, и в рамках нелинейной теории мы показываем, что нелинейность в длинноволновом приближении в точности компенсирует доплеровский сдвиг. Это позволяет получить новое дисперсионное соотношение для волн Россби на струйном потоке.

В длинноволновом приближении дисперсионное соотношение для нелинейных волн Россби имеет вид: $\omega = \frac{-k(\beta - U''_{yy})}{F}$, где ω – частота, k – зональное волновое число, U –

зональная составляющая скорости течения, F – характеристика радиуса деформации. Или $\omega = \frac{-k\beta^*}{F}$, где $\beta^* = \beta - U''_{yy}$, β^* называется эквивалентным β -эффектом.

Тогда для фазовой скорости нелинейных волн Россби в длинноволновом приближении можно записать: $c^* = -\beta^* \cdot R^2$. На основе данных спутниковой альтиметрии мы проводим верификацию дисперсионного соотношения для района АЦТ (см. рисунки 1 и 2). Эмпирические скорости мы волн Россби мы рассчитываем по данным спутниковой альтиметрии с использованием преобразования Радона [6-9].

Предложенная нелинейная теория может быть применена для других областей Мирового океана.

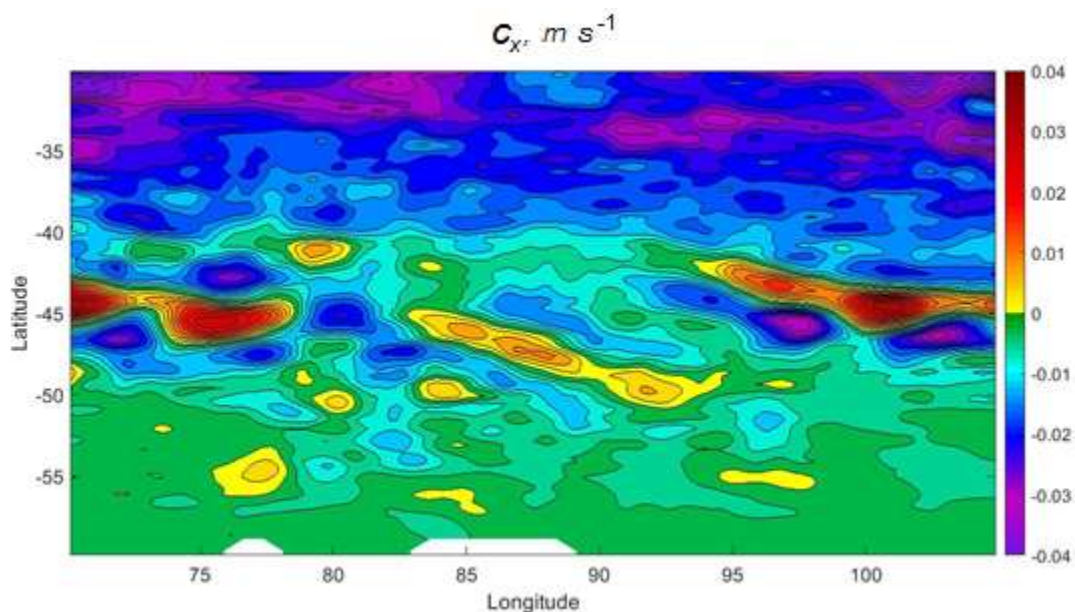


Рис. 1. Фазовая скорость волн Россби (м/с), рассчитанная по формуле $\omega = \frac{-k(\beta - U''_{yy})}{F}$ для каждой точки сетки.

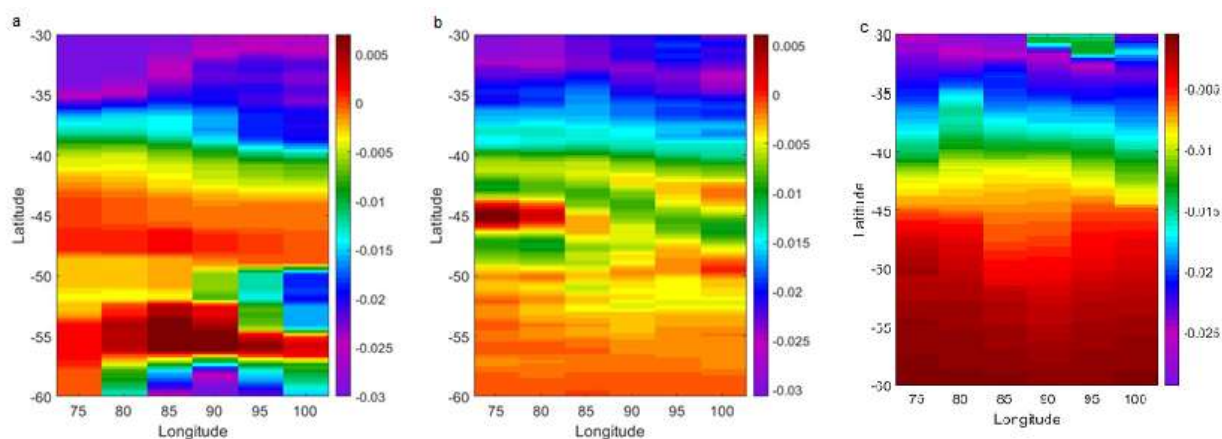


Рис. 2. (а) Эмпирическая фазовая скорость волн Россби, рассчитанная методом Радона по альтиметрическим данным за период 1993-2017; (б) «Теоретическая» фазовая скорость волн Россби, рассчитанная в приближении длинных волн по формуле $\omega = \frac{-k(\beta - U''_{yy})}{F}$ с применением преобразования Радона; (с) «Теоретическая» фазовая скорость волн Россби в приближении длинных волн, рассчитанная в рамках классической линейной гармонической теории волн Россби.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00034.

This work was supported by RFBR grants No. 17-05-00034.

Литература

1. Гневнышев В.Г., Шрира В.И. Трансформация монохроматических волн Россби в критическом слое на зональном течении // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989а. Т. 25. № 8. С. 852-862.

2. Гневыхив В.Г., Шрира В.И. Динамика пакетов волн Россби в окрестности зонального критического слоя с учетом вязкости // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989б. Т.25, №10. 1989. С. 1064-1074.
3. Зырянов В.Н. Топографические вихри в динамике морских течений. ИВП РАН, 1995, 240 с.
4. Белоненко Т.В., Захарчук Е.А., Фукс В.Р. Волны или вихри? // Вестник СПбГУ. Сер.7. Вып. 3 (№21). 1998. С. 37-44.
5. Белоненко Т.В., Захарчук Е.А., Фукс В.Р. Градиентно-вихревые волны в океане. 2004. СПб: Изд-во СПбГУ. 215 с.
6. Белоненко Т.В., Кубряков А.А. Временная изменчивость фазовой скорости волн Россби в Северной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014.Т. 11. № 3. С. 9-18.
7. Белоненко Т.В., Кубряков А.А., Станичный С.В. Спектральные характеристики волн Россби Северо-западной части Тихого океана // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1-2. С. 43-52.
8. Белоненко Т.В., Фролова А.В. Антарктическое Циркумполярное течение как волновод для волн Россби и мезомасштабных вихрей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 181–190.
9. Belonenko T.V, Kubryakov A.A., Stanichny S.V. Spectral Characteristics of Rossby Waves in the Northwestern Pacific based on Satellite Altimetry // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2016. 52: 920. doi:10.1134/S0001433816090073.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ ОХТЫ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА

А.М. Белякова¹

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

HYDROCHEMICAL AND TOXICOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE OKHTA RIVER IN THE SUMMER OF 2018

A.M. Belyakova¹

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Произведен анализ гидрохимических и токсикологических характеристик воды р. Охты в пределах г. Санкт-Петербурга. Полевые работы проведены летом 2018 года на 17 станциях. Сделано заключение о высоком уровне загрязнения реки.

Hydrochemical and toxicological characteristics of the Okhta River within St. Petersburg were analyzed. Field works carried out in the summer 2018 at 17 stations. As a result a high level of river pollution has been identified.

Река Охта – это крупнейший правый приток реки Невы. Ее длина составляет 90 км, а площадь водосбора – 768 км². Основными притоками Охты являются реки Оккервиль, Лубья, а также ручьи (например, Муринский) [1]. Приустьевой участок реки длиной 9 км протекает на высоко урбанизированной территории Санкт-Петербурга, в связи с чем по течению наблюдается увеличение уровня загрязнения Охты из-за возрастания антропогенной нагрузки на реку (в виде многочисленных выпусков сточных вод и поверхностного стока с городских и промышленных территорий) [2].

Река Охта признана одним из наиболее загрязненных водотоков Санкт-Петербурга [1]. На реке проводит мониторинговые наблюдения Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на базе ФГБУ «Северо-Западное УГМС», результаты которых сведены в «Ежегодники качества поверхностных вод Российской Федерации». Так, за 2014–2017 гг. воды Охты были отнесены по УКИЗВ к классу качества 4А («грязные») со следующими основными загрязняющими веществами: БПК₅, ХПК, медь, железо, цинк, марганец, аммонийный азот [3–6].

Из-за большого уровня загрязнения вод Охта привлекает внимание многих исследователей [7–11], поэтому мониторингом загрязнения Охты занимается и РГГМУ, начиная с 1997 года, на созданной сети точек. В данной работе рассматриваются и анализируются данные, полученные при полевых исследованиях, которые проводились в летний период 2018 года.

В ходе исследований был определен следующий перечень гидрохимических показателей:

- рН;
- общая жесткость;
- растворенный кислород;
- БПК₅;
- суммарное железо;
- азот аммонийный;
- азот нитратный;
- нефтепродукты.

Также были определены две токсикологические характеристики:

- изменение оптической плотности водоросли хлорелла *Chlorella vulgaris* Beijer;
- хемотаксическая реакция инфузорий *Paramecium caudatum*.

Пробы воды были отобраны с поверхностного и придонного горизонтов на 13 станциях Охты (в пределах г. Санкт-Петербурга) и с поверхностного горизонта на трех станциях, расположенных выше по течению: Челябинский мост (30), Мурино (35), и

Елизаветинка (40). Также пробы отбирались с поверхностного горизонта в устьях притоков Охты: Оккервиль (Ок1), Лубья (Л1) и Муринский ручей (МР1) (Рисунок 1).

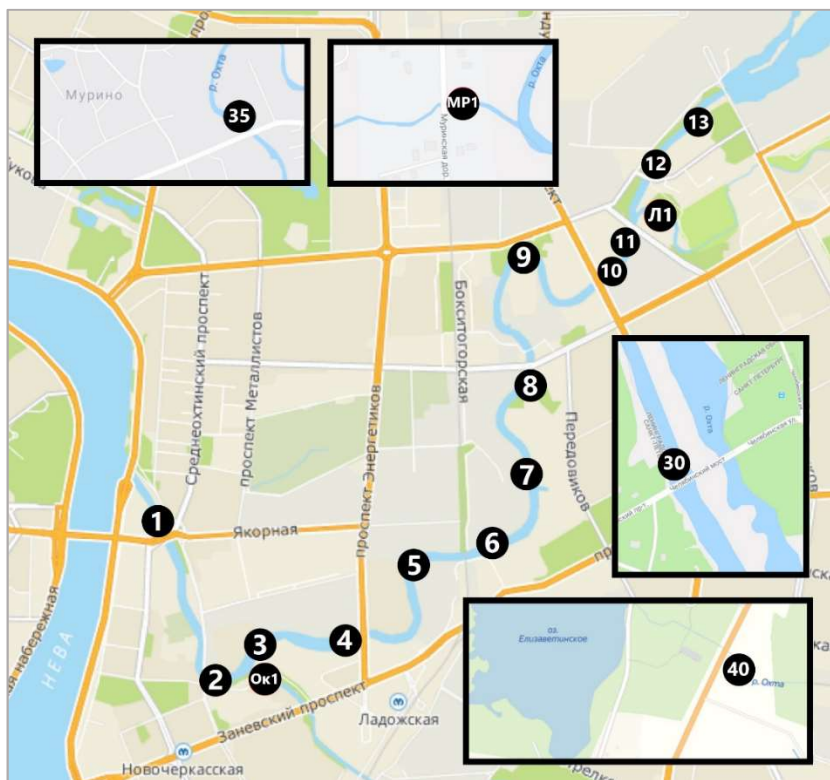


Рис. 1. Станции отбора проб воды на реке Охте и ее притоках

По величине рН на большинстве станций воды Охты относятся к слабощелочным, в меньшей степени – к нейтральным (величина рН изменяется в пределах 7,26–7,73), а в устьевых зонах притоков – от 7,37 до 7,67.

По значениям общей жесткости вода Охты, а также вода в устьях Оккервиля и Лубьи характеризуется как мягкая (находится в районе 1,8–2,4 мг-экв/дм³). Примечательно, что в устье Муринского ручья величина общей жесткости достигает 4,0 мг-экв/дм³, которая является порогом перехода в класс воды средней жесткости.

Оценка остальных гидрохимических характеристик происходила при помощи расчета кратности превышения концентраций гидрохимических показателей над их ПДК (предельно допустимых концентраций), взятых из приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 [12].

В летний период количество растворенного в воде кислорода должно быть не менее 6 мг/дм³, однако на большинстве станций был выявлен дефицит кислорода в воде Охты (кроме 10, 12, 13 и 40 станций, где количество растворенного кислорода было в норме). В устьевых зонах Лубьи и Оккервиля также наблюдалась норма содержания растворенного кислорода в воде, а в устье Муринского ручья был зарегистрирован сильный дефицит – 28% от нормы.

По кратности превышения величины БПК₅ над ПДК (2,1 мг/дм³) на большинстве станций Охты можно выявить повышенное содержание органического вещества в воде (на поверхности кратность превышения варьируется от 1,15 ПДК до 3,86 ПДК и на дне – от 0,82 ПДК до 4,52 ПДК с наибольшими значениями на 13 станции).

Концентрации суммарного железа в Охте также имеют превышения ПДК не менее чем в 10 раз. Однако эти превышения можно объяснить географическим расположением реки Охты и ее притоков, которое характеризуется особой гидрогеохимической обстановкой с повышенным содержанием железа в материнской породе и почвах, а также общей заболоченностью территории водосбора Охты.

Превышения концентраций азота аммонийного над ПДК на всех станциях реки Охты и ее притоков имеют кратность не менее 14,2 ПДК (в придонном горизонте 12 станции) и доходящих до 46,4 ПДК в устье Оккервиля, что свидетельствует о сильном загрязнении Охты данной формой азота. Если же говорить об азоте нитратном, то незначительные превышения над ПДК были выявлены лишь в устьевой станции Оккервиля (1,1 ПДК), а также на станциях Охты 35 (1,1 ПДК) и 40 (2,7 ПДК).

Превышения концентраций нефтепродуктов над ПДК распределены по течению Охты и по ее горизонтам неоднородно. Так, в поверхностном горизонте минимальная кратность составляет 0,1 ПДК (станция 9), максимальная – 130,6 ПДК (станция 40); в придонном горизонте минимальная кратность составила 1 ПДК (станции 2 и 11), максимальная – 96,8 ПДК (станция 13). Притоки Охты также загрязнены нефтепродуктами неодинаково: кратность превышения в устье Лубьи составила 10,2 ПДК, Оккервиля – 1,6 ПДК, а Муриноского ручья – 131,2 ПДК. Все это говорит о том, что воды Охты и ее притоки на большинстве станций сильно загрязнены нефтепродуктами.

На основе рассчитанных кратностей превышений концентраций гидрохимических характеристик над ПДК была произведена оценка качества вод Охты с использованием методики расчета индекса загрязненности воды (ИЗВ). Расчет ИЗВ произведен по материалам одной съемки. Результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения ИЗВ и класс качества воды исследованных станций Охты

№ станции	Поверхность	Дно	Средний	Класс качества (по среднему ИЗВ)
1	6,2	8,0	7,1	очень грязная
2	11,2	7,3	9,2	очень грязная
3	9,6	10,3	9,99	очень грязная
4	17,6	12,3	15,0	чрезвычайно грязная
5	12,9	9,6	11,2	чрезвычайно грязная
6	10,0	13,5	11,7	чрезвычайно грязная
7	8,6	9,4	9,0	очень грязная
8	8,0	9,1	8,5	очень грязная
9	9,1	9,6	9,3	очень грязная
10	7,8	7,4	7,6	очень грязная
11	8,8	6,7	7,7	очень грязная
12	6,7	11,2	8,9	очень грязная
13	7,5	22,8	15,1	чрезвычайно грязная

Таким образом, можно сделать следующие выводы по качеству вод Охты:

- воды Охты относятся к VI классу качества («очень грязная») и VII классу («чрезвычайно загрязненная»);

- по поверхностному горизонту относительно «чистой» по меркам Охты является станция 1 с ИЗВ 6,2. Это объясняется влиянием Невы на устьевую зону Охты, приводящему к разбавлению вод Охты более чистыми водами Невы и, как следствие, уменьшению концентраций загрязняющих веществ. Наиболее загрязненной является станция 4 с ИЗВ 17,6;

- по придонному горизонту менее загрязненной является станция 11 с ИЗВ 6,7, а наиболее грязной – станция 13 (ИЗВ равен 22,8, что связано с сильным превышением ПДК концентрации нефтепродуктов);

- по среднему значению ИЗВ наименее загрязненной станцией, таким образом, является станция 1 со средним ИЗВ 7,1, а наиболее загрязненной – станция 13 (ИЗВ – 15,1).

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что в целом Охта, как и в предыдущие годы, подвержена сильному загрязнению. Основные загрязняющие агенты:

нефтепродукты, аммонийная форма азота, органическое вещество, а также дефицит кислорода, растворенного в воде.

Также на станциях Охты 1–13 были произведены токсикологические (биотестовые) исследования вод поверхностного горизонта: изменение оптической плотности водоросли хлорелла *Chlorella vulgaris* Beijer и хемотаксическая реакция инфузорий *Paramecium caudatum*.

Пределы изменения оптической плотности водоросли хлорелла, в которых не проявляются токсические свойства воды, изменяются от +30% до -20%. Однако за пределы допустимых изменений оптической плотности вышли следующие станции: 11 (+57%), 10 (+50%), 9 (+38%), а также 4 (-38%) и 1 (-24%). Это говорит о том, что на этих станциях Охты проявляются токсические свойства воды.

По реакции инфузорий уровень токсичности воды Охты в целом находится в допустимых пределах ($T < 0,4$), однако на станциях 6 и 7 он увеличивается до умеренного ($0,4 < T < 0,7$).

Совместное рассмотрение гидрохимических и токсикологических показателей Охты за летний период 2018 года в очередной раз показало, что река и ее притоки являются сильно загрязненными водными объектами. Наиболее загрязнен участок реки от 8 до 2 станции, соответствующий территории от Ириновского проспекта до моста Шаумяна.

Литература

1. Водные объекты Санкт-Петербурга. – СПб.: Символ, 2002. – 348 с.
2. Зуева Н.В., Гальцова В.В., Дмитриев В.В., Степанова А.Б. Использование структурных характеристик сообществ макрофитов как индикатора экологического состояния малых рек Запада Ленинградской области // Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология, География. 2007, вып. 4. С. 60–71.
3. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ФГБУ «Гидрохимический институт». Ежегодник «Качество поверхностных вод РФ за 2014 год» / под ред. Лобченко Е.Е., г. Ростов-на-Дону, 2015. – 530 с.
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ФГБУ «Гидрохимический институт». Ежегодник «Качество поверхностных вод РФ за 2015 год» / под ред. Лобченко Е.Е., г. Ростов-на-Дону, 2016. – 552 с.
5. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ФГБУ «Гидрохимический институт». Ежегодник «Качество поверхностных вод РФ за 2016 год» / под ред. Лобченко Е.Е., г. Ростов-на-Дону, 2017. – 556 с.
6. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ФГБУ «Гидрохимический институт». Ежегодник «Качество поверхностных вод РФ за 2017 год» / под ред. Трофимчука М.М., г. Ростов-на-Дону, 2018. – 555 с.
7. Алексеев Д.К., Гальцова В.В., Куличенко А.Ю. Экологические проблемы водотоков и водоемов Санкт-Петербурга и пути их решения // Географические и экологические аспекты гидрологии. СПбГУ. 2010. С. 116–121.
8. Зуева Н.В., Мостовая М.А., Лешукова А.И. Характеристики макрофитов в оценке качества воды малых рек Санкт-Петербурга // Биоиндикация в мониторинге пресноводных систем. СПб. 2011. С. 137–142.
9. Фураева Д.И., Урусова Е.С. Оценка загрязненности реки Охта в летний период // Метеорологический вестник. 2017. Т. 9. № 1. С. 52–60.
10. Беляков В.П., Бажора А.И., Сотников И.В. Мониторинг экологического состояния городских водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2015. Т.17. № 6. С. 51–56.
11. Игнатьева Н.В. Гидрохимическая характеристика трех озерно-речных систем Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана: Матер. лекций II Всерос. шк.-конф. Ярославль: Филигрань, 2014. Т. 2. С. 165–168.
12. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 12 октября 2018 года)».

ОЦЕНКА РАСХОДОВ РЕК ПО ДАННЫМ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В.А. Боброва¹, Л.А. Тимофеева¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

ESTIMATION OF RIVER FLOW BASED ON HYDROCHEMICAL DATA

V.A. Bobrova¹, L.A. Timofeeva¹

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Оценена возможность надежного восстановления среднегодовых и ежедневных расходов рек по данным об общей минерализации и электропроводности их вод. Даны рекомендации по применению представленного подхода.

The possibility of reliable retrieval of average annual and daily discharges based on the data on water general mineralization and electrical conductivity has been assessed. Conditions for the use of the approach described are specified.

Введение

Гидрохимический и водный режим рек тесно связаны, что позволяет предположить, что, при наличии надёжной зависимости между ними, можно восстановить характеристики стока воды по гидрохимическим характеристикам (содержание отдельных элементов, минерализация воды или её электропроводность).

Химический состав поверхностных вод суши определяют разнообразные факторы: климат, геологическое и геоморфологическое строение территории, тип почв и растительности, характер водного режима, который, в свою очередь, определяется сменой типов водного питания. Таким образом, в стоке рек периодически преобладают воды различных генетических категорий. Это является причиной внутригодовых изменений химического состава и минерализации вод рек. Гидрохимический режим малых и средних рек особенно наглядно отражает смену в русловой сети вод различного происхождения [1]. Графики на рис. 1 показывают снижение содержания растворенных веществ при увеличении расхода воды в половодье и паводки и его повышение во время межени.

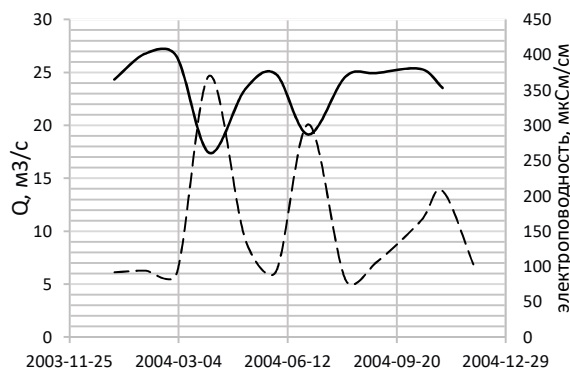


Рис. 1. Внутригодовое изменение электропроводности и расхода воды, р. Выханду – п. Ряпина, 2004 г.

Исходные данные и их предварительная обработка

Объекты исследования – рр. Выханду, Суур–Эмайги, Желча и Кересть – расположены в юго-восточной части бассейна Балтийского моря. Три первые реки принадлежат трансграничному водосбору р. Нарва, и их гидрохимический мониторинг выполняется ежемесячно согласно Программе мониторинга трансграничных водных объектов, утверждаемой Совместной Российско-Эстонской комиссией по охране и рациональному использованию трансграничных вод. Например, на р. Выханду ежемесячно измеряется температура воды, электропроводность, содержание взвешенных веществ, нитритов, нитратов, азота общего и валового, сульфатов и т.д. Отбор проб на р. Кересть осуществлялся в соответствии с требованиями нормативных документов Росгидромета специалистами Северо-Западного

управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды от 2 до 7 раз в год. Характеристики исходных гидрохимических данных и исследуемых водосборов приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Характеристики исследуемых водосборов и исходных гидрохимических данных

Река/Пост	F, км ²	f _{оз} , %	f _{бол} , %	f _{лес} , %	Коэффициенты естественной зарегулированности стока, $\frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\text{ср}}}$	Количество лет отбора проб	Количество проб
Кересть – п. Сябренности	833	<1	7	75	$\frac{0,17 - 0,55}{0,36}$	30	138
Желча – п. Ямм	1220	1	8	74	$\frac{0,69 - 0,85}{0,74}$	10	46
Суур-Эмайыги – г. Тарту	9960	4	19	33	$\frac{0,71 - 0,91}{0,83}$	17	89
Выханду – п. Ряпина	1410	2	12	33	$\frac{0,69 - 0,92}{0,80}$	23	295

Особенности подстилающей поверхности водосборов рек во многом определяют естественную зарегулированность стока, которая, в свою очередь, влияет на гидрохимический режим рек. Она количественно оценивается коэффициентом естественной зарегулированности стока φ , который вычисляется по формуле:

$$\varphi = \frac{\omega}{\Omega} \quad (1)$$

где ω – базисный сток (площадь гидрографа до значения среднего расхода, в который входит наиболее стабильная составляющая – подземный сток); Ω – общая площадь гидрографа.

Чем больше величина φ , тем равномернее внутригодовое распределение стока [2]. Коэффициенты φ были определены для всех рек и всех лет с помощью макроса Excel и гидрографов, построенных по ежедневным расходам воды.

Сток р. Кересть зарегулирован меньше стока других рек. Кроме того, его естественная зарегулированность существенно изменяется: наименьшее значение $\varphi=0,17$ (1972 г.), наибольшее – 0,55 (1961 г.). Указанные особенности стока реки объясняются незначительной заболоченностью (7%) и озерностью (1%) её водосбора (см. табл. 1).

Сток р. Выханду существенно зарегулирован, что обусловлено значительной заболоченностью (12%) и озерностью (2%) её водосбора. Коэффициент естественной зарегулированности изменяется в пределах 0,69–0,92, среднее значение $\varphi=0,80$. Благодаря высокой зарегулированности стока, изменчивость ежедневных расходов мала, что повышает надёжность восстановления характеристик стока описанным ниже методом.

Для каждой из исследуемых рек были построены зависимости измеренных и среднегодовых значений общей минерализации ($\Sigma И$) или электропроводности (Е) от соответствующих расходов (рис. 2).

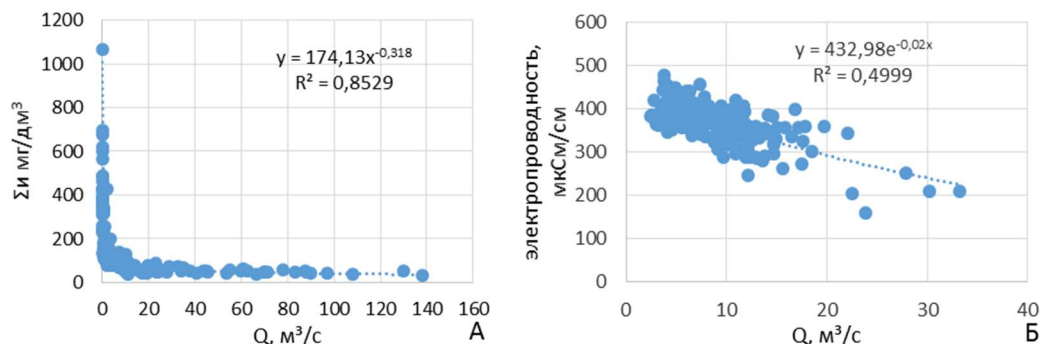


Рис. 2. Зависимость общей минерализации и электропроводности от водности: А – р. Кереть, 1946–1988 гг.; Б – р. Выханду, 1995–2017 гг.

Для того чтобы убедиться в том, что полученные зависимости могут быть использованы для восстановления значений расходов, описывающие их уравнения были линеаризованы и проверены на соответствие следующим условиям:

$$n \geq 10; \quad |r| \geq 0,7; \quad |r|/\sigma_r \geq 2; \quad |a|/\sigma_a \geq 2 \quad (2)$$

где n – число членов выборки, r – коэффициент парной корреляции, σ_r – стандартная ошибка коэффициента парной корреляции, a – коэффициент регрессии, σ_a – стандартная ошибка коэффициента регрессии.

Восстановление ежедневных расходов

Так, ежедневные расходы р. Кереть были восстановлены по следующему уравнению:

$$Q = e^{((\ln(174.13) - \ln(\Sigma_{\text{и}}))/0,318)} \quad (3)$$

Относительные погрешности восстановления ежедневных расходов р. Кереть велики, в среднем составляют 107%. Кроме того, интервал значений расходов, которые могут быть получены по уравнению (3) для зависимости на рис. 2А, не отражает всю изменчивость расходов, т.к. на р. Кереть пробы отбирались 2–4 раза в год.

Зависимость значений электропроводности от расходов для р. Выханду (рис. 2Б) также надежная, но менее тесная, чем для р. Кереть. Это объясняется высокой естественной зарегулированностью стока р. Выханду. Средняя относительная погрешность восстановления значений ежедневных расходов по уравнению (4) составляет 45%, а в целом погрешности изменяются в пределах 9–76%.

$$Q = ((\ln(432.98) - \ln(E))/0,02) \quad (4)$$

Восстановление среднегодовых расходов

Поскольку надежно восстановить ежедневные расходы не удалось, была предпринята попытка восстановить значения среднегодовых расходов по их связи со среднегодовыми значениями электропроводности (минерализации). Подразумевалось, что при этом удастся преодолеть следующие недостатки данных: значительную изменчивость ежедневных расходов, различное количество проб в году, не соответствие дат отбора проб фазам водного режима.

При анализе результатов восстановления среднегодовых расходов р. Кереть по их связи с минерализацией воды (рис. 3А) необходимо учитывать количество проб. При их малом числе амплитуда изменения среднегодовых расходов не охвачена и точно восстановить расходы по линеаризованному уравнению 5 невозможно: в среднем погрешность составляет 60%.

$$Q = e^{(-(\Sigma_{\text{и}}/63.66)+5.23)} \quad (5)$$

Наиболее надежное уравнение связи электропроводности и водности получено для р. Выханду (рис. 3Б). Погрешности восстановления расходов по линеаризованному уравнению 6 находятся в интервале 1,7–26,7%, в среднем же за 23 года погрешность составляет 10,6% (Таблица 2).

$$Q = \exp((\ln(536.27) - \ln(\Sigma_{\text{и}}))/0,178) \quad (6)$$

Среднегодовые восстановленные расходы охватывают диапазон обеспеченностей 5–95%. Экстремальные расходы можно определить по аналитическим кривым Крицкого–Менкеля.

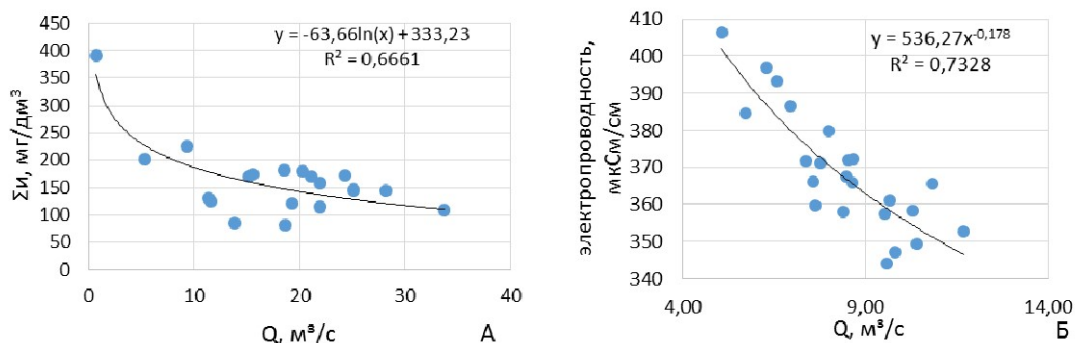


Рис. 3. Зависимость между среднегодовыми значениями электропроводности и расхода воды: А – р. Кереть, 1946–1988 гг., Б – р. Выханду, 1995–2017 гг. Восстановленные среднегодовые

расходы рр. Суур-Эмайыги и Желча также неплохо соответствуют натурным данным. Среднее значение погрешности для р. Желча составило 14%.

Таблица 2. Восстановленные значения среднегодовых расходов и точность восстановления, р. Выханду – п. Ряпина

Год	Q, м ³ /с	Электропроводность, мкСм/см	Q _{восст.} , м ³ /с	ΔQ, %	Год	Q, м ³ /с	Электропроводность, мкСм/см	Q _{восст.} , м ³ /с	ΔQ, %
1995	8,40	358	9,69	15,36	2007	7,56	366	8,53	12,75
1996	5,06	406	4,74	6,22	2008	9,82	347	11,5	17,14
1997	8,55	372	7,80	8,71	2009	9,57	344	12,1	26,70
1998	11,7	353	10,5	9,92	2010	10,8	366	8,61	20,58
1999	10,4	349	11,1	6,61	2011	7,64	360	9,43	23,50
2000	8,49	368	8,35	1,71	2012	7,37	372	7,82	6,23
2001	8,00	380	6,94	13,20	2013	6,57	393	5,71	13,00
2002	7,77	371	7,90	1,72	2014	6,29	397	5,43	13,74
2003	9,53	357	9,77	2,50	2015	6,94	387	6,29	9,40
2004	10,3	358	9,66	6,33	2016	8,68	372	7,79	10,29
2005	8,64	366	8,56	0,86	2017	9,67	361	9,23	4,62
2006	5,73	384	6,48	13,17					

Для р. Суур-Эмайыги погрешности изменяются от 2 до 69%, в среднем погрешность составляет 19%. Такая большая максимальная погрешность объясняется тем, что диапазон данных не позволяет надёжно восстанавливать наиболее редко повторяющиеся расходы.

Для рек с наиболее зарегулированным стоком зависимости электропроводности от водности подобны и позволяют получать результаты, сопоставимые с натурными данными.

Обсуждение результатов

В результате выполненной работы ни для одной реки не удалось надёжно восстановить ежедневные расходы по измеренным значениям минерализации и электропроводности, поскольку имеющиеся данные не охватывают возможный диапазон их изменчивости.

Среднегодовые расходов были восстановлены достаточно надёжно для рр. Выханду, Суур-Эмайыги и Желча. Так, для р. Выханду средняя ошибка за период 1995–2017 гг. составляет лишь 10,5%. Однако восстановленные значения не охватывают всю возможную амплитуду их изменения. Экстремальные расходы могут быть получены по аналитической кривой Крицкого-Менкеля.

Результаты показали, что по данным гидрохимического мониторинга возможно надёжно восстановить значения среднегодовых расходов при выполнении следующих условий:

- количество проб должно быть достаточным для того, чтобы охватить амплитуду изменения гидрохимических и гидрологических характеристик;
- отбор проб должен выполняться в основные фазы водного режима;
- естественная зарегулированность стока должна быть значительной.

Авторы благодарят коллег из Агентства окружающей среды Эстонии за предоставленные данные.

Литература

1. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1955.
2. Куделин Б.И. Принципы региональной оценки природных ресурсов подземных вод. М.: Издательство МГУ, 1960.
3. РД 52.24.748-2010 Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком. – Введ. 2011-01-01. – Ростов-на-Дону: ГУ ГХИ, 2010.

О ПРОБЛЕМЕ РАСЧЕТА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА)

Болгов М.В.

Институт водных проблем РАН

ABOUT THE PROBLEM OF CALCULATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE BAIKAL REGION)

Bolgov M.V.

Institute of Water Problems of RAS

Наблюдаемая динамика гидрометеорологических процессов в Байкальском регионе вынуждает обращаться к проблеме климатических изменений, разрабатывать подходы к оцениванию расчетных гидрологических характеристик. Важнейшей гидрологической характеристикой, определяющей возможности управления всей водно-ресурсной системой Ангары, является речной приток к озеру Байкал, для которого характерна высокая изменчивость колебаний во времени.

Задача долгосрочного прогнозирования колебаний речного стока является частью проблемы построения стохастической модели, адекватно описывающей выявленные закономерности временной изменчивости гидрологических процессов.

Характер многолетних колебаний притока к оз. Байкал демонстрирует, что проблема долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов далека от своего решения. Имеющиеся данные наблюдений и достоверность полученных оценок говорят о том, что марковские процессы в некоторых случаях не объясняют закономерностей группирования маловодных лет.

По-видимому, используемые в гидрологии стохастические модели требуют дальнейшего развития, по крайней мере, в задачах связанных с использованием водных ресурсов, с прогнозированием уровней воды крупных замкнутых водоемов, таких как Каспийское море. В условиях наблюдаемых климатических изменений возможно использование «полумарковских» процессов или других гипотез, позволяющих ввести в модель нестационарные эффекты изменения состояния гидрологической системы.

The observed dynamics of hydrometeorological processes in the Baikal region forces to address the problem of climate change, develop approaches to the assessment of calculated hydrological characteristics. The most important hydrological characteristic determining the possibilities of managing the Angara water-resource system is the river inflow to Lake Baikal, which is characterized by high variability of fluctuations over time.

The task of long-term prediction of river runoff fluctuations is part of the problem of building a stochastic model that adequately describes the revealed patterns of temporal variability of hydrological processes.

The nature of the multi-year fluctuations of the inflow to Lake Baikal demonstrates that the problem of long-term forecasting of hydrometeorological processes is far from being solved. Available observation data and reliability of the obtained estimates suggest that Markov processes in some cases do not explain the patterns of grouping of low-water years.

The stochastic models used in hydrology seem to require further development, at least in water-related tasks, with the prediction of water levels of large confined water bodies such as the Caspian Sea. Under the conditions of observed climatic changes it is possible to use "half-markovian" processes or other hypotheses, which allow to introduce into the model non-stationary effects of change of the state of the hydrological system.

Разнообразные хозяйственные задачи, том числе и задача сокращения негативного воздействия хозяйственной деятельности на уникальную экологическую систему озера Байкал, требуют детальных сведений об особенностях формирования гидрометеорологического режима. В особенности сказанное относится к Байкальскому региону, объекту Всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

Основная сложность состоит в том, что он является уникальным природным объектом со свойственными только ему особенностями гидрологического режима. Данные наблюдений за уровнем озера, как в естественных условиях, так и после создания Иркутского гидроузла, свидетельствуют о значительном размахе его колебаний, определяемом временной изменчивостью увлажнения водосбора, расположенного в различных физико-географических условиях. Существующие Правила

использования водных ресурсов озера [4] учитывают необходимость поддержания экологически приемлемого режима колебаний уровня воды и обеспечение требований пользователей водных ресурсов.

Как и для многих других регионов, наблюдаемая динамика гидрометеорологических процессов вынуждает обращаться к проблеме климатических изменений, разрабатывать подходы к оцениванию расчетных гидрологических характеристик. Важнейшей гидрологической характеристикой, определяющей возможности управления всей водно-ресурсной системой, является речной приток к озеру Байкал, для которого характерна высокая изменчивость колебаний во времени. Основной задачей управления водными ресурсами является оценка и долгосрочный прогноз полезного притока к Байкалу [2]. Отметим что под полезным притоком понимается речной приток плюс осадки на водную поверхность и минус испарение. Определяется полезный приток путем обратных расчетов из уравнения водного баланса озера по известным изменениям объема воды в озере и стоку р. Ангары в створе Иркутской ГЭС.

Данные мониторинга позволяют получить временную реализацию притока к озеру за 118 лет. Временная реализация притока имеет стационарный характер, выделить визуально очевидно нестационарные участки сложно, за исключением последнего 19-летнего периода, который в среднем по стоку не является катастрофически маловодным, но рекордным по продолжительности за всю историю наблюдений. В этом же периоде имеются четыре экстремально маловодных года (2014 - 2017).

Задача долгосрочного прогнозирования колебаний речного стока является частью проблемы построения стохастической модели, адекватно описывающей выявленные закономерности временной изменчивости гидрологических процессов. Имеющиеся в гидрологии данные наблюдений и достоверность полученных оценок говорят о том, что марковские процессы в некоторых случаях не объясняют закономерностей группирования маловодных лет. Марковская модель является приближением к «действительности», но в целом приемлемой, по крайней мере с точки зрения надежного решения прикладных задач, связанных с регулированием стока [1,3]. Марковский процесс полностью задается двумерным законом распределения величин в смежные моменты времени. Соответственно, при моделировании и прогнозировании стока достаточно получить условное распределение значения стока в $t+1$ год, если известно его значение в t -й год.

Условное математическое ожидание случайной последовательности со сдвигом на один год вперед, в предположении того, что в заданный момент времени (в 2015 г.) наблюдался экстремально маловодный год, будет иметь вероятность (обеспеченность) 62% или 1730 м³/с (рисунок 1). Нижний интервал прогноза (обеспеченностью 90%) составит 1460 м³/с. Более глубокое прогнозирование (на 2 и более лет) уже не имеет никакого смысла, поскольку в этом случае, при малом $r(1)$, условное распределение стока практически совпадает с безусловным.

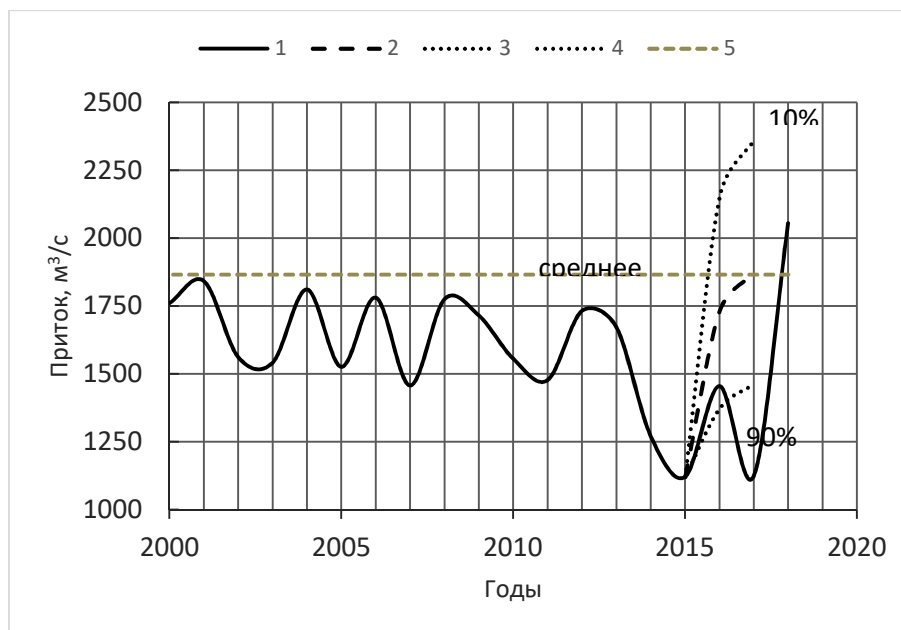


Рисунок 1 – Доверительный интервал вероятностного прогноза речного притока к оз. Байкал. 1 – наблюдаемые значения, 2 – прогноз в форме условного математического ожидания, 3, 4 – верхний и нижний доверительные интервалы, 5 – среднее значение процесса.

Характер многолетних колебаний притока к оз. Байкал демонстрирует, что проблема долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов далека от своего решения. По-видимому, используемые в гидрологии стохастические модели требуют дальнейшего развития, по крайней мере, в задачах связанных с использованием водных ресурсов, с прогнозированием уровней воды крупных замкнутых водоемов, таких как Каспийское море. В условиях наблюдаемых климатических изменений возможно использование «полумарковских» процессов или других гипотез, позволяющих ввести в модель нестационарные эффекты изменения состояния гидрологической системы.

Литература

1. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. – М.: ИВП РАН, 2009, 210с.
2. Бычков И.В., Никитин В.М. Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения //География и природные ресурсы, 2015, №3, с. 5-16.
3. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М: Наука, 1982, 270 с.
4. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского) – М: Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР, 1988.

МОРСКОЙ ЛЁД АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ И ПРОШЛЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

И.И.Борзенкова, А.А.Ершова, К.О. Шиповалова

Государственный гидрологический институт, 2я линия В.О., 23, С.Петербург, РФ

E-mail:irena_borzen@mail.ru

ARCTIC BASIN SEA - ICE IN THE LIGHT OF PRESENT AND PAST CLIMATIC CHANGES

I.I.Borzenkova, A.A.Erschova, K.O.Schipovalova

State hydrological institute, Second Line 23, V.I., Sankt Petersburg, Russian Federation

Быстрое сокращение площади морских льдов в Арктике за последние десятилетия обусловлены их реакцией на повышение глобальной температуры. Морские льды являются прекрасными индикаторами состояния глобальной климатической системы, как в историческое время, так и в отдаленном прошлом. Известно, что во время глобальных потеплений в прошлом площадь морского оледенения Арктики значительно сокращалась. Во время теплых интервалов плейстоцена увеличение в приходе летне-весенней солнечной радиации в результате астрономических факторов могло выступить в качестве триггера для начала процесса таяния льдов. В настоящее время таким триггером является рост эмиссии CO₂, что приводит к повышению, как глобальной температуры, так и в значительной степени и температуры всей арктической области. Палеоклиматические реконструкции для теплых эпох прошлого, когда глобальная температура превышала современную на 1.0-1.5°C, площадь морского льда значительно сокращалась и постоянный морской лёд превращался в сезонный. Относительно небольшие изменения приходящей солнечной радиации в весенне-летнее время выступали в роли триггера для начала таяния. В настоящее время эмиссия CO₂ может выступить в роли триггера для начала процесса таяния морских льдов в Арктике. Таким образом, можно предположить, что запущен механизм замещения многолетних льдов сезонными, что является естественным состоянием перехода от сезонных льдов к следующему этапу, этапу безлёдной Арктики. Если предположить, что рост концентрации CO₂ в атмосфере будет продолжаться, несмотря на принимаемые меры его ограничения, радиационный форсинг может приблизиться к удвоению его концентрации, может осуществиться один из сценариев, имевших место в прошлом.

Rapid reduction of the sea ice area in the Arctic basin in the current decades is caused by their reaction to an increase in the global temperature. Sea ice is the excellent indicators of the state of global climatic system both in the historical time and at present time. Paleoclimatic reconstructions for the warming in the past, when global temperatures exceeded present one to 1.0 -1.5°C, showed that the area of sea ice was decreased strongly, and perennial ice cover changed into seasonal. Relatively small changes in the incoming solar radiation during the spring-summer time due to the orbital factors played the role of trigger for the beginning of the melting process during the warming of the Pleistocene. At present the CO₂ emissions may be played a role of trigger for the beginning of the melting process of the sea-ice in the high Arctic. Thus is, it can be assumed that started the mechanism of the replacing the perennial sea ice by seasonal, what is the natural process transition from seasonal sea ice to the following stage, the stage of the ice-free Arctic. If one assumes that an increase in the

concentration CO₂ in present time will continue, in spite of adopted measures for the reduction of the emission of greenhouse gases into the atmosphere, and radiation forcing will approach to the value, characteristic for the doubling of the CO₂ content, can be carried out one of the scenarios, which occurred in the past.

Морские льды являются прекрасными индикаторами состояния глобальной климатической системы, как в историческое время, так и в отдаленном прошлом. Спутниковые данные показали, что за последние 40 лет в отдельных частях Северного Ледовитого океана (СЛО) площадь их в летнее время сократилась вдвое при одновременном уменьшении толщины льда. Анализ исторических данных показывает, что современное сокращение площади и толщины морских льдов в Арктике является беспрецедентным за последние 1450 лет (Kinnard et al., 2011). Совершенно очевидно, что столь значительное сокращение площади морского оледенения связано с повышением за последние десятилетия глобальной температуры, причем увеличение температуры воздуха в высоких широтах, севернее 65°с.ш., более чем в 2 раза превышает изменение глобальной температуры.

Уменьшение площади морских льдов в СЛО оказывает влияние на энергетический обмен между атмосферой и океаном, на глубинную, термохалинную циркуляцию и, в конечном счете, определяет условия увлажнения и гидрологический цикл в высоких широтах. В связи с ростом глобальной температуры, увеличение которой будет сохраняться и в ближайшие десятилетия, возникает вопрос о возможности сокращения площади морских льдов до минимальной величины и превращения части Арктического бассейна в регион с преобладанием сезонного ледяного покрова. Оценки, сделанные по моделям климата, показывают, что сокращение площади льдов в конце летнего сезона до минимальных значений может иметь место при повышении глобальной температуры на 2°С (Mahlstein, Knutti, 2012; Olerland, Wang, 2013; Notz, Stroeve, 2016, 2018).

Наряду с модельными оценками, альтернативные данные о состоянии морского оледенения в высоких широтах, можно получить из палеоклиматических материалов. Появление новых косвенных свидетельств, в частности, морских кернов с высокой степенью временного разрешения, датированных радиоуглеродным методом, показало, что во время потепления раннего голоцена количество морских льдов в Арктическом океане сильно сокращалось. Причиной сокращения площади морского оледенения в раннем голоцене (между 10 и 7 тыс. лет назад) могло быть увеличение в приходе летне-весенней солнечной радиации в результате астрономических факторов. Эти изменения могли выступать в качестве триггера для начала процесса таяния льдов, в дальнейшем процесс усиливался благодаря изменению альбедо, и со временем наступил период, когда лед перешел в неустойчивое состояние.

В настоящее время в качестве такого триггера может выступать рост эмиссии CO₂ и возможно метана, что приводит к повышению, как глобальной температуры, так и в значительной степени и температуры всей арктической области. Оценки, приведенные в работе (Stroeve and Notz, 2018) показали, что сокращение площади морского оледенения в Арктике прямо следует за увеличением выбросов CO₂ в атмосферу. Авторы оценивают количество CO₂, которое поступило в атмосферу с 1850 года, равным 1600 Гигатонн (Gt), причем, скорость поступления CO₂ в атмосферу в настоящее время составляет 40 Gt в год. При таких темпах роста CO₂ арктический лёд может перейти в неустойчивое состояние, если в атмосферу поступит дополнительно еще 1000 Gt CO₂ (Notz, Stroeve, 2016).

Как показали палеоклиматические реконструкции, во время потепления среднего голоцена между 7- 5 тыс.лет назад, когда глобальная температура превышала температуру конца 19 столетия на 1°С, площадь морского оледенения по косвенным данным была значительно меньше современной.

Как показали спутниковые наблюдения, в 2015 году отмечалась рекордно низкая площадь морских льдов в зимнее время, причем максимум площади льда сместился на более раннее время и наступил на 15 дней раньше по сравнению с базовым периодом 1981-2010 гг. Известно, что зимние колебания площади льдов являются наилучшими индикаторами современного глобального потепления. Таким образом, можно предположить, что уже запущен механизм замещения многолетних льдов сезонными, что является естественным состоянием перехода от сезонных льдов к следующему этапу, этапу безлёдной Арктики. Если предположить, что рост концентрации CO₂ в атмосфере будет продолжаться, несмотря на принимаемые меры его ограничения, радиационный форсинг может приблизиться к удвоению его концентрации, и в этом случае может осуществиться один из сценариев, имевшей место в прошлом.

ОПЫТ ДЕСЯТИЛЕТНЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

С.В. Бубенчиков, Ф.И. Лобанов

Валдайский филиал ФГБУ «ГГИ», г. Валдай, Россия

EXPERIENCE OF TEN YEARS OF USE OF AUTOMATED HYDROMETEOROLOGICAL COMPLEXES AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USE

S.V. Bubenchikov, F.I. Lobanov

The Valdai branch of the STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE, Valdai, Russia

В данном докладе приводится обзор гидрометеорологического оборудования, эксплуатировавшегося Валдайским филиалом "ГГИ" за последние 10 лет и даются рекомендации по работе с этими приборами.

This report provides an overview of the hydrometeorological equipment operated by the Valdai branch of GGI over the past 10 years and provides recommendations for working with these instruments.

Современные требования гидрометслужбы дают новые задачи: большее количество измеряемых параметров и большая частота измерений, передаваемые в реальном времени, что не позволяют ручные измерения. Современные технологии позволяют это реализовать в полной мере.

Валдайский филиал ФГБУ «ГГИ» одним из первых, благодаря трехстороннему соглашению между производителем гидрометеорологического оборудования ОТТ HydroMet (Германия), его эксклюзивным представителем в РФ - компании ООО «КНТП» и ВФ ФГБУ "ГГИ" стал проводить испытания цифрового оборудования и использовать его. Производились испытания различных цифровых уровнемеров, даталоггеров, осадкомеров и других гидрометеорологических приборов. Мы научились работать с данным оборудованием, обслуживать его, а также передавать, принимать и обрабатывать данные от него. Одним из основных направлений в нашей работе является испытание и взаимосравнение осадкомеров на базе осадкомерного полигона.



Рис. 1 . Общий вид осадкомерного полигона ВФ ФГБУ «ГГИ»

Взаимосравнение производилось с применением различных ветровых защит осадкомеров (кустовой, Альтера, Третьякова, двойной заборной защиты и без нее), с применением обогрева приемного отверстия осадкомера в зимний период и без него. Эталоном является осадкомер Третьякова в кустовой защите. В процессе взаимосравнения, помимо определения достоверности и точности показаний количества выпавших осадков, оценивается стабильность работы осадкомера, анализ причин возникновения ошибок в работе прибора при их наличии, влияние на показания той или иной ветрозащиты или различные параметры функций обогрева. Оценивается

простота и периодичность технического обслуживания, а также количество сбоев в работе. Неотъемлемой частью любого цифрового осадкомера или уровнемера является контроллер сбора и передачи данных измерений, поэтому нам пришлось научиться работать с ними и обслуживать их. Так как насколько бы не был хорош прибор, неправильно настроенный регистратор данных может быть причиной сбоев в опросе прибора или при передаче данных измерений. За последние десять лет были испытаны следующие осадкомеры:

1. Seba RG50
2. Geonor T-200
3. OTT Pluvio² 200/400
4. Vaisala VRG 100
5. Осадкомер OVB
6. Датчик осадков LA-15189 (Мераприбор)

Каждый осадкомер показал как свои достоинства так и свои недостатки.

Так хорошего качества осадкомер Seba требует частого обслуживания, связанного с конструктивной особенностью осадкомеров данного типа, а именно, необходимо своевременно очищать приемную воронку от листьев, насекомых и прочего мусора. Данный осадкомер с очень большой погрешностью фиксирует твердые осадки, т.к. обогрев воронки приводит к сильному испарению и создает восходящий поток теплого воздуха над приемной поверхностью осадкомера. Осадкомер неспособен фиксировать осадки с очень малой интенсивностью, это связано с тем, что перекидка челнока происходит при накоплении 0.1 мм и при высокой температуре окружающей среды осадки испаряются быстрее чем успевают накопиться. Замечено и разбрызгивание при очень высоких интенсивностях осадков.

Осадкомер Geonor T-200 в силу своей конструкции (емкость для сбора атмосферных осадков подвешена на датчиках нагрузки с частотными выходами) периодически фиксировал осадки, когда фактически их не было. Ложные срабатывания были вызваны вибрациями осадкомера при сильных порывах ветра. Комплектация нашего осадкомера не предусматривала дополнительного программного обеспечения, способного фильтровать ложные срабатывания датчиков. К плюсам этого осадкомера можно отнести стабильность его работы. К минусам – вышеупомянутые ложные срабатывания при сильных порывах ветра, а также малый объем приемного резервуара для накопленных осадков.

Весовой осадкомер OTT Pluvio² 200 проходил испытания на протяжении нескольких лет. При этом использовались различные ветрозащиты (Альтера, Третьякова, двойная заборная ветрозащита) и разные методы передачи данных измерений. Изначально данные измерений передавались с помощью передатчика Adcon RTU 750 на сервер сбора данных производителя прибора. Осадкомер и передатчик были укомплектованы компактной системой автономного энергообеспечения. Впоследствии был выявлен недостаток питания, связанный с коротким световым днем в наших широтах в зимний период. Осадкомер был переоснащен регистратором данных и системой питания, что исключило перебои получения информации об осадках. При детальном анализе полученных измерений, было замечено, что осадкомер периодически выдавал фиксированную величину выпавших осадков в количестве «0,23» мм. Было обнаружено, что в это время другие осадкомеры не фиксировали выпадение осадков, и данная ошибка имеет системный характер. Более детальный анализ сопутствующих метеорологических параметров во время фиксации ложных осадков выявил закономерность: ложные срабатывания происходят во время резкого потепления или похолодания окружающей среды. Наши замечания по данному вопросу были переданы производителю осадкомера, который в свою очередь предпринял шаги по устранению этой ошибки и разработал специальный алгоритм для подавления температурных ошибок вызванных высоким положительным градиентом температуры. Данный алгоритм реализован в последующих версиях программного обеспечения осадкомеров. Также по нашим замечаниям был доработан интеллектуальный алгоритм обогрева осадкомера. По итогу испытаний данный осадкомер охарактеризовал себя исключительно с положительной стороны. К плюсам можно отнести высокую надежность прибора, точность измерений и простоту технического обслуживания один раз в год. Недостатки в виде ложных срабатываний были устранены производителем.

В зимний период проходил испытание весовой осадкомер Vaisala VRG101. С самого начала мы столкнулись с проблемой подключения данного осадкомера к регистраторам данных

сторонних производителей. После серии неудачных попыток было принято решение подключить к регистратору данных Vaisala. В целом прибор отработал более девяти месяцев без перебоев. Один раз был замечен всплеск интенсивности выпавших осадков 95 мм/ч связанный с сильными порывами ветра до 15 м/с. Осадкомер имеет большой приемный резервуар для выпавших осадков, что позволяет проводить техническое обслуживание прибора один/два раза в год.

Всепогодный весовой осадкомер и датчик осадков LA-15189 из-за некорректной работы регистраторов данных не позволили в полной мере провести испытания. Частые сбои в передаче данных послужили потерей большей части измерений, что исключило возможность взаимосравнения с эталоном. Попытки производителей устранить эти недостатки не привели к улучшению ситуации.

Также на испытательном осадкомерном полигоне проходил испытание оптический датчик типа атмосферных осадков OTT Parsivel. Parsivel является оптической системой на основе лазера, предназначенной для полного и надежного измерения осадков любого рода. Обеспечивается измерение жидких частиц осадков размером от 0,2 до 5 мм и твердых частиц осадков размером от 0,2 до 25 мм. При этом частицы осадков могут иметь скорость от 0,2 до 20 м/с. Частицы осадков подразделяются на следующие виды осадков: морось, морось с дождем, дождь, морось со снегом, снег, зернистый снег, мелкий град/снежная крупа и град. Измерение осадков осуществляется с помощью специальной сенсорной головки, разработанной для выполнения этой задачи. Головка выполняет оптическую регистрацию осадков. Определенные таким образом данные обрабатываются быстродействующим цифровым процессором обработки сигналов и заносятся в память. Датчик Parsivel отправляет телеграмму данных каждые 30 секунд. Наш опыт показал высокую точность определения типа осадков этим датчиком. Однако, использовать этот датчик как средство измерения количества выпавших осадков с высокой точностью невозможно из-за достаточно большой погрешности ($\pm 5\%$ для жидких и $\pm 20\%$ для твердых осадков). Но, в связке с осадкомером OTT Pluvio2 200 комплекс является отличным инструментом для решения задач связанных высокоточными измерениями количества и типа выпадающих атмосферных осадков.

Помимо взаимосравнения осадкомеров, Валдайский филиал ФГБУ «ГГИ» занимается проведением испытаний гидрологического оборудования. За последние несколько лет проходили испытания уровнемеры фирмы OTT HydroMet:

- OTT PLS – гидростатический уровнемер
- OTT CBS – барботажный уровнемер
- OTT RLS – радарный уровнемер
- OTT SE200 – поплавковый уровнемер

Гидростатический, барботажный и поплавковый уровнемеры были установлены в гидрологические колодцы. За все время испытаний, непосредственно уровнемеры не вызывали нареканий. В процессе испытаний выявлялись и устранялись недочеты при установке уровнемеров, а также дорабатывались сами колодцы. Например, неправильно заложенная трубка барботажного уровнемера была причиной недостоверных данных, или замерзание испарений из колодца в зимний период на колесе поплавкового уровнемера было причиной его фиксации в одном положении до наступления оттепели. Правильная укладка трубки барботажного уровнемера и термоизоляция колодца устранили вышеупомянутые недочеты. Радарный уровнемер был установлен на эстакаде на гидрологическом полигоне в с. Яжелбицы, и также показал исключительно положительные результаты. Единственным минусом данного уровнемера является невозможность измерения уровня в зимний период из-за ледовых явлений.

Таким образом, надежность, точность и безотказность приборов в большей степени зависит не от самих приборов, а от организации питания и передачи данных, установки и обслуживания. Необходимо анализировать покрытие сотовых сетей в местах установки приборов, правильно подходить к выбору оператора сотовой связи, в случае необходимости дооснащать передатчики данных внешними антеннами. Использование периферийного оборудования производителя самого прибора, либо рекомендованное им, будет более правильным выбором, так как оно гарантированно должно работать с приборами. Желание сэкономить при использовании даталоггера стороннего производителя может привести к отказам и нестабильной работе всего комплекса в целом.

По итогу десятилетней практики использования цифровых гидрологических и метеорологических приборов мы твердо можем сказать, что научились работать с ними, обслуживать это оборудование, обрабатывать данные измерений и готовы давать рекомендации по их применению.

ФОРМИРОВАНИЕ ОПРЕСНЕННЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ ОСОЛОНЕНИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ

Д.С.Бурлачко, Т.И.Подмарева, Е.А.Безрукавая, А.Д.Фролова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону, Россия

FORMATION OF DESALED ZONES IN THE CONDITIONS OF SALINATION OF THE AZOV SEA

[D.S. Burlachko](#), [T.I. Podmareva](#), [Ye.A. Bezrukavaya](#), [A.D. Frolova](#)

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Azov-Black Sea branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”), Rostov-on-Don, Russia

Аннотация: На примере ситуаций 2018 и 2019 гг. рассмотрены особенности формирования опресненных зон в Азовском море в условиях роста солености, связанного с наступлением маловодного цикла водности р. Дон

Abstract: Exemplified by the situations observed in 2018 and 2019, some specificities have been considered of the formation of desalinated zones in the Sea of Azov under conditions of increasing water salinity caused by the onset of the low-water cycle of the Don river.

Исключительно важное значение при проведении гидрологического мониторинга Азовского моря имеет исследование площадей опресненных зон как одного из наиболее значимых компонентов экосистемы. Так называемые опресненные зоны формируются на участках устьевых взморий рек Дона (Таганрогский залив) и Кубани (Темрюкский залив) при смешении морских и речных вод. В условиях различной эвриголиности гидробионтов опресненные зоны являются буферной средой для адаптации скатывающейся из рек и лиманов молодежи проходных и полупроходных рыб. По материалам исследователей «АзНИИРХ» [1,2,3], благоприятными для жизнедеятельности молодежи большинства проходных и полупроходных видов рыб являются зоны с соленостью менее 4-7 ‰, а для взрослых особей – не выше 11 ‰. Пространственное расширение зон с соленостью выше 12 ‰ на акватории Азовского моря приводит к таким негативным последствиям, как возрастание масштабов проникновения различных черноморских мигрантов: микроводорослей, зоопланктона, бентосных животных, рыб и пр. [4]. Результаты исследований [5,6] указывают на влияние размеров зон с соленостью менее 9 ‰ и на популяцию акклиматизанта Азовского моря – пиленгаса.

В работе использованы материалы сезонных (весна, лето, осень) экспедиционных исследований «АзНИИРХ», а также данные специального изучения площадей опресненных зон на устьевом взморье р.Кубань. Методика определения площадей опресненных зон изложена в работах [5,7,8].

Исследования, проведенные на Кубанском взморье и Таганрогском заливе [9], показали, что параметры опресненных зон, локализующихся у устьев основных речных рукавов и у наиболее крупных лиманных гирл, зависят от ряда взаимодействующих факторов с коротко- и долгопериодными колебаниям. Из них к менее инерционным можно отнести динамику струй, поступающих на взморье, и ветровую активность (сгонно-нагонные

явления). Другая группа факторов включает сезонные и межгодовые колебания речного стока и солености воды в Азовском море. В Таганрогском заливе, принимающем сток р. Дон, стоковые течения формируются по схеме, типичной для отмелого взморья с постепенным замедлением скоростей потока, направленного вглубь залива. При этом довольно узкая поперечная форма залива и преобладание над акваторией ветров северо-восточных румбов способствуют постепенному увеличению солености воды с востока на запад. Сгонно-нагонные явления изменяют границы участков смешанных вод: при нагонах опресненные зоны уменьшаются, при сгонах - увеличиваются.

Ведущим фактором формирования солености Азовского моря, является материковый сток [8]. Наибольший вклад вносит сток реки Дон, составляющий в среднем за период зарегулирования (1952-2019 гг.) около 21 км³.

В связи с наступившим маловодным циклом водности реки Дон (с 2007 г.), в Азовском море отмечается тенденция (осолонения) роста среднегодовых значений солености с 9,29 ‰ в 2006 г. до 13,94 ‰ в 2019 г., являющейся максимальной среднегодовой величиной солености (рекордным значением) за период 1922-2019 гг. Одновременно констатируется и закономерное сокращения опресненных зон в градациях до 4, 7 и 11 ‰. Так, в 2006 г. ареалы солености до 4, 7 и 11 ‰ соответственно составляли 2,13; 4,77 и 37,8 тыс. км², а в 2019 г. их размеры оценивались значениями 0,89; 1,75 и 3,11 тыс. км². Очевидно, что, если в 2006 г. вся акватория Азовского моря (площадью 37,8 тыс. км²) характеризовалась соленостью ниже 11‰, то в современный период (2007-2019 гг.) ареал солености 11‰ и ниже сохраняется, в основном, в Таганрогском заливе, а изогалины солености до 4 и до 7 ‰ располагаются в его восточной части. Наиболее неблагоприятный режим солености отмечался в Таганрогском заливе в 2015 г., когда годовой объем стока р. Дон составлял всего 10 км³, являясь минимальным значением из наблюдаемых за период зарегулированного режима. При этом опресненные зоны в градациях солености до 4 ‰ характеризовались площадью 0,45 тыс. км², значение которой также является абсолютным минимумом.

Зависимость солености от стока наглядно отражает ситуация формирования опресненных зон в Таганрогском заливе в 2018 г., когда весенне-летний (март-июль) сток р. Дон (у ст-цы Раздорской) почти на 6 км³ превышал среднемноголетнюю величину стока зарегулированного режима (1952-2017 гг.). Это способствовало формированию в Таганрогском заливе, особенно в летний период, опресненных зон, превышающих по площадным характеристикам показатели предшествующего четырехлетия, формирующихся при более низких объемах стока. Максимального снижения (по сравнению с 2017 г.) достигла соленость Таганрогского залива в июне-июле, когда ареал солености до 7 ‰ составлял чуть менее 2,5 тыс. км². Зоны с соленостью до 1-2 ‰ формировались только в июне и июле, но по площади составляли 667-904 км² (таблица 1).

Определенного внимания заслуживает ситуация формирования опресненных зон в условиях сгонных явлений редкой повторяемости. В низовье р. Дон и Таганрогском заливе Азовского моря в период 20-26 ноября 2019 г. в результате длительного действия (с 15 ноября) ветров северо-восточных румбов со скоростью до 21-30 м/с отмечался мощный сгон воды и существенные понижения уровни воды в низовье Дона и Таганрогском заливе. Происшедшее обмеление Таганрогского залива (в восточной части залива урез воды ушел более чем на 1,5 км от береговой черты, обнажив дно залива) привело к сокращению ареала обитания ихтиофауны, вытеснив рыбу на относительно глубоководные участки реки Дон, Таганрогского залива и собственно моря. При этом

соленость воды в восточной части залива снизилась до 1,5-2,0 ‰. Площадь «осушенной» территории Таганрогского залива (рисунок 2) составляла около 40 км². Со сменой направления ветра 27 ноября 2019 г. при заполнении залива в основном, более солеными водами собственно моря, например, в районе Ейска соленость воды достигала 11,07‰, и опресненные зоны с соленостью ниже 4-7 ‰, по всей вероятности, занимали лишь небольшие по площади пространства на востоке Таганрогского залива.

Таблица 2. Размеры опресненных зон в Таганрогском заливе, 2018 г.

Ареал солености, ‰	Площади зон, км ²			
	июнь	июль	август	октябрь
1	667,1	-	-	-
2	903,7	902	-	-
3	1105,7	1025	214,9	536,8
4	1431,5	1221	657,1	778,7
5	1772,3	1648	884	819,9
6	1943	2123	1024,8	1014,54
7	2029,1	2420	1182	1345,4

Рисунок

Пространственное распределение солености Таганрогского залива (‰), 2018 г.



Рис. 1.: а) Спутниковая карта Таганрогского залива Азовского моря 24 ноября 2019 г.; б) Обнаженное дно Таганрогского залива [10]

В Азово-Кубанском рыбохозяйственном районе в 2018 г. кратковременное формирование опресненных зон с соленостью до 7 ‰, достигающих по площади более 400 км², отмечалось только в мае (рисунок 1). Уже в июле ареалы с соленостью, равной или меньше 10 ‰, составляли всего 12 км². Зоны с соленостью до 4 ‰ формировались только на небольшой площади (около 0,5 км²) в районе Пересыпского гирла и на площади (около 3,5 км²) на небольшом удалении вглубь моря от устья рукава Протока (рисунок 2).

По сравнению с данными майской съемки, в июле условия для нагула молоди, скатывающейся из азовских лиманов Краснодарского края, в значительной мере ухудшились. Площади зон с соленостью до 10 ‰ сократились в 85, а до 4 ‰ – в 35 раз.

Сокращение опресненных зон связано, главным образом, не только с изменением кубанского стока (объем которого в июне и июле составлял соответственно 1,84 и 1,68 км³), сколько с воздействием ветров, поджимающих водные массы южного, Кубано-Ахтарского и Кубано-Темрюкского районов моря к береговой линии.

Быстрая изменчивость структуры полей солености на кубанском устьевом взморье является характерным явлением для этого района, испытывающего влияние водных масс как со стороны Азовского моря и близко расположенного Керченского пролива, так и стоковых течений рек Кубань и Протока, водообмена с азовскими лиманами Краснодарского края, смены ветровых ситуаций.

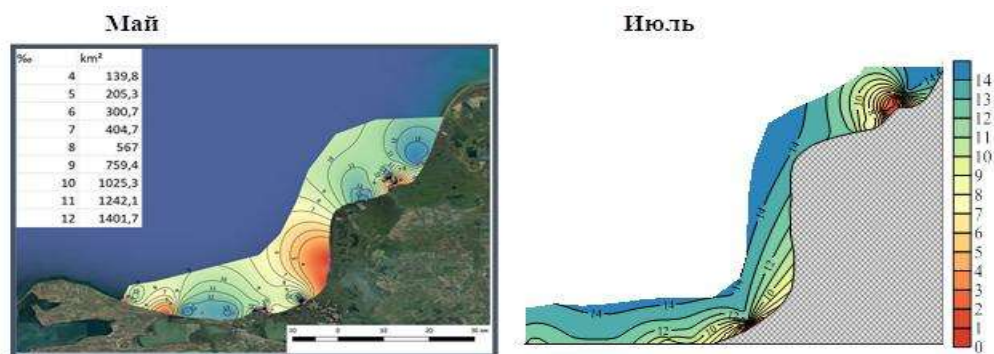


Рис. 2. Пространственное распределение солености на устьевом взморье р. Кубани и расчетные значения площадей опресненных зон, май, июль 2018 г.

Таким образом, в условиях климатообусловленного формирования маловодного цикла в изменении годового стока р. Дон, начиная с 2007 г., в Азовском море отмечается существенное сокращение ареалов обитания водных биологических ресурсов, предпочтительная соленость воды для которых составляет 4-7 ‰. Особенно это характерно для Таганрогского залива Азовского моря, традиционно выполняющего роль буферного водоема для адаптации молоди проходных и полупроходных рыб Азово-Донского рыбопромыслового района.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аведикова Т.М., Баландина Л.Г., Воловик С.П., Иванченко И.Н., Корнеев А.А., Кукарина Л.В., Луц Г.И., Рогов С.Ф. Влияние океанографических факторов на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря. // *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*. Т.5. Л.: Гидрометеоиздат 1991, С. 209-215.
2. Бронфман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря // М.: Пищевая промышленность, 1979. С. 103.
3. Куропаткин А.П. Особенности гидрологического режима и рыбопродуктивность Азовского моря // *Проблемы современной гидрометеорологии и геоэкологии*. Мин. обр. и науки РФ, РФ РГГМУ, Ростовна-Дону, 2007. С.89-92.
4. Закутский В.П., Куропаткин А.П., Гаргопа Ю.М. Перспективная оценка численности и биомассы медузы в Азовском море по уровню осолонения. // *Гидробиол. ж.*, 1988. Т. 24. С. 18.
5. Куропаткин А.П. Ретроспективные изменения и прогноз пространственной структуры поля солености Азовского моря // *Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море*. РАН, 2001. С. 72-77.
6. Куропаткин А.П., Жукова С.В., Шишкин В.М., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И. Влияние условий среды обитания на развитие популяции пиленгаса. в Азовском море // *Генетические и вероятностные методы в гидрологии проблемы развития и взаимосвязи*. РАН. ИВП РАН, Одесский ГЭИ. М., 2009. С. 233-240.
7. Куропаткин А.П. Исследования изменений пространственно-временной структуры полей солености в

- Азовском море // Ростов-на-Дону. ФГУП АзНИИРХ. 2003. С. 92-103.
8. Куропаткин А.П., Жукова С.В., Шишкин В.М., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И. Изменение солености Азовского моря // Вопросы рыболовства, 2013, том 14 №4 (56) с. 666-673
 9. Шишкин В.М. Эколого-рыбохозяйственное значение зон смешения речных и морских вод Азовского моря : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.00.16 / Азов. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва (АзНИИ РХ). - Ростов-на-Дону, 2004. - 22 с.
 10. Интернет-ресурс (URL: <https://www.yandex.ru> (Дата обращения 25 ноября 2019 г.)

РОССИЙСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО: НА СЛУЖБЕ ОБРАЗОВАНИЮ И ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ

С.Г. Быкова

Председатель Санкт-Петербургского регионального отделения Российского гидрометеорологического общества, Санкт-Петербург, Россия

RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL SOCIETY: SURVING FOR EDUCATION AND TRAINING

Svetlana Bykova

Chairman of St. Petersburg Regional Branch of the Russian Hydrometeorological Service, St. Petersburg, Russia

Представлены основные результаты работы Российского гидрометеорологического общества. Намечены основные перспективы и пути развития.

Main results of the Russian Hydrometeorological Society are presented. Future perspectives and plans are defined.

Российское гидрометеорологическое общество (РГМО) зарегистрировано 22 октября 2018 г. РГМО является основанным на членстве, добровольным, самоуправляемым, некоммерческим общественным объединением в форме общественной организации, созданным по инициативе граждан России. В состав РГМО входят более 600 членов общества. Среди них большинство — это представители Росгидромета, Министерства обороны и учебных заведений.

В руководящий состав РГМО входят:

- А.И. Бедрицкий - Президент РГМО, почетный Президент Всемирной метеорологической организации, канд. геогр. наук;
- М.Е. Яковенко - первый вице-президент, руководитель Росгидромета;
- А.А. Макоско - вице-президент, заместитель главного учёного секретаря президиума РАН, член-корр. РАН, д-р техн. наук, проф.,
- В.В. Удриш - вице-президент, начальник Гидрометеорологической службы Вооруженных Сил РФ.

Основными целями Общества являются:

1. Содействие развитию гидрометеорологической науки и практики.
 - Развитие гидрометеорологии и смежных наук, научное творчество, распространение и внедрение в практику достижений отечественной науки; Практическое использование достижений гидрометеорологии и смежных отраслей знаний;
 - Получение, анализ и распространение достоверных общемировых и национальных климатических, гидрометеорологических сведений в России и за рубежом;
 - Организация экспертной и аналитической деятельности по тематике РГМО;
 - Организация экспедиционной деятельности по тематике РГМО.
2. Содействие развитию образовательной, исследовательской деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях;
 - Улучшение качества гидрометеорологического образования;
 - Научная и исследовательская деятельность по тематике РГМО;
 - Внедрение в педагогическую практику результатов научных исследований в области гидрометеорологии и смежных отраслей знаний, а также разработка и внедрение перспективных образовательных программ;
 - Проведение экспертиз учебных, учебно-методических материалов, произведений научной, научно-популярной и художественной литературы и материалов в области гидрометеорологии и смежных отраслей знаний;
 - Оказание помощи научным работникам и другим специалистам в области гидрометеорологии и смежных отраслей знаний в осуществлении научных исследований, а также в повышении их квалификации;

- Развитие молодежного движения РГМО, работа с молодежью;
- Грантовая деятельность.

№ п/п	Сфера деятельности	Кол-во членов
1.	Росгидромет	503
2.	Администрация Президента Российской Федерации	1
3.	Минобороны России: <ul style="list-style-type: none"> • Управление навигации и океанографии МО • Гидрометслужба ВС • Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия» МО РФ • Войска (в/ч 75354, в/ч 75354) • «3 ЦНИИ» Минобороны России • 373 центр Военно-Морского Флота • Институт военной истории 	28
4.	МЧС России	1
5.	Роскосмос	2
6.	Российская академия наук	1
7.	Учебные заведения: <ul style="list-style-type: none"> • МГУ • РГГМУ • МГТУ ГА (Московский государственный технический университет гражданской авиации) • Башкирский университет • Рязанский государственный университет им. Е.С. Есенина • Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова • Московский гидрометеорологический техникум 	92
8.	Другие организации: <ul style="list-style-type: none"> • АО «Судоэкспорт», • АО «Концерн Вега» • АО НИИ телевидения • ООО «НПЦ «Мэп Мейкер» • НПК МАРС АО «НПП «Радар ммс» • АО «Корпорация «ВНИИЭМ» • РУСАЛ • Вайсала 	9
Итого (по состоянию на 1 октября 2019 г.):		637

Рис. 1. Состав РГМО

В ноябре 2018 г. был создан Первый молодежный клуб РГМО на базе Московского Гидрометеорологического Колледжа.

9 октября представители РГМО выступали с докладами на Ассамблее Росгидромета посвященной 185-летию Гидрометслужбы РФ.

Ввиду выставки при Ассамблее, РГМО представило информативный стенд, который пользовался большой популярностью.

Более того, на стенде были представлены свежее опубликованные книги. Начальник Центрально-Черноземного УГМС В.В. Потапов презентовал книгу, посвященную памяти организатора и первого руководителя Единой гидрометеорологической службы СССР, профессора МГУ А.Ф. Вангенгейма. Заслуженный метеоролог РФ Ирина Паромонова, анонсировала книгу о редкой профессии метеоролога, рассказав доступным языком школьникам начальных классов о погоде, круговороте воды в природе.

Наиболее успешное направление деятельности общества — это популяризация гидрометеорологии в целом.

14-15 марта 2019 г. Президент РГМО А.И. Бедрицкий принял участие во Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации». Конференция была организована и проведена Российским государственным гидрометеорологическим университетом (РГГМУ) при поддержке Законодательного собрания Санкт-Петербурга (ЗАКС).

На торжественном открытии Конференции А.И. Бедрицкий выступил с приветственным словом. На Пленарном заседании конференции были рассмотрены вопросы социально-экономического развития, а также профессиональной подготовки кадров в России. А.И. Бедрицкий, выступил с докладом «О формировании комплексного информационного обеспечения климатической деятельности», отметив необходимость «создания комплексной информационной основы, связанной с наблюдениями, исследованиями и использованием климатических данных для решения задач социально-экономического развития».

Во Всемирный День метеоролога—23 марта, председатель Санкт-Петербургского отделения РГМО и другие члены общества совместно с преподавателями и студентами кафедры климатологии Санкт-Петербургского государственного университета (Институт Земли) обсудили темы: климат и его изменения, влияние изменения климата на авиацию, загрязнения и антропогенное влияние. В формате квеста была изучены страницы из жизни профессора А.Ф. Вангенгейма.

С 4 по 7 июля по инициативе членов Самарского регионального отделения Российского гидрометеорологического общества впервые было организовано специализированное гидрометеорологическое обеспечение крупного массового мероприятия - 46-го Грушинского фестиваля авторской песни. Фестиваль собрал более 23 тысяч участников и гостей. На территории фестивальной поляны был обустроен «Метеогородок»: развернута автоматическая метеостанция, установлен информационный экран, вывешены тематические баннеры и поднят флаг Росгидромета. На экране отражалась фактическая погода, температура воды на ближних водоемах и состояние радиационного фона, а также прогноз погоды в месте проведения фестиваля. Оперативная группа молодых специалистов Приволжскгидромета на месте 24 часа в сутки следила за развитием метеобстановки по показаниям приборов и метеолокаторов, готовила оперативные информационные бюллетени и наполняла данными специальный раздел официального сайта

15 октября этого года, в Русском Географическом обществе прошло заседание Комиссий по Метеорологии и Медицинской Географии и Санкт-Петербургского отделения РГМО. Были подняты темы:

- Истории образования Гидрометслужбы в России;
- История образования авиационной метеорологии;
- влияния климата на авиацию;
- деятельность авиаметеорологического центра «Пулково».

Важным направлением является Международная деятельность РГМО. Развитие отношений и обмен опытом с гидрометеорологическими сообществами в других странах, являются наиболее приоритетными задачами общества.

Президент общества РГМО Бедрицкий А.И., члены общества приняли участие в пятом Международном арктическом форуме «Арктика— территория диалога». Президент представил доклад на тему “ Роль возобновляемых источников энергии и укрепление гидрометеорологической и экологической безопасности для устойчивого развития Арктики”

3-5 октября прошла Международная научно-практическая конференция «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы», в которой принял участие Президент РГМО А.И. Бедрицкий.

Конференция проходила базе факультета географии, геоэкологии и туризма и при участии Воронежского отделения Русского географического общества (РГО). Актуальность проведения конференции определена возрастанием внимания научной общественности и метеорологов-практиков к осмыслению фундаментальных причин, последствий и прогнозных моделей глобальных климатических изменений, происходящих в различных регионах России и мира.

На 21-м Международном научно-промышленном форуме "Великие реки-2019», Президент общества поднял вопрос о том, что России необходима стратегия низкоуглеродного развития.

РГМО поддерживает действия государства и деловых кругов, которые защищают жизни людей и имущество от экстремальных погодных условий и укрепляют устойчивость социально-экономической и экологической сферы страны к изменению климата.

И в заключение хочется напомнить слова Президента РГМО ко Всемирному Метеорологическому дню:

«РГМО стремится к консолидации усилий гидрометеорологического сообщества, объединяющего специалистов, ученых и практиков, работающих в гидрометеорологической службе страны, вооруженных силах России, государственных организациях многих секторах экономики, учреждениях фундаментальной, отраслевой и ВУЗовской науки, высших и средних учебных заведениях, компаниях частного сектора, выпускающих информационную продукцию, технологии и приборы гидрометеорологического назначения».

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО СТОКА ДОНСКОГО БАССЕЙНА

Варенцова Н.А.^{1,2}, Киреева М.Б.¹, Харламов М.А.¹

¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, ²ФГБУ «Центральное УГМС», Москва, Российская Федерация

NATURAL ORTHOGONAL COMPONENTS AS A METHOD OF STUDYING THE PROCESS OF THE SPRING FLOW GENERATION IN THE DON'S RIVER BASIN

Varentsova N.A.^{1,2}, Kireeva M.B.¹, Kharlamov M.A.¹

¹Lomonosov Moscow State University, ²FSBI SAHEM, Moscow, Russian Federation

Описаны результаты применения метода естественных ортогональных функций при анализе весеннего стокоформирования в условиях изменения климата, когда наблюдаются процессы изменения действующих факторов.

The results of the application of natural orthogonal function's method are described in the analysis of spring runoff generation under conditions of climate change with the changing of factors.

Половодье – многофакторный процесс, определяемый целым комплексом взаимосвязанных во времени и пространстве природных процессов, к которым относятся поступление воды на поверхность бассейна за счет таяния снега и жидких осадков, процессы поверхностного задержания и поглощения, процессы склонового и руслового стекания. Их сложность определяется протеканием на обширных территориях в условиях неоднородности и многообразия физико-географической среды, а также неравномерностью во времени [5].

Под воздействием климата на формирование талого стока и его объем оказывают влияние постоянные и относительно постоянные факторы – факторы подстилающей поверхности, такие как морфометрические особенности водосбора, густота и рисунок русловой сети, продольные уклоны, орография, геологическое строение, почвенно-растительный покров, озёрность и заболоченность. Степень постоянства их действия находится в прямой зависимости от антропогенной деятельности. При переходе от локальных прогнозов для участков русел рек к водосборам увеличивается значимость неоднородности стокоформирующих факторов в пространстве и их стационарности во времени.

Наблюдаемые в последние десятилетия изменения климата, в целом, характеризующееся ростом зимних температур и увеличением повторяемости экстремальных погодных явлений, ведут к изменению характеристик речного стока как в пределах европейской части России, так и в пределах бассейна р. Дон в частности. Дополнительное воздействие на этот процесс оказывает и антропогенное воздействие. Так, в работах [1; 7; 11] указывается на существенную деградацию весеннего половодья, увеличение меженного стока и рост интенсивности засух. Не столь очевидным, но существенным последствием климатических и антропогенных изменений является снижение качества гидрологических прогнозов стока, основанных на воднобалансовых и статистических методах. Простейшие оценки указывают на значительное снижение тесноты

связи половодного стока с основными стокоформирующими факторами, определенными в XX в. Так, коэффициент парной корреляции между слоем стока половодья и максимальными запасами воды в снеге для опорных водосборов по методике Л.К. Вершининой [2, 3] для прогноза притока воды к Цимлянскому водохранилищу в период весеннего половодья снизился от 0.6 – 0.7 до 0.2 – 0.3.

Необходимость уточнения прогностических методик ставит задачу поиска современных действующих факторов формирования весеннего половодья. Один из путей решения поставленной задачи – анализ гидрометеорологических полей, представленных естественными ортогональными составляющими (далее – ЕОС).

Пространственно-временной анализ полей элементов процесса формирования стока пришел в гидрологию из смежной метеорологической дисциплины, где почти на два десятилетия раньше осознали необходимость в подобных обобщающих функциях [4; 6, 8]. С самых первых работ В.М. Мухина, Е.С. Змиевой, В.А. Савченкова, В.А. Складенко было определено направление его применения – гидрологические прогнозы. Благодаря работа В.Ю. Визе, Г.Р. Брегмана, Г.Я. Вангенгейма, Б.М. Гинзбурга, Н.Д. Ефремовой, К.Н. Полякова наиболее прочно он укоренился в прогнозах ледовых явлений на реках и морях России, поскольку для них характерно несоответствие положения в пространстве предиктора и предиктанта. Работы по оценке применимости метода ЕОС к процессам формирования стока немногочисленны. Одной из первых стала [Юдин, Чувашина, 1972]: в ней рассмотрены возможности прогнозирования притока за II квартал к крупнейшим водохранилищам европейской части России. Первая попытка прогноза объема стока воды за половодье сделана в [10] при составлении прогноза весеннего стока в бассейне Верхней Камы на основе полей снегозапасов и весенних осадков. Следом за ней [9], дополнив перечень предикторов стоком воды в период установления снежного покрова и дефицитом влажности воздуха, предпринял попытку составления прогноза объема водного стока половодья для бассейна р. Вятки выше г. Вятские Поляны.

В XXI в. попытки применения ЕОС к прогнозированию весеннего и годового стока предпринимались в работе [Зырянова и др., 2004]. В ней проведен анализ пространственных и временных векторов, сделаны попытки их физической интерпретации и поиска корреляционных связей, но устойчивые зависимости для процесса формирования стока не получены.

При этом ни в одной работе полученные при ЕОС-анализе вектора не использовались для оценки процессов формирования явления, а также его временной изменчивости.

Задача представления ЕОС поля любой временной гидрометеорологической характеристики сводится к нахождению ковариационной матрицы, собственных чисел и собственных векторов этой матрицы и определению для каждого собственного вектора значений функции T для каждого момента времени t (временной вектор). Функции $Th(t)$ также интерпретируются как m -мерные векторы и они по аналогии с функциям $Xh(x)$ (пространственный вектор) ортогональны, что сильно упрощает процедуру выбора предикторов, т.к. по определению, они все независимы между собой.

Статистическая структура системы векторов, получаемой при разложении полей гидрометеорологических элементов, существенно отличается от структуры полей исходных данных. Поэтому теснота связи между их отдельными элементами во многих случаях не соответствует фактически наблюдаемой. Это свойство векторов ЕОС имеет большое значение для изучения процессов формирования стока и применения этих знаний в прогнозах. Установленные зависимости между $X_h(x)$ и $T_h(t)$ векторами стока и действующих факторов, по

сути, являются прямым решением задачи прогноза рассматриваемой характеристики. Поэтому результирующее уравнение стока имеет вид:

$$\tilde{Y} = c_i + \sum_{i,j=1}^{n,m} a_i \tilde{T}_{Y_i} \tilde{Y}_j, \quad (1)$$

где \tilde{Y} – прогнозируемое значение слоя стока, c_i – фоновое значение поля i -го года, a_i – временной коэффициент, \tilde{T}_{Y_i} – рассчитываемое по данным ЕОС предикторов значение временного вектора поля стока в i -м году, \tilde{Y}_j – рассчитываемое по данным ЕОС предикторов значение пространственного вектора поля стока в j -м узле сетки. Результатом вычислений является поле прогнозных значений стока во всех расчетных узлах регулярной сетки, легко поддающееся статистической оценке и картированию.

Основа ЕОС-анализа – получение собственных векторов и собственных чисел пространственно-временных полей. С математической точки зрения, они описывают дисперсию процесса, с физической – это слагающие процесс во времени и пространстве компоненты. Детальный визуальный и статистический анализ собственных векторов, а также соответствующих им собственных чисел позволяет установить главные действующие факторы. А оценка количественного вклада их в общую картину проводится на основе анализа собственных чисел, что немаловажно в условиях изменения климата и постоянно меняющейся структуры антропогенной нагрузки на речные водосборы.

В данной работе ЕОС-анализ полей гидрометеорологических элементов в бассейне Дона реализован для поля 600 на 560 км с шагом 40 км для потенциальных предикторов (запасов воды в снежном покрове, сумм положительных и отрицательных температур, сумм твердых и жидких осадков, среднемесячного стока за ноябрь предшествующего года) и непосредственно слоя весеннего стока. Для них произведены расчеты ковариационной матрицы, ее собственных векторов и чисел. Каждый вектор характеризуется соответствующим порядковым значением собственного числа поля.

Примечательно, что в подавляющем большинстве источников литературы указывается на необходимость подготовки полей гидрометеорологических элементов не в формате реальных значений, а их отклонений от средней величины поля за рассматриваемый период, как и проведено авторами в работе. Однако сравнение показало идентичность результатов, получаемых при разложении на вектора полей реальных значений для всех расчетных величин.

По результатам представления полей гидрометеорологических элементов посредством естественных ортогональных составляющих получены наборы собственных векторов и чисел, подвергнутых критическому и статистическому анализу.

Собственные числа ковариационных матриц характеризуют степень вклада каждого из векторов в формирование общей картины распределения гидрометеорологического элемента в долях от единицы. Другими словами, они описывают, какую долю общей дисперсии анализируемого поля исчерпывает каждый собственный вектор. Для бассейна р. Дон все исследуемые поля имеют собственные числа ковариационной матрицы λ_l выше 0.5 (например, для слоя весеннего стока $\lambda_l=0.67$), а $\sum_1^3 \lambda$ – превышает 0.7 (например, для стока – 0.87).

Важным условием для ЕОС-анализ является предположение об отсутствии значимых временных трендов. Однако именно этот момент можно использовать при оценке процесса стокоформирования в нестационарных условиях, что и реализовано для периодов 1970 – 1989 и 1990 – 2009 гг. Анализ показал, что для современного периода для всех изучаемых полей наблюдается устойчивая динамика снижения значимости первого вектора и значительный рост для второго и третьего. Наименьшие на данный момент перестроения отмечаются для поля слоя стока весеннего половодья – примерно на 9 % снизилась значимость λ_1 . В то же время, значительного роста для λ_2 не отмечается: перераспределение по второстепенным факторам произошло довольно равномерно. Наоборот, для косвенной характеристики увлажнения водосбора – слоя стока за ноябрь предшествующего года – практически все перераспределение произошло в пределах первых трех векторов, а λ_1 потеряла в значимости целых 19 %.

Таблица 1. Изменение величин собственных векторов в 1990 – 2009 гг. в сравнении с 1970 – 1989 гг.

№ вектора	сток половодья	сток ноября предшествующего года	снегозапасы в январе	снегозапасы в феврале	максимальный снегозапас за зиму
1	-8.961	-19.123	-9.361	-19.909	-14.119
2	1.724	8.057	7.626	19.615	13.014
3	2.615	6.976	-2.174	-2.357	-0.161
4	1.675	1.839	1.75	0.475	-0.002
5	0.861	1.491	1.063	0.837	0.366
6	0.674	0.435	0.696	0.399	-0.06
7	0.762	0.163	0.402	0.377	0.345
8	0.649	0.161	-0.004	0.562	0.617

Изменения за период прослеживаются и в рисунке пространственных векторов стока половодья, в особенности в пределах наиболее антропогенно нагруженных территорий. Установленные изменения в пределах рассматриваемых периодов, вероятнее всего, отражают величину вклада человеческого фактора в изменение структуры весеннего стока. Поскольку пространственные вектора не связаны со временем, то говорить о неких циклических колебаниях можно только опосредованно через описание многолетней траектории формирующих сток воздушных масс.

Анализ пространственных векторов в бассейне Дона показал, что Y_1 весеннего стока воды описывает 73.2% изменчивости поля. Основной фактор формирования весеннего стока – пространственная характеристика поступления воды на поверхность бассейна.

У второго пространственного вектора поля стока Y_2 присутствует смена знака коэффициентов. Общий градиент поля направлен с юга на север, им описывается лишь 13 % изменчивости поля. По-видимому, Y_2 описывает пространственные особенности потерь воды (инфильтрация, поверхностное задержание).

Векторы T_1 описывают наиболее общие многолетние колебания (чередование многоводных и маловодных группировок лет). Векторы T_2 и T_3 имеют более высокую частотность и отражают особенности развития процесса в более короткие периоды, нежели T_1 . Так, если T_1 описывает весь временной ряд длиной 34 года, то T_2 – его половину или треть, T_3 – еще более дробную часть вплоть до особенностей отдельного года.

При решении задачи описания процесса формирования стока они играют роль наиболее важных переменных в уравнениях связи. В силу вероятностной природы колебаний стока воды их описание более сложно и менее точно, нежели описание пространственных закономерностей, что и отразилось на результатах расчета парной корреляции между векторами. Наибольшей теснотой связи первый вектор весеннего стока TU_1 обладает с первым вектором запасов воды в снежном покрове TS_1 . Однако последний описывает лишь 50% изменчивости поля, поэтому использование его в качестве исключительного предиктора приходной части неправомерно. Чуть меньшая теснота связи отмечается с первыми векторами максимальных снегозапасов за январь – март, суммой положительных температур и твердых осадков за холодных период. А вот осеннее увлажнение бассейна (векторы TN_{1-8}) и зимние оттепели (векторы TX_{1-8}) практически не влияют на TU_1 в первом приближении.

В то же время, оценка множественного коэффициента корреляции показала, что наиболее точное описание первого временного вектора стока в условиях современного климата дает сочетание первого вектора сумм отрицательных температур за зиму и первого вектора суммы жидких осадков в зимний период. То есть 73% временной изменчивости поля весеннего стока описывается с одной стороны суровостью зимы, а с другой – характером её устойчивости и ненарушения накопления снежного покрова, поскольку жидкие осадки в значительной мере влияют на его перераспределение во времени и пространстве.

Чуть большая точность достигается при дополнении в зависимость восьмого вектора снегозапасов февраля или января, что объясняется наличием некой стартовой величины, от которой можно описывать нарушение накопления снега.

Полученные результаты показывают, что ЕОС-анализ применим при изучении особенностей формирования весеннего стока в пределах бассейна р. Дон: отличная от реальных полей структура ЕОС-векторов позволяет исключая белый шум выявлять основные действующие факторы формирования стока в пределах обширных территорий. При делении рядов данных на частные периоды возможна оценка изменения значимости главенствующих факторов формирования стока весеннего половодья Дона во времени, а также оценка динамики пространственных векторов в частности как последствие антропогенной нагрузки на водосбор.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N19-77-10032.

Литература

1. Günter V., Julia H. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 2019.
2. Вершинина Л.К. Методика расчета и прогноза объема стока весеннего половодья в бассейне р. Дона // Труды ГГИ, 1977. Вып. 223. С. 52-65.
3. Вершинина Л.К., Крестовский О.И. Учет водопоглотительной способности водосборов при прогнозах стока весеннего половодья // Труды ГГИ. 1980. - Вып. 265. - С. 3-31
4. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 286 с.
5. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2007. 436 с.;
6. Гинзбург Б.М. Естественные составляющие сроков замерзания и вскрытия рек // Труды Гидрометцентра СССР, 1981. Вып. 236. С. 72-82.
7. Джамалов Р. Г., Киреева М. Б., Косолапов А. Е., Фролова Н. Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. ГЕОС Москва, 2017.
8. Лобода Н.С. Ехнич М.П., Шаменкова О.И. Параметризация гидрологических процессов на основе метода главных компонент// Наукові праці УкрНДГМІ. – К.: Ніка – Центр, 2003. Вип. 251. С. 32-37.
9. Постников А.Н. О возможности расчета и прогноза поля стока весеннего половодья (на примере р. Вятки) // Вопросы гидрологии суши. Доклады молодых ученых и специалистов, 1985. С. 94-98.
10. Урываева И.В. Долгосрочный прогноз весеннего стока в бассейне Верхней Камы // Вопросы гидрологии суши. Доклады конференции молодых ученых и специалистов. Л.: Гидрометеиздат, 1978. С. 3-9.
11. Фролова, Н. Л., Киреева, М. Б., Агафонова, С. А., Евстигнеев, В. М., Ефремова, Н. А., Повалишникова, Е. С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории и его изменение. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 4 (2015), 4–20.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БЕССНЕЖНОЙ ЗИМЫ 2018-2019 ГГ. НА ЮГЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Василевская Л.Н.¹, Василевский Д.Н.²

¹Кафедра океанологии и гидрометеорологии ДВФУ, г. Владивосток

²Дальневосточный филиал Российского НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Владивосток

E-mail: lubavass@mail.ru

FEATURES OF FORMATION OF SNOWLESS WINTER 2018-2019 IN THE SOUTH OF THE PRIMORSK REGION

Vasilevskaya L.N.¹, Vasilevsky D.N.²

¹ Department of Oceanology and Hydrometeorology FEFU, Vladivostok

² Far Eastern Branch of the Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources, Vladivostok

E-mail: lubavass@mail.ru

Исследование циркуляционных условий в средней тропосфере и у поверхности земли, проведенное по ежедневным, декадным и среднемесячным полям геопотенциала и приземного давления Японского метеорологического агентства, позволило установить причины бесснежной зимы 2018-2019 гг. в Приморском крае. Показано, что дефицит осадков вызван широтным типом высотного барического поля во втором естественном синоптическом районе, ослабленным контрастом «океан–материк» и состоянием барического поля над определенными зонами Северного полушария в предшествующие месяцы.

A study of the circulating conditions in the middle troposphere and near the surface of the earth, which was carried out on the daily, ten-day periods and average monthly fields of geopotential and surface pressure of the Japan Meteorological Agency, made it possible to determine the causes of the snowless winter of 2018-2019. in the Primorsky Region. It is shown that the precipitation deficit is caused by the latitudinal type of high-altitude baric field in the second natural synoptic region, weakened by the ocean – mainland contrast and the state of the baric field over certain zones of the Northern Hemisphere in the previous months.

Муссонный характер климата Приморья четко проявляется в зимние месяцы, которые являются малоснежными. В годовом распределении осадков наименьшее количество (7-25 мм) приходится на зимние месяцы. Снежные зимы в Приморском крае, как правило, редки, особенно в южных районах. За последние 50 лет на юге края наблюдалось 10 малоснежных зим, т.е. в среднем каждая 5 зима. Однако периодичность их была неодинаковой, так, с середины 1960-х до начала 1990-х они наблюдались через 2-7 лет, затем зимы с 1992 по 2007 год были относительно многоснежными. И, наконец, в последнее десятилетие, «сухими» были зимние сезоны 2007-2008, 2011-2012, 2013-2014 гг. По информации приморских метеорологов аналогов теплой, бесснежной и маловетреной зимы 2018-2019 г в Приморском крае не было за всю историю инструментальных наблюдений. В результате **из-за бесснежной зимы сгорело намного больше тысяч гектаров леса, чем обычно.**

Цель исследования: анализ атмосферной циркуляции, обусловившей бесснежную зиму 2018-2019 гг. в Приморском крае.

Анализ атмосферных процессов зимы 2018-2019 гг. Атмосферные процессы текущей зимы были следующими: влагонесущие циклоны «обходили» (за исключением самого начала декабря) Приморский край стороной. Связано это было с определенной структурой высотного поля в средней тропосфере: высотные фронтальные зоны (арктическая и полярная) были слабо выражены и располагались широтно, что способствовало поддержанию антициклонального поля у поверхности Земли. В первой и третьей декаде декабря 2018 г. высотный гребень над Сибирью был хорошо развит, поэтому сибирский антициклон был особенно обширным и устойчивым, он занимал всю Северную Азию, объединившись с ленско-колымским ядром. Даже на средней месячной карте давление в центре антициклона составляло 1040 гПа, а в отдельные дни оно достигало 1080 гПа (рис.1).

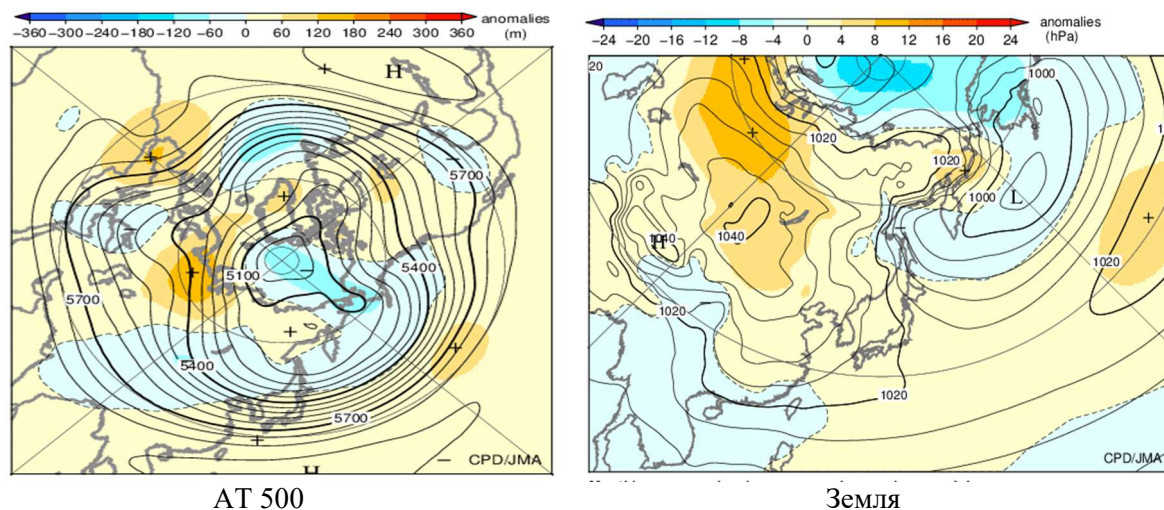


Рис. 1. Средние за декабрь поля геопотенциала (AT500) и приземного давления и аномалии геопотенциала и давления относительно базового периода 1981-2010 гг. (JMA, Tokyo Climate Center)

Однако в январе и феврале 2019 г. над вторым естественным синоптическим районом (территория от Урала до Аляски) в средней тропосфере уже преобладала широтная форма циркуляции, которая способствовала ослаблению приземного сибирского антициклона и смещению его в более южные районы (рис.2, 3). На средних картах давления северная и северо-восточная часть Сибири занята отрицательными аномалиями давления в диапазоне 4-8 гПа.

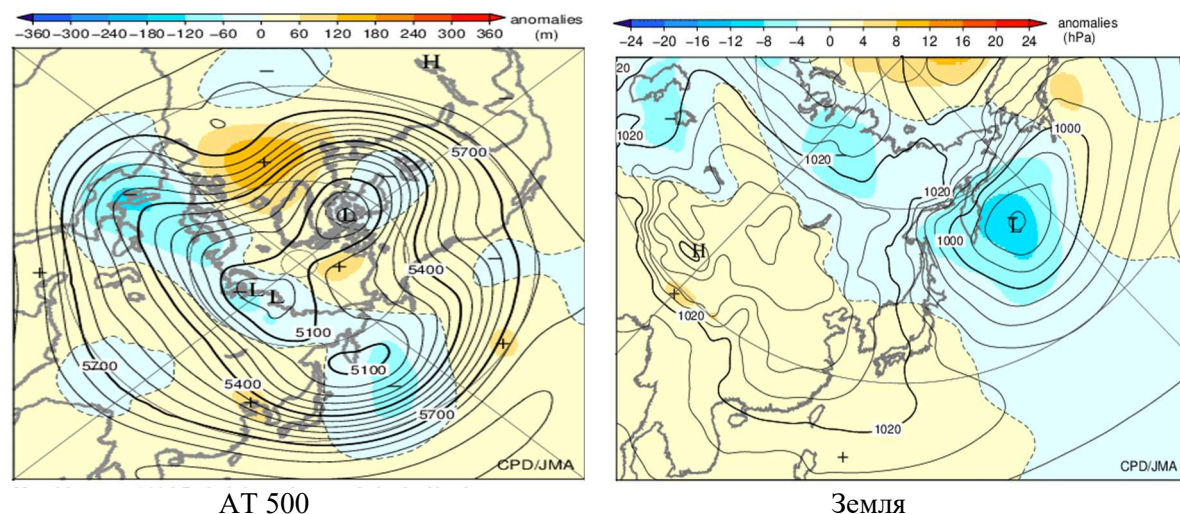


Рис. 2. Средние за январь поля геопотенциала (AT500) и приземного давления и аномалии геопотенциала и давления относительно базового периода 1981-2010 гг. (JMA, Tokyo Climate Center)

В течение 3-х зимних месяцев над Приморьем в средней тропосфере преобладала конвергенция воздушных потоков, способствующая поддержанию антициклонального поля у земли. Поэтому южные морские циклоны смещались значительно восточнее по сравнению с обычными траекториями, а континентальные циклоны проходили севернее Приморья. Такой антициклональный тип барического поля обусловил безоблачную теплую погоду; довольно часто в приземном слое на южную часть Приморского края с западными потоками с урбанизированных территорий Северного Китая смещался загрязненный «химикатами» воздух.

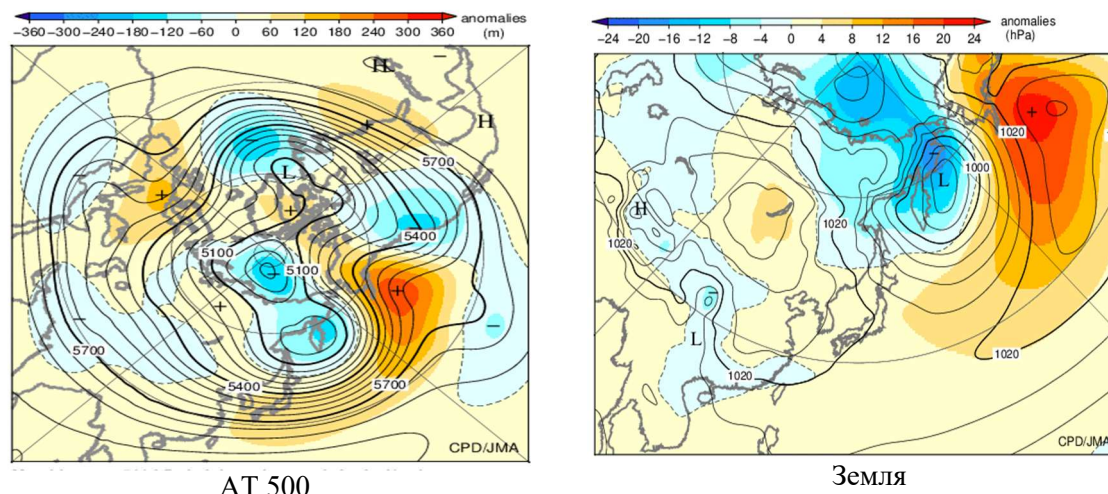


Рис. 3. Средние за февраль поля геопотенциала (АТ500) и приземного давления и аномалии геопотенциала и давления относительно базового периода 1981-2010 гг. (JMA, Tokyo Climate Center)

Естественно, создавшиеся циркуляционные условия над регионом обусловлены влиянием муссонной системы Северо-Восточной Азии и термическими контрастами «океан–материк» и одновременно являются частью макромасштабной циркуляции над всем Северным полушарием.

Проведенный нами статистический анализ по поиску долговременных предикторов, указывающих на характер выпадения атмосферных осадков в зимние месяцы, позволил выявить некоторую закономерность лишь для декабрьских осадков. Так, между атмосферными осадками в декабре и климатическим индексом арктическое колебание (АО) в июле существует тесная связь: положительная фаза индекса в июле, соответствующая усилению циркумполярного вихря и преобладанию зональных потоков, предшествует дефициту осадков. Найденная зависимость действительно подтвердилась: в сентябре 2018 значение АО составляло 0,612, а в декабре – наблюдался дефицит осадков в Приморье. Кроме того, выявлена связь декабрьских осадков с индексом западно-тихоокеанского колебания (WP) в марте и индексом Блиновой в сентябре. Физическая картина выглядит следующим образом: отрицательная фаза WP, т.е. усиление алеутского минимума и усиление струйного течения на западе северной части Тихого океана в марте определило отрицательный фон декабрьских осадков в Приморье. В марте 2018 г. алеутская депрессия была аномально развита, аномалии в области депрессии достигали -8 гПа.

Обычно, атмосферные осадки, выпадающие в марте-апреле, восполняют дефицит зимних. Однако, это происходило до начала 1990-х годов. В дальнейшем, лишь в отдельные годы (2000, 2006-2011, 2012 и 2016 гг.) весенние осадки были выше нормы. Весной 2019 г. циркуляционные условия не изменились, это вызвало значительную засухливость и, как следствие, пожароопасность в зимне-весенний период в Приморском крае.

Таким образом, бесснежная зима 2018-2019 гг. в Приморском крае обусловлена в большей степени сложившимися циркуляционными условиями в средней тропосфере на пространстве от Урала до Аляски, ослабленными температурными контрастами «океан–материк» в муссонной системе Северо-Восточной Азии.

ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГОДОВЫХ И МАКСИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ В РЕКАХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В ПЕРИОД 1960-2012 ГГ.

А.Н. Василенко, Д.В. Магрицкий, Н.Л. Фролова
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

CHANGES OF ANNUAL AND MAXIMUM WATER TEMPERATURE OF RUSSIAN ARCTIC RIVERS IN YEARS 1960-2012

A.N. Vasilenko, D.V. Magritsky, N.L. Frolova
Lomonosov MSU, Moscow, Russia

Аннотация

Рассматриваются изменения среднегодовых и максимальных температур воды на территориях севернее 60 с.ш. за период изменений климата. Показаны различные темпы потепления вод в зависимости от региона и размеров реки.

Annotation

Changes of mean and maximum annual year temperatures are considered for territories northerner from 60th latitude. Different rates of river waters warming in different regions and in according to different scales are shown.

Введение

Температура воды и ее изменения являются одновременно важными гидрологическими и гидроэкологическими характеристиками рек. С одной стороны, температурой воды в значительной мере определяются величины теплового стока рек, а также сроки образования и разрушения ледовых явлений (ледообразование начинается при температуре воды ниже 0,2°C [1]). Температура воды 10°C является нижним пределом для развития водной растительности. Прямо или косвенно температура воды также влияет на определяет возможности роста, развития, размножения, питания и миграций гидробионтов, скорости продукции и деструкции органических веществ, интенсивность процессов самоочищения рек [2].

На формирование температуры воды влияет множество различных факторов, метеорологических, физико-географических и гидравлических. Однако, для масштабов времени близких к 1 месяцу и более основным фактором формирования и изменения температуры воды является температура воздуха. Таким образом, современные изменения климата, выражающиеся в повышении среднегодовых температур воздуха на Земле, потенциально ведут к повышению температур воды в реках. Однако, при увеличении водности рек, обусловленных как изменениями климата, так и регулированием стока, повышение температур воды может нивелироваться, либо, в отдельных случаях, приобретать обратный знак [1]. Совместное увеличение как температур воды, так и стока воды приводит к увеличению величины теплового стока в приемные водоемы, в первую очередь – в моря. В зависимости от географического положения как рек, так и приемных водоемов изменение теплового стока приведет к изменению температур воды в прибрежных зонах приемных водоемов. Что, в свою очередь, отразится на ледовом режиме и условиях жизни гидробионтов.

Важнейшей экологической характеристикой водотока в течение года является максимальная температура водной массы. Именно эта величина может оказаться критической для выживания ряда гидробионтов, либо для нанесения им определенного (в зависимости от организма) вреда.

Исследования изменений температур воды особенно актуальны в пределах российской Арктики и побережий Северного Ледовитого океана. С одной стороны, в связи с возможными последствиями для ледовитости морей, вследствие потенциального увеличения теплового стока рек. С другой стороны, в связи с угрозой значительным биологическим ресурсам северных рек, богатых ценными видами рыб. Учет проблем изменения температур воды может послужить повышению безопасности водопользования в регионе при его интенсивном освоении.

Материалы и методы

Исследуемая часть территории России расположена севернее 60 с.ш. без учета арктических островов. На исследуемой территории присутствуют большие, средние и малые реки, бассейны которых расположены в различных климатических поясах, а также на различных высотах относительно уровня моря. Объединяющим фактором является общая суровость климата, с продолжительным, холодным зимним периодом.

Для оценок изменений использованы данные 90 гидрологических постов, расположенных как на ручьях и малых реках, так и на средних и больших реках. Ограниченное количество постов связано как с закрытием большого числа пунктов наблюдений после 1991 г., так и с низким качеством данных о температуре воды на ряде гидрологических постов. Данные гидрологических постов относятся к следующим регионам (в соответствии с ГVK): Кольский полуостров, Северный край, Западная Сибирь (Нижняя Обь), Лено-Индигирский район, Северо-Восток. В данном исследовании не рассматриваются данные о температуре воды в р. Колыма, в связи со строительством Усть-Среднеканской ГЭС, приведшему к изменению термического режима реки после 2014 г., что делает данные предыдущих лет нерепрезентативными до установления обратного.

В работе рассматривается период с 1960 по 2012 гг. Выбор верхней и нижней границы периода обусловлен следующими соображениями. В 1950-е гг. XX в. на сети наблюдений были проведены эксперименты по сравнению температур воды у берега и на середине реки. Было установлено, что на ряде рек наблюдения проводились в нерепрезентативных точках. Верхняя граница временного периода установлена на 2012 г., в связи с ограниченностью данных о температуре воды в изданиях ГVK в более поздние годы. Исследуемый период, таким образом, охватывает практически полностью период изменений климата, за исключением последних лет.

Для полученных рядов данных оценивалась однородность рядов температур воды теплого периода и максимальных температур воды за периоды 1961-1990 гг. и 1991-2014 гг. с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни. Наличие тренда в рядах оценивалось с помощью критерия тренда Спирмена.

Результаты

В результате исследования обнаружены различные тенденции изменений температур воды за последние 25 лет, по сравнению с предшествующим периодом 1961-1990 гг. На большинстве больших рассматриваемых рек наблюдается статистически незначимое потепление в пределах 0,5°C. Значимые изменения наблюдаются только на реках Мезень и Индигирка. На этих же реках, а также на р. Оленек, наблюдаются статистически значимые тренды потепления. На трех вышеуказанных реках наблюдается рост температур воды в пределах 0,5-1°C. На р. Северная Двина наблюдается статистически не значимое снижение температур. На современном этапе (после 1990 г.) средние температуры воды теплого периода составляют от 6,9 до 10,2°C. Наиболее холодной рекой является р. Анабар, в то время как наиболее теплой – р. Онега.

На малых и средних реках наблюдается по большей части увеличение средних температур воды за теплый период года. Причем, чаще всего, наибольшие по абсолютной величине, изменения затрагивают малые реки. Однако, значительные изменения наблюдаются и на средних реках. Для малых рек, рост температур воды обусловлен незначительной сравнительно небольшой величиной расходов воды, в то время как для средних рек, по всей видимости, приобретают влияние определенные местные условия, такие как, например, значительные выходы подземных вод (охлаждающий эффект), либо незначительными глубинами при широких руслах и сравнительно небольших расходах воды (отепляющий эффект). Сравнение средних за рассматриваемые периоды температур воды для региона Западной Сибири приведено в таблице 1.

Таблица 1. Изменение средних за теплый период года температур воды в период 1991-2012 гг. по сравнению с периодом 1961-1990 гг.

Река	Пост	Площадь водосбора, кв. км	Среднее за 1961-1990 гг.	Среднее за 1991-2012 гг.	Изменения, °С
Шома-Я	Шома-Я	468	7,03	7,73	0,7
Собь	Харп	1240	4,47	5,31	0,84
Щучья	Лаборовая	1680	5,14	5,58	0,44
Ныда	Ныда	6700	6,84	7,94	1,1
Амня	Казым	7100	8,19	8,34	0,15
Северная Сосьва	Няскимволь	9850	8,89	9,06	0,17
Сыня	Овгорт	9880	8,22	8,57	0,35
Полуй	Полуй	15100	7,75	9,72	1,97
Казым	Белоярск	29500	8,95	9,59	0,64
Пяку-пур	Тарко-Сале	31400	8,18	8,84	0,66
Надым	Надым	48000	7,82	8,18	0,36
С.Сосьва	Сартынья	69100	9,25	9,32	0,07
Таз	Красноселькуп	87200	8,06	8,62	0,56
С.Сосьва	Березово	91500	9,83	10,8	0,97
Таз	Тазовское	128000	6,99	7,84	0,85
Обь	Салехард	2950000	8,23	8,74	0,51

На больших реках рассматриваемой территории наблюдаются разнонаправленные тенденции изменения максимальных температур воды – важного экологического критерия, определяющего выживаемость различных биологических видов, в частности – ценных пород рыб. На большей части рек, за исключением р. Анабар и р. Печора, наблюдается рост максимальных температур воды в пределах 0,5-1,5°С. На рр. Северная Двина, Оленек и Лена изменения за последние 25 лет – значимы. На рр. Северная Двина, Мезень, Лена, Яна и Индигирка наблюдается значимый тренд. На р. Печора отмечено незначимое снижение максимальных температур воды на 0,7°С. Максимальные температуры воды меняются от 17,4°С на р. Оленек, до 23,9°С на р. Мезень.

Заключение

В нижних частях крупнейших рек российской Арктики наблюдается рост температур воды. В-особенности? изменяются максимальные за год температуры воды, причем, на реках в районах вечной мерзлоты, наблюдается значимый тренд роста этого гидроэкологического показателя. На Севере ЕТР наибольшие изменения (на незарегулированных реках) произошли на р. Мезень. На территории АЧР – на р. Индигирка.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-60021-Арктика

Литература

1. Магрицкий Д. В., Скорняков В. А., Ретеюм К. Ф. Тепловой сток // Геоэкологическое состояние Арктического побережья России и безопасность природопользования. — ГЕОС Москва, 2007. — С. 324–351.
2. Hannah, D.M., Garner, G., 2015. River water temperature in the United Kingdom: changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. Prog. Phys. Geogr. 39, 68–92

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МИРЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Л.С. Венцюлис¹, Н.В. Воронов², Н.Ю. Быстрова³

¹ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУН Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

CURRENT STATUS OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY IN THE WORLD AND FUTURE PROJECTIONS

L.S. Ventsyulis¹, N.V. Voronov², N.Yu. Bystrova³

¹Saint-Petersburg research center for ecological safety of the Russian academy of sciences, Saint Petersburg, Russia

²Russian state hydrometeorological university, Saint Petersburg, Russia

³Saint-Petersburg scientific center of the Russian academy of sciences, Saint Petersburg, Russia

В статье рассматриваются преимущества и недостатки, а также перспективы использования возобновляемых источников энергии. Анализируется потенциал и эффективность использования их в России.

The article discusses the advantages and disadvantages, as well as the forecast for the use of renewable energy sources. The potential and effectiveness of their use in Russia are analyzed.

Возобновляемая или регенеративная «зелёная» энергия – это энергия из источников, которые являются неисчерпаемыми. Основной принцип использования возобновляемой энергии заключается в её извлечении из постоянно переходящих в окружающей среде процессов и предоставление её для технического применения. Возобновляемую энергию получают из природных ресурсов, таких как солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы, геотермальная теплота, которые пополняются естественным путём (являются возобновляемыми).

В 1917 г. около 19,3% мирового энергопотребления было удовлетворено из возобновляемых источников энергии. В Европейском союзе с 2004 г. по 2015 г. использование возобновляемых источников энергии выросло с 14% до 25%. В 2018 г. в Германии из возобновляемых источников энергии было произведено 38% электроэнергии.

В настоящее время поиск ученых и исследователей направлен не только на создание более эффективных традиционных источников энергии, работающих на различных видах топлива, но и на разработку и внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), потенциал которых чрезвычайно велик. Использование ВИЭ, как правило, более экологично и безопасно для человека и окружающей среды, чем применение традиционных источников энергии, использующих различные виды топлива. Применение большинства ВИЭ практически не связано

с выделением каких-либо токсичных веществ и не нарушает энергетический, экологический или какой-либо другой баланс, установившейся в природе [1].

Создание ВИЭ резко ускорилось в середине XIX веке с освоением энергии рек, а развитие таких источников энергии, как геотермальная, лучистая энергия Солнца, ветра, энергия мирового океана стали интенсивно развиваться в XX веке. В XXI веке этот рост стал значительно увеличиваться. Практическая неисчерпаемость нетрадиционных источников энергии, повсеместность распространения большинства из них, а также экологическая чистота таких источников позволяют считать, что за ними – будущее энергетики.

Существующие в настоящее время возобновляемые источники энергии [2] можно разделить на три большие группы:

- энергия солнца – способы преобразования энергии: фототермические, фотоэлектрические, фотохимические, кинетические (энергия ветра), термические (энергия разностей температурных уровней воды), потенциальные (энергия разностей уровня масс воды);

- энергия биомассы: сжигание биомассы, термохимическая газификация, биологическая конверсия;

- энергия земных недр – использование геотермальной энергии: гидротермальная, петротермальная.

К основным преимуществам возобновляемых источников энергии можно отнести:

- обеспечение энергией постоянно возрастающее энергопотребление в мире;
- повышение экологической безопасности энергетических объектов;
- обеспечение энергией стран, не имеющих запасов топлива.

Основными недостатками возобновляемых источников энергии следует считать:

- небольшую плотность энергетического потока;
- суточную, сезонную и погодную нестабильность;
- особенности использования при различных условиях.

Общая мощность ВИЭ в мире (без крупных ГЭС) в 2010 г. составляла 340 ГВт. К 2020 г. предполагается увеличить эту мощность для ведущих стран мира на 15÷20%, а для стран Европейского союза к 2040 г. на 40% [3].

Прогноз использования различных видов ВИЭ на ближайшую и среднесрочную перспективу может основываться на показателях, достигнутых в мире к началу XXI века. В ближайшие годы основным из используемых видов ВИЭ будет древесина, доля которой среди ВИЭ в 2010 году составила 40%. В том же году второе место занимала гидроэнергия – ее доля составила 30%. Доля источников геотермальной энергии увеличилась к 2010 г. до 5%, доля энергии от сжигания промышленных и бытовых отходов возросла до 9%, доля энергии с/х отходов – 2%, доля солнечной энергии составила 6% и ветровой – 7%.

Исследования перспектив мирового потребления энергии, проведенные институтом World Watch (США) показали, что использование ВИЭ в мире растет. Если количество энергии, выработанной ВИЭ в 1985 г. составило около 17% от общего количества энергии, то в 2000 г. оно достигло 25% и продолжает расти. Поскольку перспектива развития энергетики, основанная на использовании топлива, представляется ограниченной, проблема освоения ВИЭ в развитых странах мира рассматривается в настоящее время как особо важная [4]. Об этом

свидетельствуют и глобальные показатели по росту ежегодных инвестиций в ВИЭ за 10 лет (2008-2018 гг.) в мире (табл. 1).

Таблица 1. Глобальные показатели ВИЭ

Показатели возобновляемой энергии		2008 г.	2018 г.
1	Ежегодные инвестиции в возобновляемую энергию (10^9 \$ США)	130	280
2	Суммарные установленные мощности ВИЭ (ГВт)	1140	2195
3	Гидроэнергия (ГВт)	885	1114
4	Ветроэнергия (ГВт)	121	539
5	Фотоэлектричество (ГВт)	16	402
6	Нагрев воды тепловой энергией Солнца	130	472
7	страны, имеющих целью развития ВИЭ	79	179

В настоящее время в Германии мощность используемых ВИЭ составляет 14%, предполагается к 2030 г. увеличить этот процент до 25. В США процент возобновляемых источников энергии составляет 6%, к 2030 г. он будет увеличен до 15%. В Дании в настоящее время ВИЭ составляют 25%, а к 2040 г. этот показатель будет увеличен до 40%. В некоторых странах приняты специальные программы по развитию ВИЭ. Так, в Израиле реализуется программа по использованию водных стоков, которая сократит потребляемую энергию на 21%. В Казахстане принята программа по развитию ВИЭ, которая предусматривает переход на ВИЭ 50% существующей энергетики (гидроэнергия). В Таиланде установлено около 1 миллиона модулей японского производства для выработки 204 МВт энергии (солнечная энергия). В Германии и в Испании ветрогенераторы вырабатывают 8-10%, а в Дании до 25% энергии. В настоящее время в 30 странах мира действует больше 2-х миллионов тепловых насосов.

Количество энергии, вырабатываемой различными ВИЭ в мире: фотоэлектрические преобразования - 21,3 ГВт, ветроустановки - 159 ГВт, энергоустановки на биомассе - 60 ГВт, установки солнечного теплоснабжения - 145 ГВт, геотермальные электростанции - 10,7 гВт, установки производства биотоплива - 79 млрд. литров, мощность ВИЭ (без крупных ГЭС): 2010 г. - 340 ГВт, 2020 г. - до 15-20% (осн. страны), 2040 г. - до 40% ЕС.

В России в 2010 г. мощность ВИЭ составила 1% от всей возобновляемой энергии, т.е. 8,75 млн. т.у.т. [1]. Такой низкий процент освоения ВИЭ вероятно объясняется тем, что по имеющимся оценкам Россия занимает первое место в мире по запасам газа (23% мировых запасов), второе место по запасам угля (19% мировых запасов), 5÷7 место по запасам нефти (4÷5% мировых запасов), 8% добычи мирового урана. Однако следует отметить, что легкодоступные месторождения энергоресурсов быстро истощаются, а разведка и освоение новых месторождений требует огромных затрат. Очевидно, что энергетическая политика страны уже в ближайшее время потребует корректировки энергетической политики. К 2020 году предполагается повысить использование ВИЭ до 4,5%, т.е. до 39,375 т.у.т., в то время как общий потенциал ВИЭ в России в настоящее время составляет приблизительно 31%, т.е. 273,5 млн. т.у.т. в год.

Потенциал мировой энергетики в России достаточно высок. Существует множество районов, где среднегодовая скорость ветра превышает 6 м/сек. Наивысшие скорости ветра преобладают

у берегов Баренцева, Карского, Берингова и Охотского морей. Скорости ветра около 5 м/сек. – у берегов Черного и Азовского морей. Значительные ресурсы энергии ветра имеются на Урале, в Западной Сибири. Анализ возможностей ветроэнергетики оказывает, что около 30% потенциала сосредоточено на Дальнем востоке, около 16% - в Западной Сибири [1]. Потенциал низкопотенциальной энергии - 65 млн. т.у.т.

Центр «Эко-Согласие» полагает, что около 37% потенциала ветроэнергетики (10 млн. т.у.т.) сосредоточено в Европейской части и около 63% - в Сибири и на Дальнем востоке.

Потенциал солнечной энергии (12,5 млн. т.у.т.), в основном, сосредоточен в южных районах, где он достаточно высок, больше 1400 кВт час/м² в год, в отдаленных северных районах он составляет около 810 кВт час/м² в год [5]. Значительными ресурсами обладает Краснодарский край, Астраханская область, Ростовская область, Алтай, Приморье.

Потенциал биомассы (35 млн. т.у.т.) в России составляют леса – до 800 млн. т древесины, 250 млн. т сельскохозяйственных отходов, 60 млн. т. твердых бытовых отходов [3]. Россия обладает 20% лесов всей планеты. Ежегодный прирост древесины в России приблизительно 1 млрд. м³.

Геотермальная энергия является источником природного тепла Земли [6]. В России она широко используется на Камчатке, Курильских островах, Северном Кавказе, Дагестане, в районе озера Байкал, на Урале, Алтае, в Саянах. Энергетический потенциал геотермальных ресурсов, залегающих на глубине 3 км, составляет 115 млн. т.у.т. в год.

Гидроэнергетический потенциал России достаточно высок. Россия занимает второе место после Бразилии по объему стока вод [7]. На восточную часть России приходится 75%, на европейскую – 25%. Большая часть гидроэнергоресурсов приходится на Центральный район, Восточную Сибирь, Дальний Восток и Северный Кавказ. Для России экономический потенциал малых мощностей составляет 65 млн. т.у.т.

Несмотря на то, что возможности по освоению ВИЭ в России достаточные, реализация их невелика. Есть достижения в создании и реальном использовании геотермальной энергии на Камчатке, которое позволило резко сократить использование дорогостоящего жидкого топлива. Реализованы проекты по созданию производства древесных плит производительностью более 2 млн. тонн в год, созданы отдельные образцы солнечных и ветровых станций, однако активного развития ВИЭ в настоящее время и в ближайшей перспективе не наблюдается. Вместе с тем эта проблема является весьма актуальной для России и требует в настоящее время особого внимания. Около 65% территории страны с населением 20 млн. человек находится вне сетей централизованного энергоснабжения [8]. Большая часть регионов энергодефицитны и нуждаются в завозе топлива и энергии.

В России, использующей газ как основное топливо, газифицировано лишь 50% городских и 35% сельских населенных пунктов, в остальных поселениях потребляется уголь, мазут, дрова, которые являются источниками загрязнения окружающей природной среды (ОПС). В условиях постоянного роста тарифов на энергию, за последние 10 лет в стране резко увеличилось использование автономных источников тока до 100 кВт, что усилило загрязнение ОПС. Всё это требует обратить особое внимание на решение важной для России проблемы использования в ближайшем будущем ВИЭ, и сокращение на этой базе количества используемого топлива.

Из прогноза использования в России ВИЭ видно, что наибольший эффект достигается при освоении источников геотермальной энергии и гидроэнергетического потенциала малых рек. Средний эффект может быть достигнут при использовании биомассы и низкопотенциального

тепла. Меньший эффект - при использовании солнечной и ветровой энергии. Вместе с тем следует отметить, что при освоении различных видов ВИЭ, что зависит от многих экономических, организационных, технологических методов и правовых норм, могут быть различные изменения в прогнозе внедрения различных видов ВИЭ. Главным же положительным результатом создания и внедрения ВИЭ является экономический выигрыш за счет сокращения существующих энергостанций, работающих на топливе, а также экологический выигрыш за счет сокращения вредных выбросов и стоков, поэтому экономическая и экологическая эффективность создания и использования ВИЭ очевидна.

Заключение

1. Создание и внедрение ВИЭ в настоящее время является важнейшей задачей современности, т.к. повышает: экономическую эффективность энергетики за счет сокращения расхода используемого топлива; экологическую эффективность энергетики за счет сокращения вредных выбросов и стоков в ОПС; обеспечение энергией районов, находящихся вне сети централизованного энергоснабжения.
2. В настоящее время наиболее развитые страны мира активно осваивают ВИЭ: в 2010 г. созданы ВИЭ общей мощностью 340 ГВт; планируется увеличить мощность ВИЭ к 2020 г. на 15÷20% (основные страны Европы), к 2040 г. до 40% (страны Европейского Союза).
3. В настоящее время в России: созданы ВИЭ – 1% от мощности энергетики; планируется к 2020 г. создать 4,5% от мощности энергетики.
4. Реальный потенциал ВИЭ в России составляет 273,7 млн. т.у.т. (31% от мощности энергетики).
5. По прогнозу центра энергетики Московской школы управления Сколково, к 2040 г. ВИЭ обеспечат 35-50% мирового производства электроэнергии и 19-25% всего энергопотребления.

Литература

1. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д. и др. Ресурсы и эффективность использования ВИЭ в России. – СПб.: Наука, 2002. – 313 с.
2. Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И., Гусев А.Н. Энергоресурсосбережение как основная проблема топливно-энергетического комплекса России. – СПб.: СПбГПУ, 2011. – 213 с.
3. Венцюлис Л.С. Высокотемпературное обезвреживание отходов. – СПб.: СПб НИЦЭБ РАН, 2000. – 142 с.
4. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Современное общество потребления: экологические ограничения. Сб. научных трудов НИЦЭБ РАН. Методологические проблемы экологической безопасности. – СПб.: СПб НИЦЭБ РАН, 2008. – с. 28-32.
5. Алферов Ж.И., Андреев В.М. и др. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. Физика и техника полупроводников. Т. 38, вып. 8. – СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2004. – с. 937-942.
6. Баева А.Г. Геотермальная энергия: проблемы, ресурсы, использование. – СО АН СССР, 1979. – 143 с.
7. Лапин Г.Г., Кузнецов Р.Я. Современное состояние и перспективы использования гидроэнергетических ресурсов России на период до 2030 г. Журнал «Гидротехническое строительство». №1. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2002. – 143 с.
8. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в регионах РФ: проблемы и перспективы. Электронный журнал «Энергосовет». №5 (18). – М.: Издательство «Новости теплоснабжения», 2011. – с. 22-27

ЛОКАЛЬНАЯ СЕЗОННАЯ ГИПОКСИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ СЕРОВОДОРОДА В ПРИДОННЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

С.И. Кондратьев, А.В. Видничук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ)

г. Севастополь, Российская Федерация

LOCAL SEASONAL HYPOXIA AND HYDROGEN SULPHIDE IN THE BOTTOM WATERS OF SEVASTOPOL BAY

S.I. Kondratev, A.V. Vidnichuk

Federal State Budget Scientific Institution Federal Research Center «Marine Hydrophysical Institute of RAS» (FSBSI FRC MHI) Sevastopol, Russian Federation

Обсуждаются причины образования в придонных водах одного из районов Севастопольской бухты в летнее время гипоксических условий (содержание кислорода менее 62,5 мкМ), которые были зафиксированы в пяти случаях за последние 10 лет.

The causes of summer hypoxia (oxygen content less than 62.5 μ M), which have been recorded in the bottom waters in one of the Sevastopol Bay areas in five cases in the last 10 years, are discussed.

Севастопольская бухта относится к числу полузамкнутых морских акваторий, подверженных постоянному антропогенному воздействию, что может создать экологически и техногенно опасный гидрохимический фон, разрушить и уничтожить ресурсный потенциал. В 1998 г. исследовательскими группами Морского гидрофизического института и Института биологии южных морей были начаты длительные и детальные междисциплинарные исследования Севастопольской бухты. По результатам этих работ схема станций на акватории была увеличена с 7 станций до 32-х, а ряд публикаций по экологическому состоянию бухты завершился препринтом 2006 г. [1]

Далее гидрохимический мониторинг бухты расширился до 36-ти станций, стал ежеквартальным и сопровождался одновременной съемкой нижнего течения реки Черной, сток которой оказывает значительное влияние на экологическое состояние Севастопольской бухты [2]. Кроме анализа состояния вод бухты начали проводиться исследования поверхностного слоя (0-5 см) донных осадков, которые показали наличие сероводорода в верхнем слое поровых вод [3]. В данной работе будут обсуждаться особенности кислородного режима бухты, который, хотя и был рассмотрен в ряде работ [4,5], но не учитывал важной особенности рельефа дна бухты, которое может оказать крайне неблагоприятное влияние на экологию бухты.



Рис. 1. Схема гидролого-гидрохимических станций на акватории Севастопольской бухты и рельеф дна на ст.8 по [8]

Схема дрейфовых станций, объем выполняемых в Севастопольской бухте экспедиционных работ и особенности рельефа дна на ст.8 представлены на Рис. 1. Такое расположение станций позволяет оценивать влияние береговых источников различного вида вод, от ливневых стоков до природных родников, и не требует дальнейшего увеличения. Важнейшей особенностью рельефа дна бухты, которому за все двадцать лет мониторинга не придавали особого значения, оказалось искусственное углубление дна на ст.8 под плавучим доком ПД 30, расположенным у южного берега Севастопольской бухты. Эмпирически существование «ямы под доком» было зафиксировано экспедицией МГИ в 2009 г., когда вследствие погодных условий пробы придонной воды были отобраны в непосредственной близости от дока. Глубина места рядом с доком оказалась около 19 м, тогда как в предыдущих съемках придонные пробы отбирались на 10-12-метровой глубине.

Поиск данного углубления на картах Севастопольской бухты поначалу оказался безуспешным. Ориентируясь по доступным на тот момент картам глубины в месте расположения ПД 30 в 1840 г. были около 6-7 сажень (сажень на карте определялась как шесть английских футов, то есть $30.48 \text{ см} \times 6 = 1.83 \text{ м}$), что составляло около 10-11 м 1840 г. [6]. Эти же глубины были обозначены и на изданной в советское время карте 1972 г. [7], и на карте Минобороны СССР 1987 г. [8].

Только после отделения Украины и снятия секретности с некоторых карт (а также развития Интернета) в издании карты Севастопольской бухты 2003 г., глубины в этом районе были обозначены как 20-21 м под ПД 30 и около 10-11 м вокруг него [9]. Сложно оценить период времени, в который были проведены дноуглубительные работы, по-видимому, это произошло в 70-х годах, поскольку ПД 30 (длина 250 м, ширина 50 м, осадка 5,2 м) вошел в состав судов судоремонтного завода в сентябре 1979 г. [10].

Размеры данного 10 метрового углубления дна составляют (ориентируясь по размерам ПД 30) около 300 м в длину и 80 м в ширину, примерный объем вод в нем порядка 240 000 м³. Такой рельеф дна в теплый период года должен способствовать возникновению придонной гипоксии, а иногда и образованию сероводорода, как это происходит, например, в Днепро-Бугском лимане, где сероводород фиксировался в углублениях дна на 15-16 м [11].

Действительно, в сентябре 2009 г. в придонных водах ст.8 сначала было обнаружено отсутствие кислорода, а на следующий день (когда было подготовлено оборудование для

фиксации сероводорода) был зафиксирован сероводород с концентрацией 37 мкМ. Анализ данных летних съемок за последние 10 лет показал регулярное возникновение гипоксических условий (содержание кислорода менее 62,5 мкМ [12], выделено жирным шрифтом) у дна, Таблица 1.

Таблица 1. Температура придонных вод, содержание в них кислорода в мкМ и насыщение вод кислородом в % на ст.8 (глубина 20 м) и ближайшей к ней ст.9 (глубина 12м)

Дата съемки	Температура у дна, °С		Содержание у дна O ₂ мкМ		% O ₂ у дна	
	Ст.8	Ст.9	Ст.8	Ст.9	Ст.8	Ст.9
Октябрь 2006 ^а	20,5	20,4	214,368	200,523	84,7	79,1
Июнь 2007 ^б	17,3	22,0	146,931	174,621	54,6	70,9
Октябрь 2008 ^в	16,2	17,0	104,951	232,232	38,6	85,7
Сентябрь 2009	17,9	21,1	0,00	226,426	0,00	90,6
Сентябрь 2011	15,6	21,2	100,038	227,766	35,9	91,2
Сентябрь 2012	17,5	21,0	96,4656	212,135	36,1	84,9
Октябрь 2013	12,9	15,0	131,747	259,028	44,7	91,8
Сентябрь 2014	21,4	24,1	14,2912	196,057	5,8	82,9
Сентябрь 2015	20,1	23,8	31,7086	200,523	12,5	84,4
Сентябрь 2016	19,4	24,3	45,5532	208,562	17,6	88,0
Сентябрь 2017	17,4	22,9	141,572	250,989	52,8	104,0
Август 2018	16,5	24,6	56,7182	208,116	20,8	88,9
Август 2019	15,4	23,3	177,747	234,912	39,8	51,5

^а глубина 13 м; ^б глубина 14.5 м; ^в глубина 18.5 м.

Анализ вертикальных профилей температуры, солёности, содержания кислорода и процента насыщения вод кислородом, Рисунок 2 а-г, позволяет предположить следующую картину возникновения гипоксических условий в районе ст.8. В мае-июне поверхностные воды начинают прогреваться и возникает термоклин, постепенно опускающийся на 10-12 метровую глубину. При дальнейшем прогреве температура придонных вод постепенно увеличивается, однако не равномерно, разница в температуре вод на 12-метровой и 20-метровой (на ст. 8) глубине может достигать 8°C, табл. 1.

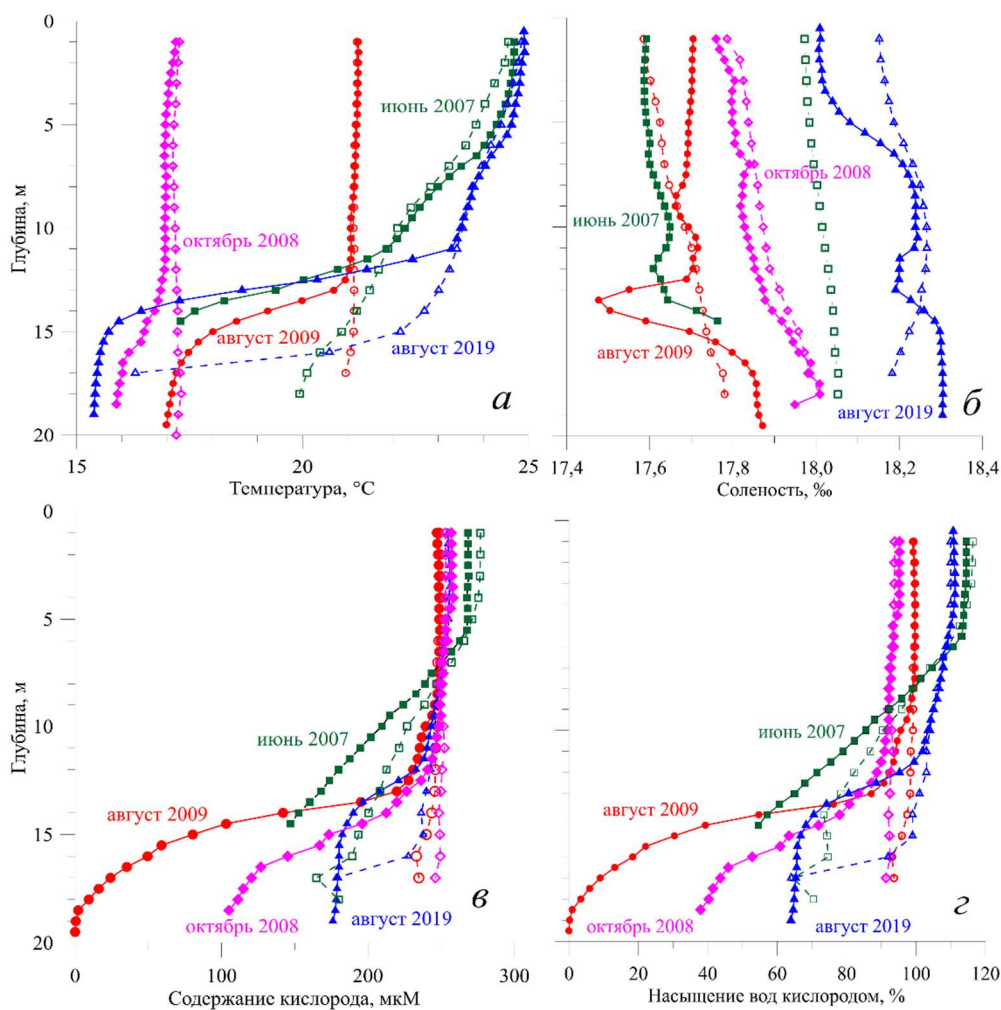


Рис. 2. Вертикальные профили температуры (а), солёности (б), содержания растворенного кислорода (в) и насыщение вод кислородом (г) для четырех съемок. Сплошная линия – для ст.8, пунктирная – средний профиль для бухты

Вертикальный обмен замедляется, увеличить коэффициент вертикальной турбулентной диффузии на глубине расположения термоклина 10-12 м за счет внешнего воздействия невозможно – придонное течение слабое, а высота волны возле ПД 30 редко превышает 30-50 см. Начинается извлечение растворенного кислорода для процесса минерализации оседающего взвешенного органического вещества и кислородный профиль ст.8 все более отличается от среднего по бухте (к сожалению, использовать датчик кислорода для построения профилей удавалась очень редко, вот почему на Рис. 2 приведены данные разных годов). В отдельные годы этот процесс доходит до образования сероводорода, как это было в сентябре 2009 и 2014 гг. (в последнем случае присутствие сероводорода в придонной воде зафиксировано органолептически).

Важной неожиданной особенностью вертикальных профилей солёности на ст.8 является слой вод меньшей солёности на глубинах 12-15 м толщиной около 4 м. Разница в солёности с выше- и нижележащими водами отмечалась для трех случаев из четырех приведенных, составляла от 0.1‰ до 0.3‰, и при максимальном различии в августе 2009 г. был зафиксирован сероводород в придонных водах. Причина появления слоя меньшей солёности на вертикальных

профилях не совсем понятна, если бы это было влияние пресноводного стока р.Черной, то тогда бы оно обнаруживалось в поверхностных водах. Возможно поступление пресных вод связано с подрусловым стоком р.Черной, до которого добрались во время дноуглубительных работ. Можно также предположить, что где-то рядом со ст.8 располагается пресноводный субмаринный источник, который понижает соленость придонных вод, «накрывающих» углубление под ПД 30 4-метровым слоем вод с меньшей соленостью, который также препятствует вертикальному обмену. На возможность существования субмаринных источников на дне Севастопольской бухты указывает [13].

В дальнейших исследованиях предполагается с помощью математической модели сравнить по отдельности влияние термоклина и слоя менее соленых вод на вертикальный обмен в данном конкретном случае. Эмпирически получается, что вклад слоя менее соленых вод весьма существенен, к примеру различие в температурах придонного и поверхностного слоя вод на ст.8 в августе 2019 г. было гораздо выше, чем в 2009 г, однако ожидаемого появления сероводорода не произошло.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по темам 0827-2019-0003 и 0827-2019-0004, и проектов РФФИ №18-45-920018 «Исследование и оценка влияния антропогенных и природных факторов на кислородный режим Севастопольской бухты по результатам многолетнего экспедиционного мониторинга и численного моделирования» и №18-05-80028 «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива»

Литература

1. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. / Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н. и др./ МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2006. – 90с.
2. [Орехова Н.А.](#), [Медведев Е.В.](#), [Овсяный Е.И.](#) Влияние вод реки Черной на гидрохимический режим Севастопольской бухты (Черное море). Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, 2018, № 3, С. 84-91
3. Орехова Н. А., Коновалов С. К. Кислород и сероводород в донных осадках Севастопольской бухты. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. С. 48-56.
4. Свищев С.В., Кондратьев С.И., Коновалов С.К. Закономерности сезонных изменений содержания и распределения кислорода в водах Севастопольской бухты. Мор. гидрофиз. журн., 2011, № 4. С.64-78.
5. Кондратьев С.И. Особенности распределения растворенного кислорода в водах Севастопольской бухты в 2006 – 2007 годах. Мор. гидрофиз. журн., 2010, № 2. .63-76.
6. Севастопольский порт в древности – Ктенус, в описи корпуса штурманов поручика С.Родионова. 1840 г. http://www.etomesto.ru/map-sevastopol_ktenus/, дата обращения 13.09.2019.
7. Топографическая карта Севастополя и окрестностей. 1972. http://www.etomesto.ru/map-sevastopol_genshtab-100m/, дата обращения 13.09.2019.
8. Севастопольский рейд масштаб 1:25000. Главное управление картографии и навигации Министерства обороны СССР, Л. 38120. 1987. http://www.etomesto.ru/map-sevastopol_1987/, дата обращения 13.09.2019.
9. Східна частина Севастопольської бухти. ФДУ «Укрморкартографія», 2003. Л. 3704.

https://skyready.ucoz.ru/load/karty_navigacionnye/sbornik_navigacionnykh_kart_chernogo_i_azovskogo_mor_ej_2000_2008_bmp_pdf/89-1-0-1968, дата обращения 13.09.2019.

10. <http://www.sevastopolonline.com/fleet/fleet2091/>, дата обращения 13.09.2019.

11. Украинский В.В., Попов Ю.И. Климатические и гидрофизические условия развития гипоксии вод на северо-западном шельфе Черного моря. / Мор. гидрофиз. журн., 2009, № 3. С. 19-29.

12. J. Friedrich, F. Janssen, D. Aleynik et al. Investigating hypoxia in aquatic environments: diverse approaches to addressing a complex phenomenon. Biogeosciences, 11, 1215–1259, 2014. www.biogeosciences.net/11/1215/2014/ doi:10.5194/bg-11-1215-2014

13. Хоружий Д.С., Коновалов С.К. Кремний в водах Севастопольской бухты весной 2008 г. / Мор. гидрофиз. журн., 2010, № 3. С. 40-51.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВАОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ОЗЕРА

Е.А. Вилимович, М.А. Терешина, О.Н. Ерина, Д.И. Соколов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

SEASONAL DYNAMICS OF HYDROLOGICAL STRUCTURE IN A STRATIFIED LAKE

E.A. Vilimovich, M.A. Tereshina, O. Erina, D.I. Sokolov,

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

На основании данных учащенного автоматического мониторинга гидрологической структуры оз. Глубокое (Московская область) в безледный период 2018 года были исследованы особенности термодинамического режима водоема. Рассмотрено изменение вертикальной термической и плотностной структуры озера под действием изменяющихся синоптических условий.

Thermodynamic regime of the Glubokoe Lake in Moscow Region is described using temperature logger data collected during the ice-free period of 2018. Development of the vertical structure of the lake is shown in connection with weather conditions.

Введение. Кратковременные и сезонные изменения термодинамической структуры водоема могут значительно определять интенсивность протекания биологических процессов, в том числе продукционных. В то же время формирование гидрологической структуры. При этом часто именно кратковременные синоптические события могут определять значительные изменения плотностного профиля водной толщи. При использовании традиционных методов лимнологического мониторинга с проведением измерения 1-4 раза в месяц порой невозможно отследить воздействие различных экстремальных погодных явлений и кратковременных событий. При непрерывной фиксации характеристик водной толщи данная задача значительно упрощается, что позволяет достоверно выявить основные факторы, воздействующие на изменение температурной и плотностной эпюр в озере.

Материалы и методы. Объект настоящего исследования – озеро Глубокое, расположенное в Рузском районе Московской области на территории государственного заказника. Озеро Глубокое имеет грушевидную форму ложа, вытянутого с севера на юг. Максимальная длина озера составляет 1200 м, ширина - 850 м [1]. Максимальная глубина озера составляет 32 м, средняя – 9,3 м. Площадь зеркала озера – 593 000 м², объем – 5,5 млн м³. Коэффициент емкости составляет 0,29 (форма котловины близка к конусообразной), показатель открытости – 63 763 м. По термодинамическому режиму оз. Глубокое относится к димиктическому типу [2], полное вертикальные перемешивание происходит в нем как правило дважды в году, а в летний и зимний периоды формируется устойчивая температурная стратификация.

Собственные регулярные наблюдения за исследованием динамики вертикального распределения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик озера стали проводиться коллективом с 2017 года. В начале мая 2018 года в центральной и наиболее глубоководной части озера с глубиной около 29 метров нами были установлены логгеры температуры воды НОВО Pendant на глубинах 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 26 м с частотой записи показаний 1 раз в 15 минут. Это позволило получить подробные данные о термическом режиме озера и проследить за внутрисуточной изменчивостью параметров водной среды. Параллельно с этим 1 раз в 2 недели производилось зондирование водной толщи термокондуктометром YSI, что позволило оценить сходимость получаемых учащенных данных с результатами традиционного мониторинга. Ряды наблюдений за температурой воды, полученные за период инсталляции датчиков, подверглись ежесуточному осреднению, и были использованы для расчетов показателей гидрологической структуры озера. Обработка данных о температуре воды и их графическая интерпретация были произведены с помощью пакета rLakeAnalyzer, реализованного на языке R.

Результаты и обсуждение. Динамику гидрологической структуры озера Глубокое в 2018 году во многом определяли синоптические условия. Средняя температура воздуха за период наблюдения составила 13,9 °С. Максимум температур пришелся на середину июля (24,3 °С).

Суммарное количество осадков достигло 243 мм (за летний период выпало 144 мм, 91 мм в июле) (рис. 1).

Скорость ветра колебалась в пределах от 0 до 5,86 м/с (рис. 1). В период с 20.09 по 30.09 наблюдалось стремительное падение температуры воздуха, обильные осадки и увеличение скорости ветра. 29 сентября скорость ветра составила 6 м/с, наблюдались порывы ветра до 11 м/с, шел ливневой дождь (сумма осадков составила 40,4 мм), среднесуточная температура воздуха упала на 9,3 °С (с 16,2 °С до 6,8 °С). Именно сочетание данных факторов стало толчком к развитию вертикального перемешивания и разрушению термоклина.

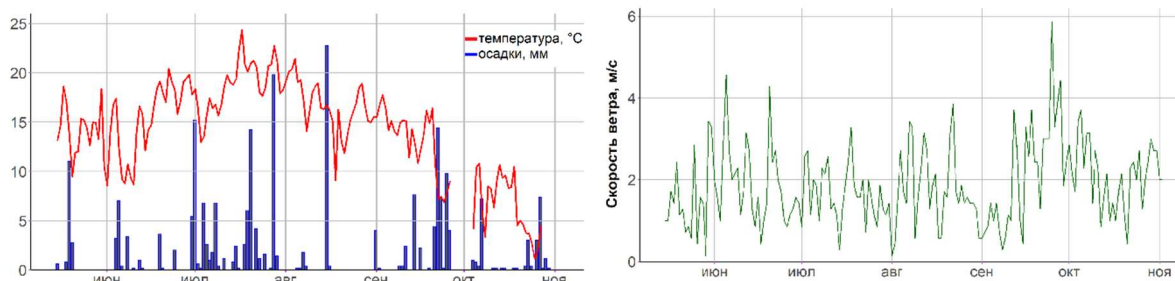


Рис. 1. Ход среднесуточной температуры воздуха, суммарного количества осадков и скорости ветра в 2018 г.

В течение летнего периода температура поверхностного слоя озера закономерно увеличивается (рис.2), максимум приходится на начало августа (25,4 °С), затем плавно снижается достигает минимума в начале ноября (6,16 °С), повторяя ход температуры воздуха (стоит учитывать, что накопление и расходование тепла водоемом запаздывает относительно максимума и минимума температуры воздуха, из-за чего происходит сдвиг по фазе). Средняя температура воды за летний период составила 21,7 °С.

Температура придонной водной массы вследствие особенностей формы озерной чаши (конусообразная, диффузионный поток тепла через слой скачка и глубинное перемешивание отсутствуют) за весь период не меняется и составляет около 4,95 °С.

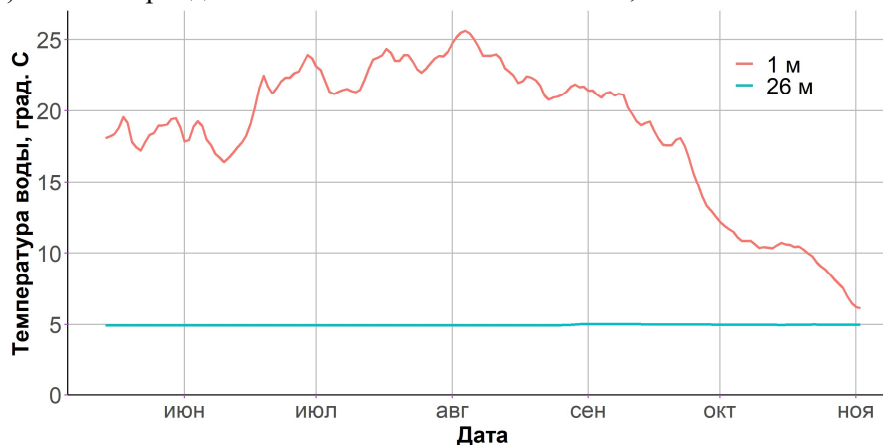


Рис. 2. Изменение среднесуточной температуры воды в поверхностном (1 м) и придонном (26 м) горизонтах озера Глубокое в 2018 г.

В начале летнего стратифицированного периода металимнион в оз. Глубокое располагается на глубинах 1-5 м, его толщина составляет всего 4 м при глубине озера 32 м. Примерно до середины июня его толщина не меняется, однако наблюдается заглубление как верхней, так и нижней его границы в связи с интенсивным прогревом поверхностного слоя и динамическим ветровым перемешиванием (рис. 3). Нижняя граница слоя скачка за период наблюдений за счет ветрового воздействия плавно опускается с 5 до 10 м.

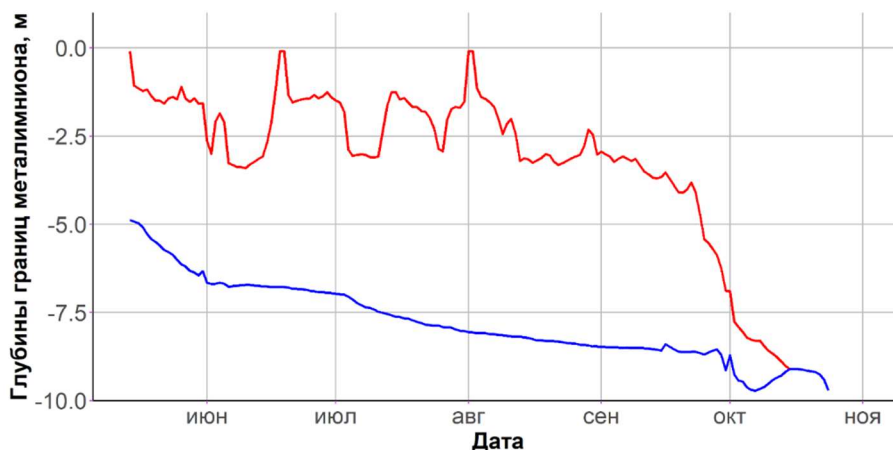


Рис. 3. Трансформация верхней и нижней границ металимниона в 2018 г

За весь период наблюдается три синоптических скачка, во время которых верхняя граница металимниона резко смещается вверх. Ход верхней границы металимниона почти полностью повторяет ход температуры воздуха.

Глубина эпилимниона не превышает 3,5 м, его минимальная толщина наблюдается в конце июня – начале июля. Максимальная мощность гиполимниона приходится на начало мая, когда только начинает формироваться прямая температурная стратификация, и составляет почти 27 м, минимальная наблюдается в октябре – 23 м. В середине октября происходит окончательное разрушение стратификации, и начинается период установления осенней гомотермии.

Одним из параметров, используемых для оценки стабильности плотностной стратификации, является устойчивость Шмидта. Она характеризует количество энергии, необходимое для полного перемешивания единичного стратифицированного водного столба ($\text{Дж}/\text{м}^2$). Непрерывный период с устойчивой прямой температурной стратификацией при значении устойчивости по Шмидту больше $200 \text{ Дж}/\text{м}^2$ (рис.4) наблюдался с 13 мая по 26 сентября (продолжительность периода составила 136 дней). В 20-х числа сентября начинается стремительное разрушение стратификации (которое, как было отмечено выше, связано с метеорологической обстановкой в этот период).

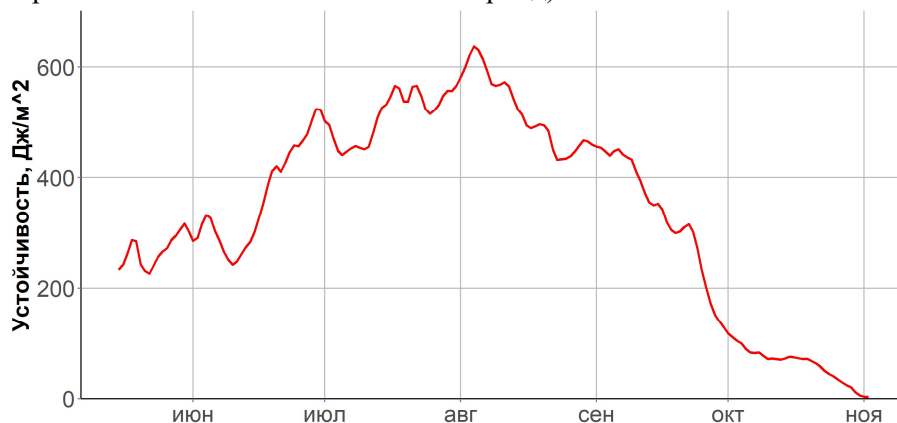


Рис. 4. Изменение значений устойчивости Шмидта в озере Глубокое в 2018 г.

Максимальные значения устойчивости наблюдались в начале августа, в целом ход устойчивости так же, как и ход температуры и глубины верхней границы термоклина, практически повторяет ход температуры воздуха. Средняя величина устойчивости водной толщи за летний период составляет $469 \text{ Дж}/\text{м}^2$, достигая максимальных значений в $637 \text{ Дж}/\text{м}^2$.

Выводы. Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что гидрологическую структуру стратифицированного озера наибольшее воздействие имеют как морфометрические характеристики, так и метеорологические условия. Имея морфометрические характеристики озера, можно сделать предварительный вывод о его термической структуре и температурном

режиме. Заметна сильная связь между метеорологическими характеристиками (температура воздуха, скорость ветра, сумма осадков) и сроками установления и разрушения плотностной стратификации в озере. Сроки установления стратификации в озере Глубокое зависят от метеорологической обстановки в весенний период, а температурный режим поверхностного слоя в летний период определяется преимущественно погодными условиями. На разрушение стратификации сильнее всего оказывает интенсивность выхолаживания водной толщи результате интенсивного ветрового перемешивания в осенний период.

Литература

1. Щербаков А. П. Озеро Глубокое: гидробиологический очерк. – Наука, 1967. – 380 с."
2. Шапоренко С.И., Шилькрот Г.С. Стабильность и изменчивость гидрохимических параметров озера Глубокое в условиях природного заказника // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 4. – С. 459–474.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-35-00691 мол_a).

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-35-00691 mol_a).

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ
НПО «ГИДРОТЕХПРОЕКТА»

Виноградов В.Ю., Марков М.Л., Обязов В.А., Кураков С.А., Догановский Д.А.

НПО «Гидротехпроект», Санкт-Петербург, Россия

STUDIES OF THE PROCESSES OF FORMATION OF RUNOFF AT THE EXPERIMENTAL LANDFILL NPO
GIDROTEKHPROEKT

Vinogradov V. Y., Markov M. L., Obyazov V. A., Kurakov S. A., Doganovskii D. A.

NPO "Gidrotekhproekt", Saint-Petersburg, Russia

Рассмотрена организация экспериментального полигона для изучения процессов теплооборота на малых водосборах, расположенных в центральной части европейской России. Даны количественные оценки режима порового давления воздуха над зеркалом грунтовых вод, который влияет на питание и разгрузку в реки подземных вод.

The organization of an experimental landfill for the study of heat and moisture turnover processes in small catchments located in the Central part of European Russia is considered. Quantitative estimates of the regime of pore air pressure over the groundwater mirror, which affects the supply and discharge of groundwater, are given

Экспериментальные исследования процесса формирования речного стока в России в последние три десятилетия существенно сокращены. Вместе с тем, назрела острая необходимость в развитии и совершенствовании методов расчета и прогноза гидрологического режима в условиях изменения климата. Разработанные методы, преимущественно на данных гидрометеорологических наблюдений второй половины XX века, уже не могут давать удовлетворительные результаты для решения практических водохозяйственных и других задач, связанных с водными объектами. Анализ современных отечественных и зарубежных научных публикаций показывает на отсутствие заметных достижений в области повышения точности методов расчетов стока рек. Это обусловлено не только изменением климатических условий формирования водного режима, но и рядом причин, среди которых основная заключается в неудовлетворительном знании фундаментальных закономерностей физических процессов водообмена в речных бассейнах. Особенно это актуально для малых речных водосборов, как наименее изученных элементов гидрографической сети, где гидрогеологические особенности могут играть решающее значение в формировании речного стока. Получение же таких знаний должно базироваться на результатах экспериментальных натурных (полевых) и лабораторных (на основе физического и математического моделирования) исследований процессов взаимодействия речных и подземных вод в различные фазы гидрологического цикла.

Одна из главных проблем, вставшая в последние десятилетия в гидрологии связана с произошедшим изменением соотношений основных элементов водного баланса и теплооборота в речных бассейнах. Изучая проблемы формирования стока, НПО "Гидротехпроект" в течение нескольких лет исследует приводораздельные водосборы возвышенностей, на которых берут начало реки бассейнов Волги, Днепра и Западной Двины. На одном из этих водосборов организован экспериментальный полигон для изучения

гидрологических и гидрофизических процессов формирования стока. Доклад посвящен обустройству полигона и первым результатам проведенных научных исследований.

Полигон расположен на границах Тверской и Смоленской областей в Междуречье притоков Волги – р. Вазуза (бассейн р. Осуга); притоков Западной Двины (бассейн р. Обша) и верховьях р. Днепр. Реки берут начало из одного верхового болотного массива Аксенинский мох – Гавриловское (рис. 1). В настоящее время на полигоне действуют 5 водных постов НПО «Гидротехпроект» и 1 пост Смоленского ЦГМС (Табл.1)

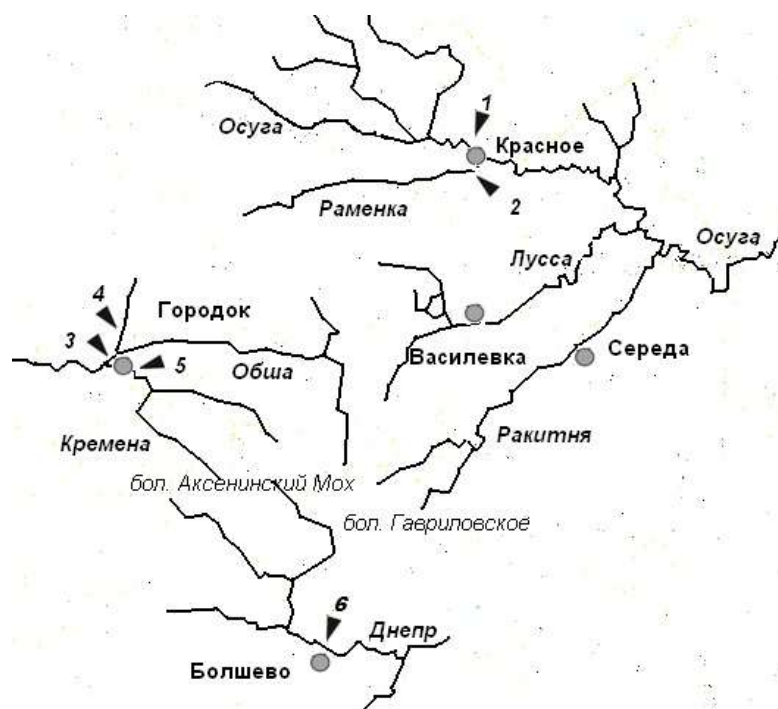


Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов НПО «Гидротехпроекта и Росгидромета.

Рассматриваемая территория интересна для исследований по причине резко выраженного различия водного режима малых рек, водосборы которых обладают близкими физико-географическими характеристиками (табл. 2).

Таблица 1- Характеристики рек, где ведутся многолетние гидрологические наблюдения

№ п/п	Река-пост	Площадь водосбора, км ²	Бассейн
1	Осуга-Красное	304	Волга
2	Раменка-Красное	79	
3	Обша-Городок	198	Западная Двина
4	Славин-Городок	14,4	
5	Кремена-Городок	128	
6	Днепр-Болшево	262 (247)	Днепр

Таблица 2 – Сравнительные величины максимальных и минимальных измеренных расходов для водотоков полигона «Междуречье»

река-пункт	площадь, км ²	меженный расход 2014 г, м ³ /с	максимальный расход весна 2015 года, м ³ /с
Обша-Городок	198	0,11	6,6
Осуга-Красное	304	1,1	12,1
Днепр-Болшево	262	0,02	4,4

На полигоне установлен атмосферно-почвенный измерительный комплекс, который является разновидностью систем автоматического мониторинга состояния окружающей среды [1,2]. Он представляет собой автоматический метеокомплекс с сопряженным набором почвенных датчиков температуры, влажности и давления порового воздуха. Обслуживание датчиков производится посредством программного обеспечения «Центр управления регистраторами». Данные экспортируются в текстовый формат *.csv, воспринимаемый табличным процессором Microsoft Excel. Минимальный период измерений составляет 1 минута. В настоящее время опрос датчиков производится каждые 3 часа с утренним отсчетом в 7 часов согласно [3]. Показания с атмосферных и почвенных датчиков снимаются в одно и то же время. Данные передаются автоматически по мобильной связи на указанные адреса.

Обработка первых результатов комплексных наблюдений на полигоне показала высокую чувствительность многих гидрофизических параметров в почво-грунтах не только к текущим метеорологическим условиям, но и к уровенному режиму в реке. Наиболее ярко это проявляется в уровнях грунтовых вод. Не смотря на то, что скважины удалены от рек на расстояние боле 300 м и уровень в них расположен выше уровня в реках от 2,5 до 5 м (скв.3), наблюдается полная синхронность хода уровня грунтовых вод в весенний период с уровнем в реке (рисунок 2). Еще более неожиданный результат получился с поровым давлением в зоне аэрации. Поровое давление на глубинах 1,5-2 м отличалось от атмосферного в период весеннего половодья на величину, эквивалентную до 1200 мм в слое воды (рисунок 3).

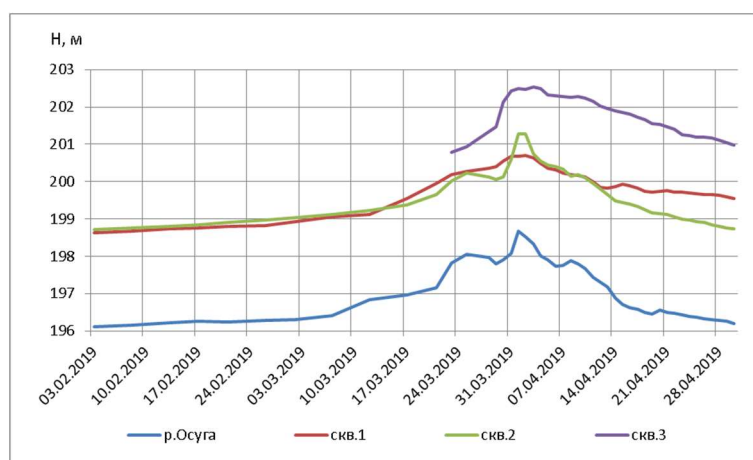


Рис.2.Ход уровня воды в р.Осуга и гидрогеологических скважинах

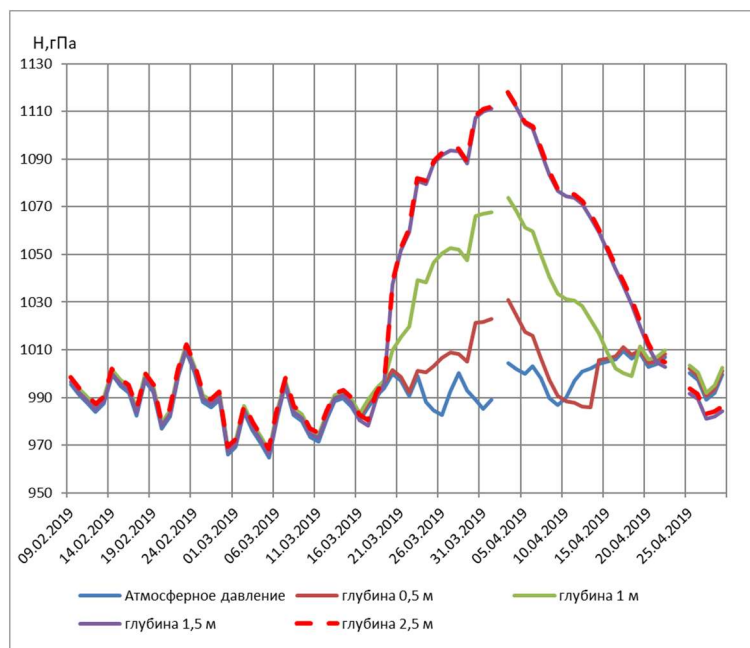


Рис. 3. Динамика давления атмосферного воздуха и порового на разных глубинах почвогрунтов.

В научной литературе уделяется достаточно большое внимание роли заземленного воздуха в механизме передачи давления на поверхность подземных вод при интенсивном выпадении атмосферных осадков [4-6]. В рассматриваемом случае объяснить возникновение такой большой разницы давления порового воздуха с атмосферой (более 500 мм в эквиваленте слоя воды) за счет инфильтрации талых и дождевых вод весной не представляется возможным. Наиболее вероятно это связано с быстрым подъёмом уровня грунтовых вод на 2-2,5 м, обусловленного тесной гидравлической связью с уровнем воды в реке. Этому также способствовала низкая воздухопроницаемость в поровом пространстве зоны аэрации, состоящей из супесей и суглинков.

В статье [7] показано, что решающую роль в формировании режима грунтовых вод играет расположенная над зеркалом грунтовых вод область с заземлённым внутриводным воздухом. При росте атмосферного давления объём воздуха уменьшается, а при падении - растёт. Это, в свою очередь, приводит в первом случае к оттоку влаги из зоны грунтовых вод в дрены (в том числе реки) и к падению их уровня, а во втором случае к обратным последствиям. Полевые и лабораторные эксперименты, приведенные в упомянутой работе показали, что давление воздуха в области, лежащей выше грунтовых вод, изменяется под воздействием многих факторов, включая атмосферное давление. К ним относятся температура грунта, процессы испарения – конденсации в летний период и миграции влаги в зимний. Изменения давления внутриводного воздуха определяют вариации уровня грунтовых вод. Данные, полученные на полигоне Гидротехпроекта впервые показывают, что «заземленный» воздух может возникать при быстром подъёме уровня грунтовых вод. Гидрологическим следствием этого может стать снижение потерь талых и дождевых вод на инфильтрацию, увеличение доли поверхностного стока и максимальных расходов воды, эрозии почв, увеличении испарения с

почвы, снижение влажности в толще зоны аэрации (с возрастанием вероятности почвенной засухи в летний период).

Приведенные предварительные результаты комплексных гидрометеорологических и гидрофизических наблюдений на полигоне Гидротехпроекта ставят новые вопросы о механизме формирования речного стока и, в частности, его подземной составляющей. Наряду с традиционной теорией, согласно которой подземный приток в русло формируется путем фильтрационных процессов под действием гравитационных сил, подтверждается ранее выдвинутая гипотеза [8] о регулировании этого процесса поровым давлением, с одной стороны влияющим на инфильтрацию и питание грунтовых вод, а с другой в выдавливании значительных объемов подземных вод под воздействием внешних или внутренних факторов. Этот вывод требует дальнейших экспериментальных исследований, так как при его подтверждении может существенным образом измениться представление о формировании литогенного звена круговорота воды, что в дальнейшем должно найти отражение в методах расчета и прогноза водного режима.

Литература

1. Кураков С.А. Система автономного мониторинга состояния окружающей среды.// Датчики и системы, 2012, № 4 (155), с. 29—32.
2. Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ.// Приборы и техника эксперимента, 2008, № 5, с. 166—167.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. — Л., Гидрометеиздат, 1969, 306 с.
4. Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. (ред. Ковриго В.П.)Издательство: Колос, 2000 г. 416 стр.
5. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Гидрофизические процессы на водосборе. 2012, Санкт-Петербург, Нестор-История. 616 с.
6. Завилейский С.В., Марунич С.В., Соколов Б.Л. Механизм формирования речного стока на малых водосборах Валдая.// Изв. РАН, Серия геогр. 2000. №2. с 37-40
7. Лавров С.А., Марков М.Л. Оценка влияния атмосферного давления воздуха на уровень и сток грунтовых вод.//Инженерные изыскания . Том XII, № 11-12/2018, с.44-51.
8. Соколов Б.Л. Новые результаты экспериментальных исследований литогенной составляющей речного стока.//Водные ресурсы, 1995, Том 23, № 3, с. 278—287.

ПРИБРЕЖНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ДЛЯ ЮГО-ЗАПАДА ПИРЕНЕЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ПРОЕКТ OCASO)

С.Ю. Виноградов¹, М. Бруно¹, А.Искуердо¹

¹Кадисский университет, Кадис, Испания

A COASTAL ENVIRONMENTAL OBSERVATORY FOR THE SOUTHWESTERN IBERIAN PENINSULA (OCASO PROJECT)

S.Y. Vinogradov¹, M. Bruno¹, A. Izquierdo¹

¹University of Cádiz, Cádiz, Spain

OCASO (Observatorio Costero Ambiental del Sur-Oeste, Юго-Западная прибрежная экологическая обсерватория) - это текущий проект, направленный на создание полной структуры трансграничной оперативной океанографии с целью провести интеграцию наблюдений с возможностями прогнозирования и анализа систем моделирования, существующих на иберийском юго-западе.

OCASO (Observatorio Costero Ambiental del Sur-Oeste, Southwest Coastal Environmental Observatory) is an ongoing project aiming at creating a full structure of trans-boundary Operational Oceanography. It pursues the integration of observations with the forecasting and analytical capabilities of the modeling systems existing in the Iberian southwest.

Введение

OCASO (Observatorio Costero Ambiental del Sur-Oeste, Юго-Западная прибрежная экологическая обсерватория) - это трансграничная инициатива, нацеленная на интеграцию существующих возможностей наблюдений и моделирования для стимулирования использования прибрежной и морской экологической информации местными конечными пользователями, включая администрации. Конечная цель заключается в содействии устойчивому развитию иберийских юго-западных прибрежных районов (Алентежу и Алгарве в Португалии и Андалусии в Испании), способствуя укреплению подхода «голубой экономики». OCASO претендует на роль связующего звена между местными прибрежными и морскими конечными пользователями, и национальными и европейскими агентствами и инициативами, разрабатывающими прибрежные и морские экологические продукты и услуги. OCASO финансируется Программой сотрудничества Interreg V-A ИСПАНИЯ-ПОРТУГАЛИЯ (РОСТЕР) на 2014-2020 годы. Участвующими учреждениями в Испании являются Университет Кадиса (UCA, координатор), Испанское портовое управление (PdE) и Испанский институт океанографии (IEO), а в Португалии - Университет Алгарве (UALg) и Гидрографический институт ВМФ(ИПРТ).

Юго-запад иберийского полуострова: Еврорегион АЗ

OCASO фокусируется на зоне сотрудничества, принадлежащей Еврорегиону Алентежу-Алгарве-Андалусия (АЗ)(Рисунок 1).



Рис. 1. Расположение Еврорегиона А3[1].

Еврорегион А3, площадь которого составляет 130 000 км², простирается вдоль береговой линии протяженностью 1500 км, представляя большое природное разнообразие: пляжи, заливы, скалы, болота и лиманы, горные хребты и долины, сочлененные вокруг двух великих водосборных бассейнов, рек Гвадалквивир и Гвадиана. В прибрежной зоне сконцентрировано большинство из почти 10 000 000 населения, а также в значительной степени экономическая деятельность и инфраструктура в этом регионе. Три географические особенности, имеющие стратегическое значение, определяют его прибрежную и морскую область: Гибралтарский пролив, Кадисский залив и мыс Сент-Винсент, особенности которых определяют местные океанографические и метеорологические условия (фронтальные устьевые зоны, прибрежный апвеллинг, приливные процессы, ветровые волны, внутренние волны, штормовые явления и т. д.) влияющие на образ жизни местного населения и хозяйственную деятельность.

Уникальность этого прибрежного и морского района заключается в большом разнообразии и значимости существующих прибрежных мест. По этой причине в этом регионе находится одна из крупнейших в Европе сетей охраняемых прибрежных районов, на которую приходится 165 охраняемых территорий общей площадью около 30 000 км². В то же время стратегический характер прибрежной зоны А3 делает прилегающее морское пространство очень важным морским коридором с очень высокой плотностью морских перевозок, включая нефтяные танкеры. Кроме того, прибрежные виды деятельности, такие как аквакультура, кустарное рыболовство и туризм, играют доминирующую роль в местной экономике. Все это подразумевает высокую уязвимость к природным (штормовые нагоны, цунами и т.д.) и антропогенным (разливы нефти, бактериальное загрязнение и т.д.) опасностям. Это делает необходимым иметь наиболее точную информацию для планирования, гармонизации использования и управления ресурсами для устойчивого развития прибрежной зоны в этом регионе. Набор общих условий определяет общие трансграничные проблемы, в том числе НИОКР, высшее образование, занятость, окружающая среда, туризм, морская и ветровая энергетика, рыболовство и аквакультура.

Цели проекта и предварительные результаты

Основной целью проекта OCASO является создание полной структуры трансграничной оперативной океанографии, которая объединяет наблюдения с прогнозирующими и аналитическими возможностями существующих систем моделирования на иберийском юго-западе для непрерывного и раннего предоставления конечному пользователю соответствующей информации наиболее подходящим способом.

Парадигма оперативной системы океанографии или полной системы наблюдения за окружающей средой основана на целях, поставленных обществом, и достижима благодаря

научному совершенству и технологическим инновациям. По этой причине решения, которые мы предлагаем для задач, диагностированных в Еврорегионе АЗ, используют существующие возможности в рамках общей стратегии развития экологической обсерватории, которая включает в себя несколько видов деятельности (активностей).

1. Модернизация существующей инфраструктуры метеорологических и океанографических наблюдений.

В рамках проекта установлен HF (high frequency, высокочастотный) радар близ Камаринал (рисунок 2), Андалусия, Испания. Добавлены измерители течений ADCP на буи Кадис и Фаро. Силами Центра Морских и Экологических Исследований Университета Алгарве (CIMA-UA1g) в Кадисском заливе запущен автономный подводный аппарат (AUV) с целью сбора натуральных данных. Гидрологическим институтом ВМФ Португалии (ИНПТ) ведется разработка и тестирование программного обеспечения для детектирования цунами. В тестовом режиме запущена разработанная в Университете Кадиса система передачи данных в реальном времени с борта научно-исследовательского судна UCADIZ. В Университете Кадиса также введена в эксплуатацию собственная станция приема спутниковых изображений.



Рис. 2. Антенна высокочастотного радара

2. Разработка и адаптация гидродинамических и атмосферных моделей, доступных в рамках консорциума.

В Университете Кадиса в оперативном режиме запущены собственные гидродинамические модели UCA2D, UCA2.5D, UCA3D, а также метеорологическая модель WRF[1]. Совместно с испанским портовым управлением (PdE) запущен процесс непрерывной валидации результатов моделирования, позволяющий не только повысить качество получаемых результатов, но и осуществлять постоянный мониторинг процесса моделирования, своевременно устраняя возникающие технические сбои. Участниками консорциума запущены в оперативный режим следующие собственные модели: IBI/MERCATOR (PdE), SAMPA (PdE), Ondas (ИНПТ), SOMA (UA1g).

3. Управление данными: организация, доступ и стандартизация протоколов.

Между участниками консорциума достигнуты соглашения по стандартизации именования файлов данных и переменных в файлах, предоставляемых для обмена. Ведутся работы по запуску и тестированию обмена данными в оперативном режиме.

4. Продукты и услуги: Разработка пользовательского интерфейса. Определение групп пользователей и их потребностей.

На предварительном этапе разработки была произведена работа по определению групп конечных пользователей и наиболее важных для них параметров в различных категориях, таких как физические (температура воды и воздуха, соленость, атмосферное давление, влажность и осадки, солнечная радиация), динамические (волнение моря, течения на поверхности, уровень моря, скорость ветра), биологические (содержание в воде растворенного кислорода, хлорофилла, питательных веществ, а также мутность воды и pH) и морфологические (береговая линия и батиметрия). Опрос предполагаемых групп пользователей происходил путем личного общения на различных мероприятиях, в виде опроса на сайте проекта, а также путем проведения электронных рассылок.

В настоящее время ведется разработка системы предварительной обработки (пре-процессинга) и визуализации полученных данных для конечных пользователей: OCASO-Map. Разрабатываемая система будет способна ассимилировать различные входные данные (данные измерения in-situ, результаты моделирования, спутниковые изображения) и визуализировать их на картографической основе. Разработка ведется на технической базе Университета Кадиса с использованием современных веб-технологий с открытым исходным кодом. В результате предполагается получить интерактивный продукт, способный предоставить интересующую информацию в виде, понятном не только профессионалам, но и в специально адаптированном виде для неподготовленных пользователей. Принципиальная схема, демонстрирующая взаимосвязь всех компонентов системы, представлена на рисунке 3.

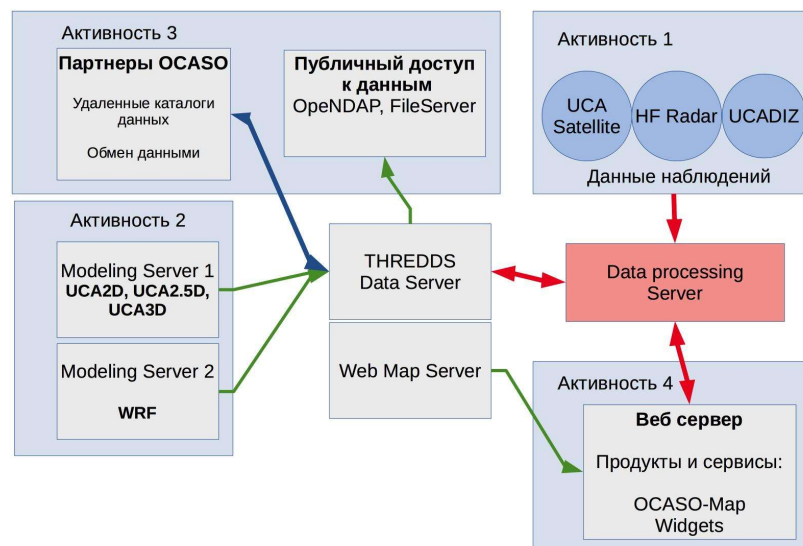


Рис. 3. Принципиальная схема системы оперативной океанографии, разрабатываемой в Университете Кадиса в рамках проекта OCASO

5. Коммуникации.

С целью обеспечения информированности заинтересованных групп пользователей участниками проекта проводятся научно-технические семинары, публикуются научные статьи. В дальнейшем, после завершения разработки конечных продуктов, планируется выпустить соответствующие информационные материалы и руководства пользователя.

Благодарности. Acknowledgments

Доклад представлен от имени всех участников проекта.

The report is presented on behalf of all project participants.

Проект OCASO финансируется Программой сотрудничества Interreg V-A ИСПАНИЯ-ПОРТУГАЛИЯ (РОСТЕР) на 2014-2020 годы в соответствии с соглашением GA 0223_OCASO_5_E.

OCASO project is funded by the Cooperation Programme Interreg V-A SPAIN-PORTUGAL (РОСТЕР) 2014-2020 under grant agreement GA 0223_OCASO_5_E.

Литература

1. Plan de acción de cooperación transfronteriza Alentejo-Algarve-Andalucía [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.pact-a3.org/euroregion.php>

2. WRF – Weather Research and Forecast Model [электронный ресурс] / National Center for Atmospheric Research. – Режим доступа: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАВОДКА НА РЕКЕ ИЯ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ) В ИЮНЕ 2019 ГОДА

Т.А. Виноградова^{1,3}, А.Д. Колупаева¹, А.Н. Шихов⁵, О.М. Макарьева^{1,2}, Н.В. Нестерова^{1,4}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Институт мерзлотоведения им. М.П.Мельникова Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия

³ООО «НПО «Гидротехпроект»», Санкт-Петербург, Россия

⁴Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

⁵Пермский государственный университет, г. Пермь, Россия

MODELING AND ANALYSIS OF THE FLOOD IN JUNE 2019 ON THE IYA RIVER (IRKUTSK REGION)

T.A. Vinogradova^{1,3}, A.D. Kolupaeva¹, A.N. Shikhov⁵, O.M. Makarieva^{1,2}, N.V. Nesterova^{1,4},

¹Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia

³“Gidrotehproekt” LLC, St. Petersburg, Russia

⁴Russia State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

⁵Perm State University, Perm, Russia

В работе проведено гидрометеорологическое моделирование, выполнен анализ режима и оценка величины паводка на р. Ия в июне 2019 года. Показана возможность прогноза катастрофических гидрологических явлений при использовании прогнозных метеорологических данных модели ICON и гидрологической модели Гидрограф.

The paper analyzes the regime and estimates of the magnitude of the flash flood on the Iya river in June 2019. The results of the study confirm the possibility to apply the method of hydrometeorological modeling for the assessment and prediction of maximum water discharges.

Иркутская область является одним из наиболее паводкоопасных регионов России. В конце июня 2019 года на реках Иркутской области, стекающих с гор Восточного Саяна (Ия, Уда, Бирюса и Ока) прошел экстремальный дождевой паводок, ставший самым разрушительным в регионе за всю историю наблюдений. Паводок привел к катастрофическому затоплению г. Тулун и других населенных пунктов, расположенных в пойме р. Ия [1]. Среди обсуждаемых причин экстремального паводка – сильные продолжительные дожди как результат изменений климата, таяние снега и ледников в горах Восточного Саяна, обезлесение бассейнов рек из-за вырубок и пожаров и др. [2]

Целью исследования стал расчет режима и оценка величины паводка на р. Ия в июне 2019 года методом гидрометеорологического моделирования, что также позволило оценить современные возможности этого метода для прогноза катастрофических гидрологических явлений.

Река Ия берет начало на северных склонах Восточного Саяна высотой до 2789 м (г. Холба) при слиянии рек Холбы и Хиаи. Водный режим реки характеризуется невысоким весенне-летним половодьем, интенсивными дождевыми паводками, следующими друг за другом, и низкой зимней меженью. В бассейне р. Ии расположено три действующих гидрологических поста. Гидрологический пост р. Ия – г. Тулун расположен в 4 км ниже г. Тулуна. Площадь водосбора составляет 14500 км² (Рис. 1).

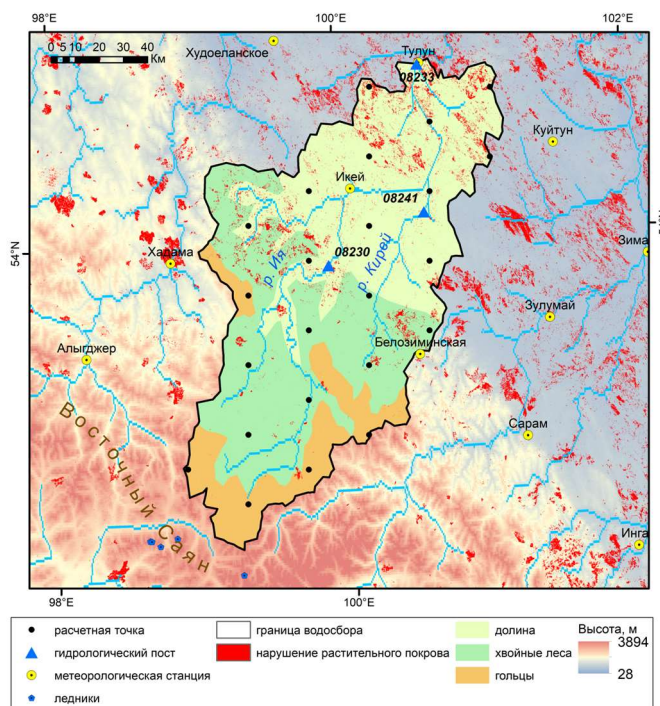


Рис. 1. Объект исследования

Для исследования условий развития катастрофического паводка в бассейне р. Ия использована распределенная гидрологическая модель Гидрограф [3, 4]. Модель уже зарекомендовала себя работоспособным инструментом исследования гидрологических процессов и оценки характеристик стока в различных физико-географических условиях, а также на объектах любых размеров [5, 6, 7, 8].

В целях подготовки к моделированию водосбор р. Ия был покрыт регулярной гексагональной сеткой, узлами которой являются репрезентативные точки (РТ), в узлы которой в процессе моделирования с учетом высотных градиентов интерполируются данные метеорологических станций. Для параметризации модели бассейн р. Ия был разбит на три стокоформирующих комплекса (СФК) – гольцы, темнохвойный лес и долины рек (Рис.1). Выделение СФК проведено на основе спутниковых снимков Landsat и ландшафтной карты СССР, что позволило расширить информацию, полученную с помощью снимков, подробным описанием комплекса, представленным в ландшафтной карте. В пределах СФК «Гольцы» формируется быстрый сток без перехвата растительностью и почво-грунтами, в то время как СФК «Темнохвойный лес» характеризуется, наоборот, большой способностью перехвата осадков, а в СФК «Долины рек» большое значение на элементы водного баланса оказывает испарение.

Верификации модели проведена посредством непрерывного моделирования стока для трех действующих створов с суточным шагом за период 1970-1996 гг., который определялся наличием метеоданных для 7 станций, в том числе м/с Белозиминской, наиболее репрезентативной для горной части водосбора и закрытой после 1996 г. (Рис. 1). Для оценки результатов моделирования проведено сравнение элементов водного баланса и величины критерия эффективности Нэша-Сатклиффа (NS) (Таблица 1).

Таблица 1. Водный баланс и критерии эффективности

Код поста	Река – створ	S	Y _o	Y _s	P	E	NS (m/av)	NS (max, год)	NS (min, год)
8230	Ия – Аршан	5140	540	530	770	240	0,67/0,61	0,78 (1986)	0,14 (1971)
8233	Ия – Тулун	14500	330	330	590	260	0,61/0,56	0,81 (1972)	0,21 (1983)
8241	Кирей – Уйгат	2950	380	400	640	240	0,66/0,57	0,85 (1972)	-0,11 (1993)

Примечание: S – площадь водосбора, км²; Y_o и Y_s – наблюдаемый и рассчитанный среднегодовой слой стока, мм; P, E – рассчитанные осадки и испарение, мм; t и av – медиана и среднее значение NS; max и min – максимальное и минимальное значение NS.

Ошибка моделирования среднегодовой величины годового стока не превышает 5%. Критерий NS составил в среднем от 0,56 до 0,68, медиана от 0,61 до 0,71. На рис. 2 приведены примеры сравнения наблюдаемых и рассчитанных гидрографов стока.

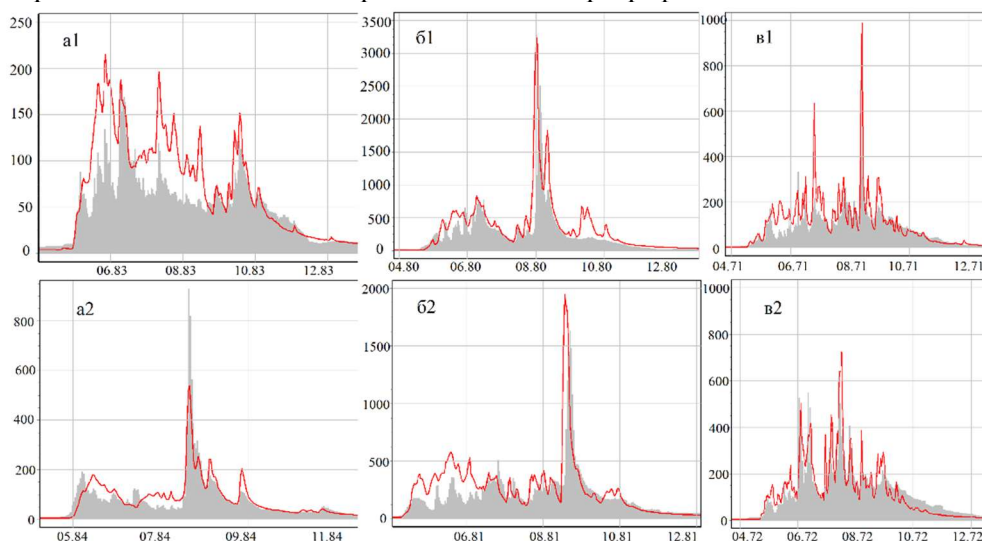


Рис. 2. Примеры рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока: а – р. Кирей – Уйгат; б – р. Ия – Тулун; в – р. Ия – Аршан.

После верификации параметров модели было проведено моделирование паводка 26-30 июня 2019 г. на основе данных модели ICON. В качестве начальных условий был принят 1989 год, который по условиям весеннего половодья примерно совпадал с 2019 г. До 31 мая моделирование проводилось на основе данных метеорологических станций с суточным шагом, а с 1 по 30 июня на основе 3-часовых рядов данных модели ICON.

Для возможности сравнения рассчитанных расходов воды паводка был восстановлен «наблюдаемый» расход на основе кривой связи суточных расходов и уровней, построенной на основе данных за 2013-2015 гг. и с добавлением рядов максимальных величин, наблюдаемых ранее. На основе экстраполяции кривой до уровней, опубликованных в [8], были оценены максимальные расходы воды прошедшего паводка.

По итогам моделирования получено, что среднесуточный расход составлял более 3500 м³/с в течение 3 дней, а максимальный рассчитанный 3-часовой расход – около 4600 (т.е. есть не на много выше расхода 1984 года (4040 м³/с) – максимального из всего ряда наблюдений, однако не повлекшего за собой разрушений таких масштабов и такого количества жертв)).

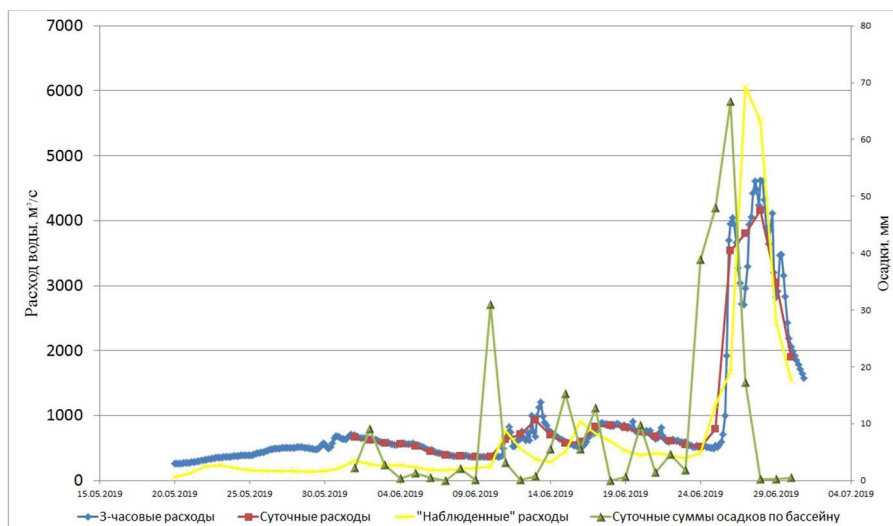


Рис. 3. Результаты моделирования паводка

Таким образом, в работе проведено гидрометеорологическое моделирование, выполнен анализ режима и оценка величины паводка на р. Ия в июне 2019 года. А также показана возможность прогноза катастрофических гидрологических явлений при использовании прогнозных метеорологических данных модели ICON и гидрологической модели Гидрограф.

Литература

1. Официальный сайт «газета.ru» (Грядет новый потоп: что будет с Иркутской областью) URL: <https://www.gazeta.ru/social/2019/07/01/12467917.shtml> (дата обращения: 06.07.2019).
2. Официальный сайт «Комсомольская правда» (Причины наводнения в Иркутской области: почему затопило Тулун и Нижнеудинск) <https://www.irk.kp.ru/daily/26996.5/4057909/> (дата обращения: 06.07.2019).
3. Виноградов, Ю. Б., 1988. Математическое моделирование процессов формирования стока (опыт критического анализа). Гидрометеиздат, Ленинград.
4. Виноградов, Ю. Б., Виноградова, Т. А., Математическое моделирование в гидрологии. Академия, Москва, 2010, С. 544.
5. Vinogradov Yu.B., Semenova O.M., Vinogradova T.A., 2011. An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system. Hydrological Processes, No. 25, pp. 1055–1073, <https://doi:10.1002/hyp.7901>.
6. Макарьева О.М., Виноградова Т.А., Нестерова Н.В., Виноградов А.Ю., Бельдиман И.Н., Колупаева А.Д., 2018. Моделирование катастрофических паводков в бассейне р. Туапсе. Геориск, Том XII, No 3, с. 78–89.
7. Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Виноградова Т.А., Бельдиман И.Н., Колупаева А.Д., 2019. Расчет характеристик катастрофических паводков неизученной реки Цемес (г. Новороссийск, Черноморское побережье России) на основе гидрологической модели «Гидрограф». Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, Том 64, No 1, с. 24–43, <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.102>
8. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России, 2019. URL: <http://gis.vodinfo.ru/> (дата обращения: 30.07.2019).

ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ ВОДЫ НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ)

Г.Н. Войнов^{1,2}, А.А. Пискун²

¹Санкт-Петербургское отделение Государственного океанографического института, Санкт-Петербург, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

THE PROBLEM OF QUALITY OF WATER LEVEL OBSERVATIONS AT POLAR STATIONS OF THE ARCTIC SEAS (ON THE EXAMPLE OF THE GULFS OF OB AND TAZ)

G.N. Voinov^{1,2}, A.A. Piskun²

¹St-P. branch State Oceanographic Institute, St-Petersburg, Russia

²Arctic and Antarctic research Institute, St-Petersburg, Russia

Рассмотрены причины нарушения качества уровенных наблюдений в Обской и Тазовской губах. Приведена информация о методике контроля качества исходных материалов и корректировки рядов уровней.

The reasons of violation of quality of level observations in the gulfs of Ob and Taz are considered. Information on the method of quality control of raw materials and adjustment of series of levels is given.

Качество уровенных наблюдений является одним из важнейших показателей, определяющих надёжность оценок изменчивости уровня различных временных масштабов. Как показано в работах [1–4], в Обской и Тазовской губах на качество данных влияют такие факторы, как репрезентативность местоположения уровенного поста, состояние высотной основы и регулярность её контроля, дискретность наблюдений, отношение наблюдателя к выполнению требований действующих наставлений по наблюдениям за уровнем и первичной обработке результатов наблюдений.

По всем стационарным постам, расположенных в устьях малых рек, впадающих в губу, либо у отмельных берегов губы, отмечается нарушение репрезентативности наблюдений за уровнем по отношению к акватории губы в зависимости от сезона и синоптической ситуации (нарушение подлёдной связи поста с губой, сгон или нагон редкой повторяемости и т.п.) [3].

В период 1976–1978 гг. для станций Обской и Тазовской губ было изменено высотное положение нулей постов. Это было вызвано введением единого нуля (ЕНП), равного –5,000 м БС для всех морей СССР, связанных с Мировым океаном. При этом для большинства станций Обской губы ЕНП был введён с опережением перехода на урavnенную систему высот, что в дальнейшем усложнило формирование однородных уровенных рядов. Известно, что любое уточнение отметок реперной сети постов влечёт за собой необходимость соответствующей корректировки отметок нулей постов. Но в данном случае они становятся отличными от ЕНП, что сводит на нет идею перехода на эту систему. При этом для сохранения однородности уровенного ряда на посту (относительно высотного положения плоскости отсчёта) при каждом уточнении высотной основы приходится заново вводить поправки к ранее наблюденным уровням. Определение таких поправок требует анализа опубликованных и архивных материалов Водного кадастра по высотной основе постов, что и было выполнено авторами [2–5].

Детальный анализ данных по уровням на постах Обской и Тазовской губ показал, что для периода конца 80-х и начала 90-х гг. XX века они ненадёжны ввиду отсутствия контроля высотной основы поста, и, в ряде случаев, прямой фальсификации как результатов нивелировок реперов и уровнемерных устройств поста, так и результатов наблюдений [1–5].

Дискретность наблюдений также существенно влияет на качество получаемых данных. Сравнение характеристик уровня воды, вычисленных для ежечасных, 4-срочных и 2-срочных наблюдений на постах Обской и Тазовской губ показало [6], что наибольшие расхождения между ежечасными и 4-срочными наблюдениями при определении среднесуточных уровней достигают

8–33 см, среднемесячных – 1–3 см, среднегодовых – близка к нулю, экстремальных – 32–78 см. Наибольшие расхождения между ежечасными и 2-срочными данными при определении среднесуточных уровней достигают 21–96 см, среднемесячных – 4–27 см, среднегодовых – 2–3 см, экстремальных – 60–177 см.

Среди перечисленных факторов, определяющих качество данных по уровням, особую сложность представляет выявление ошибок, обусловленных несоблюдением наставлений по производству наблюдений и первичной обработке их результатов. Практически, эти ошибки невозможно выявить с помощью традиционных методов контроля данных. На протяжении ряда лет в ААНИИ разработана оригинальная методика и авторские компьютерные программы контроля данных уровневых наблюдений [7, 8, 9]. Они позволяют обрабатывать и анализировать данные ежечасных и срочных уровней, полученных на стационарной сети и в экспедициях. С их помощью получены принципиально новые результаты по приливам, проведена коррекция сомнительных материалов и обеспечена привodka временных рядов к однородным массивам.

В общих чертах методика контроля данных уровневых наблюдений и их коррекции сводится к следующему.

На первом этапе обрабатываются гармоническим анализом по методу наименьших квадратов (МНК) все имеющиеся ежечасные серии с целью формирования оценок гармонических постоянных прилива на каждый месяц года. Затем расчёты ведутся с помощью разработанной программы предвычисления прилива на основе 12 наборов списков волн прилива (до 42 долгопериодных, суточных, полусуточных и мелководных волн в каждом месяце). Причем в эти списки были включены долгопериодные приливы (до 7 волн – $M_n, S_a, S_{sa}, S_{ta}, S_{qa}, M_m, M_f$). В первом приближении считалось, что долгопериодные приливы не имеют сезонной изменчивости и остаются постоянными в течение года. На самом деле волны прилива M_m и M_f в небольшой степени меняются под влиянием ледяного покрова [3], но учет этой изменчивости не имеет практического значения вследствие небольших значений амплитуд этих приливов (около 1 см). В случае аномальной сезонной изменчивости основных волн приливов значения амплитуд сложных второстепенных волн, описывающих их изменение в годовом цикле, становятся близкими по значениям амплитуд с таковыми основных волн. В этих условиях расчет прилива (предвычисление) по средним годовым оценкам не обеспечивает точного схождения гармонических постоянных по месяцам с полученными средними оценками сезонного хода на месяцы резкой изменчивости прилива (ноябрь–декабрь и март–май). Возникает эффект колебаний тождественный явлению Гиббса в Фурье–анализе. Поэтому предвычисление по месячным наборам констант дает более точный результат, чем по годовому списку констант.

Контроль качества многолетних временных рядов наблюдений уровня на стационарных постах Обской и Тазовской губ, выполненный по методике ААНИИ, показал, что без соответствующей корректировки срочные наблюдения на станциях: 60 лет ВЛКСМ с 1986 г., м. Тамбей с 1989 г., Новый Порт с 1989 г., м. Каменный с 1986 г. полностью непригодны для получения оценок приливов и производства статистических расчетов. Годовые ежечасные серии за отдельные годы в Тадибеяхе, Сеяхе, Антипаюте показали на первичном этапе обработки нереальные оценки констант волн приливов. К ежечасным рядам наблюдений применялась обработка по способу калибровки приливов [9]. Подобные сомнительные срочные наблюдения подвергались коррекции по методике, изложенной в [7, 8]. В обобщенном виде результаты оценок качества наблюдений на стационарных постах Обской и Тазовской губ даны в [3].

В качестве примера на рис. 1 приведены годовые оценки амплитуд и фаз волны M_2 на станции м. Каменный за 1977–1994 гг., полученные по исходным и исправленным данным. Анализ данных показал, что резкое снижение амплитуды и отклонения фазы в межгодовом ходе констант волны M_2 не были связаны с конкретными физическими условиями изменчивости состояния ледяного покрова. Количество сомнительных наблюдений за весь период наблюдений на данном посту в среднем составило около 40% [2].

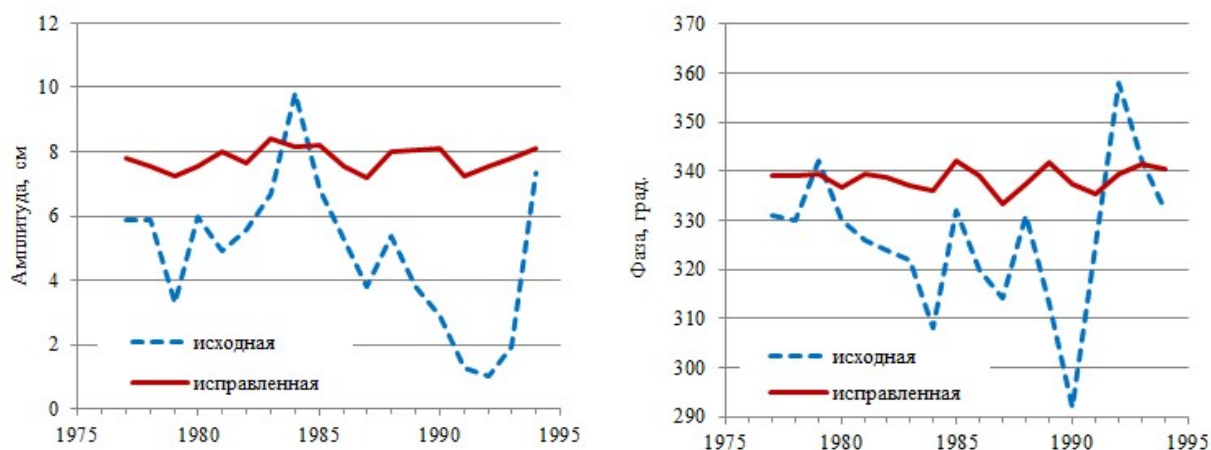


Рис. 1. Временной ход годовых оценок исходной и после калибровки (исправленной) амплитуды и фазы волны M_2 на станции м. Каменный за 1977–1994 гг.

Кроме случаев нарушения сроков наблюдений за уровнем и случаев прямой фальсификации данных методика контроля данных позволяет выявить периоды нарушения гидравлической связи поста с губой при наличии ледостава. Для этого достаточно иметь определённый объём материалов наблюдений на анализируемом посту. Тогда как для таких определений методом сравнения суммарных уровней потребовались бы данные параллельных наблюдений на других постах, имеющих надёжную связь с губой.

Авторы считают, что продолжение производства срочных наблюдений за уровнем моря в XXI веке является анахронизмом. К тому же объём фальсификации даже таких измерений является запредельным. Вызывает озабоченность «замороженное» состояние стационарной сети наблюдений за уровнем (с начала 90-х XX века) и в целом состояние мониторинга гидрометеорологических условий в Обской и Тазовской губах в условиях возрастания интенсивности судоходства и увеличения объёма морских работ, направленных на разработку новых месторождений.

Литература

1. Войнов Г.Н., Пискун А.А. Оценка приливов в Новом Порту (Обская губа) по наблюдениям за уровнем за период 1977-2012 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3 (105). С. 51–65.
2. Войнов Г.Н., Пискун А.А. Приливные и сгонно-нагонные колебания уровня воды в районе м. Каменный (Обская губа) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т. 65. № 1. С. 15–33.
3. Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ (лёд, уровни, структура вод). Под ред. д.г.н. Войнова Г.Н. СПб, Нестор-История. 2017. –192 с.
4. Пискун А.А. Состояние высотной основы и качество данных по уровням воды в Обско-Тазовской устьевой области // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. №3 (86). С. 97–113.
5. Пискун А.А. Режим уровней воды в Обской и Тазовской губах // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб 19–20 декабря 2018. С. 532–535.
6. Пискун А.А. О точности определения средних и экстремальных уровней воды при сокращении сроков наблюдений на постах Обской и Тазовской губ // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. №4 (114). С. 23–36.
7. Войнов Г.Н. Метод аппроксимации и интерполяции временных рядов ежечасных наблюдений за уровнем моря // Записки по гидрографии. 2003. № 257. С. 59–65.
8. Войнов Г.Н. Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4. С. 51–61.
9. Войнов Г.Н. Способ приведения ежечасных наблюдений за уровнем моря к однородным рядам с помощью калибровки приливов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 68–80.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.

The study was partially carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the research project No. 18-05-60192.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОЛОВСТВА В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В.В. Дроздов, Я.С. Волков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vladidrozдов@yandex.ru

ENVIRONMENTAL SAFETY OF INDUSTRIAL FISHERIES IN THE BALTIC SEA REGION

V.V. Drozdov, Y.S. Volkov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University» St. Petersburg, Russia

E-mail: vladidrozдов@yandex.ru

Проанализированы особенности многолетней динамики показателей воспроизводства и уловов донных и пелагических рыб Балтийского моря. Рассмотрены величины промысловой смертности различных популяций. Обоснована концепция обеспечения экологической безопасности морской экосистемы при промышленном рыболовстве с учетом природных изменений и антропогенного воздействия.

Features of multi-year dynamics of indicators of reproduction and catches of bottom and pelagic fish of the Baltic Sea were analyzed. Values of fishing mortality of different populations are considered. The concept of ensuring the environmental safety of the marine ecosystem in industrial fisheries, taking into account natural changes and anthropogenic impacts, is justified.

Согласно Стратегии экологической безопасности, утвержденной Указом Президента Российской Федерации № 174 от 19.04.2017 г., экологическая безопасность рассматривается как составная часть национальной безопасности страны. Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности. При этом важнейшей задачей является осуществление эффективных мер по сохранению и рациональному использованию природных биологических ресурсов, в том числе водных.

Важнейшими промысловыми популяциями Балтийского моря являются западно-балтийская (*Gadus morhua morhua*) и восточно-балтийская (*Gadus morhua callaris*) популяции трески, популяции представители семейства камбаловых – речная камбала *Pleuronectes flesus*, морская камбала *Platessa platessa* и др., а также популяции балтийской сельди *Clupea harengus membras* и шпрота *Sprattus sprattus balticus*.

Периоды высокого обилия донных и пелагических промысловых рыб часто сменяются упадком их численности вплоть до сокращения доступных запасов в несколько раз, что приводит к введению запрета на промысел для сохранения важнейших популяций. Это не может не вызывать озабоченности и определяет актуальность исследования основных причин происходящих изменений [1–4].

На рисунке 1 представлена многолетняя динамика величин показателей продуктивности балтийской сельди в заливах Балтийского моря и ее промысловой смертности.

Установлено, что динамика продуктивности сельди в Рижском заливе демонстрирует несколько иные особенности, чем в центральных и восточных районах моря. Максимумы численности молодых особей в возрасте 1 года здесь наблюдались преимущественно в период с 2000 по 2009 гг., а также в 1988 и 1997 гг. Минимальные значения – с конца 1970-х по начало 1980-х гг. Колебания величин уловов в основном соответствуют характеру изменчивости биомассы нерестового стада ($r = 0,58$ при $p = 99\%$), однако в данном случае связь между этими показателями оказывается менее тесной, чем для сельди в центральных и восточных районах Балтики. Здесь промысел затрагивает частично молодую часть популяции: коэффициент корреляции между уловами и численностью рекрутов $r = 0,45$ при $p = 99\%$. Очевидно, Рижский залив представляет собой уникальную экосистему, в которой биопродуктивные процессы определяются не только крупномасштабными явлениями, но и более локальными, такими как изменчивость объема речного стока Даугавы и других впадающих в него рек. Многолетняя динамика показателей продуктивности сельди в Ботническом заливе также имеет свою выраженную специфику. В данном районе моря в отличие от Центральной, Восточной Балтики и Рижского залива численность молодежи сельди в возрасте 1 год и биомасса нерестового стада демонстрируют общую тенденцию к росту начиная с конца 1980-х гг.

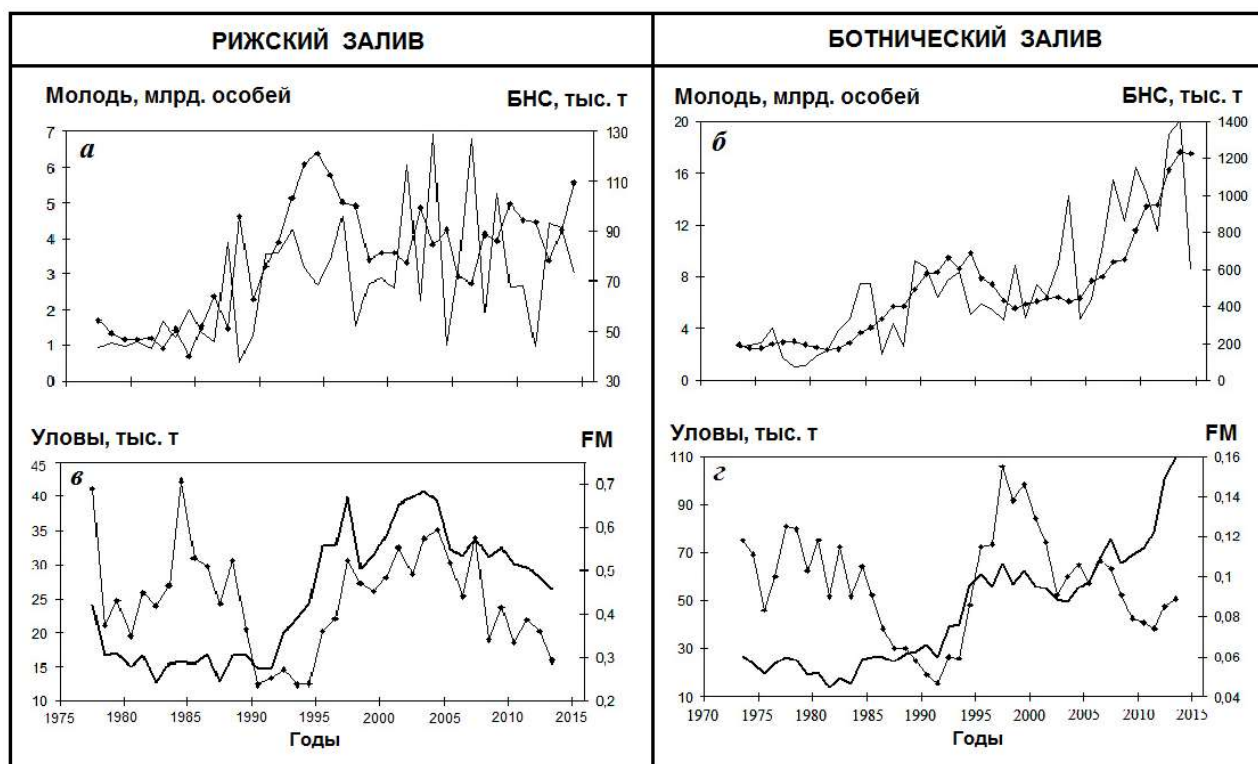


Рисунок 1 – Многолетняя динамика показателей продуктивности балтийской сельди в заливах Балтийского моря: *а, б* – численность особей в возрасте 1 год, млрд шт. (по оси ординат слева) и величина биомассы нерестового стада (БНС), тыс. т (по оси ординат справа,) соответственно в Рижском и Ботническом заливах; *в, г* – величина уловов, тыс. т (по оси ординат слева,) и промысловая смертность (по оси ординат справа,) соответственно в Рижском и Ботническом заливах. По данным [5–6, ICES].

Однако в конце 1990-х г. наблюдалось некоторое снижение значений этих величин. Изменчивость значений уловов сельди в Ботническом заливе, так же как и в других вышеописанных районах, в основном соответствует колебаниям численности биомассы нерестового стада: $r = 0,6$ при $p = 99\%$. В районах Центральной и Восточной Балтики показатели продуктивности популяций сельди демонстрируют значительные изменения, наблюдаемые за последние 40 лет. Численность молодого поколения в возрасте 1 год, демонстрируя существенные межгодовые колебания, достигала максимумов в 1977 г., в середине 1980-х гг., а также в 2006–2008 гг. Повышенные значения численности молоди наблюдались также в 2009, 2012 и 2013 гг. [5–6].

В 1973–1974 гг. численность молоди восточно-балтийской трески превысила 400 млн. экз., а в конце 1970-х и в начале 1980-х гг. наблюдались новые пики численности, оцениваемые в 600–700 млн. экз. Однако уже к середине 1980-х гг. численность молоди в возрасте 1 год (рекруты) резко снизилась до уровня 250–270 млн. экз. и наметилась устойчивая тенденция к дальнейшему ее снижению. В последующие годы происходило резкое, драматическое сокращение численности рекрутов до минимальных значений около 100 млн экз. в начале 1990-х гг. В дальнейшем с 2005 г. наметилась слабая тенденция к росту. Биомасса нерестового стада (БНС) восточно-балтийской трески в середине 1960-х гг. оценивалась примерно в 200 тыс. т. В дальнейшем наблюдался рост ее значений примерно до 650 тыс. т в начале 1980-х гг. Затем, в конце 1980-х, наблюдалось резкое снижение биомассы нерестового стада до уровня около 100 тыс. т в начале 1990-х гг. [7]. Данный показатель продуктивности продолжает оставаться на достаточно низком уровне и в настоящее время. В целом можно отметить весьма медленный темп восстановления запасов восточно-балтийской трески.

Многолетняя динамика численности молоди западно-балтийской трески, также демонстрирует значительные межгодовые колебания. За рассматриваемый период времени наибольшие значения в 190–230 млн. экз. отмечались в начале 1970-х гг. Затем последовала достаточно выраженная тенденция к снижению до уровня 25–30 млн. экз. в конце 1980-х гг. С середины 1990-х гг. численность молоди западно-балтийской трески начала постепенно расти до уровня 80–120 млн. экз., совершая межгодовые колебания. Однако в период с 2006 г. по 2012 г. вновь наблюдалось значительное снижение численности молодых поколений до значений, близких к началу 1990-х гг.

Биомасса нерестового стада западно-балтийской популяции трески с начала 1970-х до начала 1980-х гг. в целом находилась на высоком уровне и колебалась в пределах 35–50 тыс. т. С середины 1980-х гг. возникла тенденция к выраженному ее снижению, минимальные значения за рассматриваемый период достигли в 1990–1991 гг. 10–12 тыс. т. Затем, к середине 1990-х гг., биомасса нерестового стада начала возрастать и в 1994 г. превысила 40 тыс. т. С начала XXI в. вплоть до настоящего времени данный показатель продуктивности западно-балтийской популяции трески составляет в среднем около 30 тыс. т. [7].

Причинами экстремального снижения урожайности и уловов донных рыб в конце 1980-х и в начале 1990-х гг., явились крайне неблагоприятные условия для их размножения, обусловленные климатической аномалией над регионом Северной Атлантики, на фоне усиления антропогенного изъятия промыслом. Для обеспечения экологической безопасности промышленного рыболовства разработаны методы интегральной диагностической оценки текущего состояния и оценки устойчивости экосистемы Балтийского моря и других внутренних морей Европы на основе индикаторного подхода.

На рисунке 2 представлена обобщенная схема отражающая концепцию и последовательность осуществления мероприятий по обеспечению экологической безопасности

промышленного рыболовства, применительно к защите от чрезмерной эксплуатации биологических ресурсов популяций промысловых рыб.

Выполненный анализ материалов и данных позволяет заключить, что многолетняя динамика показателей продуктивности популяций донных балтийских рыб определяется прежде всего абиотическими факторами морской среды, а также в ряде районов находится в сильной зависимости от антропогенного воздействия в виде изъятия половозрелой части популяций промыслом. В настоящее время нет оснований полагать, что загрязнение Балтийского моря, в том числе донных отложений в ряде районов, способно оказывать существенное прямое влияние на численность популяций трески и других донных рыб. Однако пелагическая икра рыб является особенно чувствительной к воздействию токсикантов, в том числе тяжелых металлов. Поэтому требуется регулярно определять их содержание в эмбрионах, личинках рыб, а также во взрослых особях, оценивая степень и характер негативного воздействия.



Рисунок 2 – Предлагаемая концепция и последовательность осуществления мероприятий по обеспечению экологической безопасности промышленного рыболовства.

Литература

1. Дроздов В.В. Динамика продуктивности популяций сельдевых рыб Балтийского моря – балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* и шпрота (килтки) *Sprattus sprattus balticus* в связи с факторами среды и промыслом // Вопросы рыболовства. М.: Изд. ВНИРО. – 2017. – Т. 18. – № 1. – С. 52 – 64.

2. Дроздов В.В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. Монография. – СПб.: Изд. РГГМУ.– 2015
3. Дубравин В.Ф., Педченко А.П. Долгопериодная изменчивость термохалинной структуры вод Балтийского моря и ее влияние на динамику запасов и промысел пелагических рыб // Вопросы промысловой океанологии. Вып. №7. – № 2. М.: ВНИРО, 2010. – С. 57 – 79.
4. Карпушевский И.В., Зезера А.С., Иванович В.М. Адаптационные особенности популяций пелагических и демерсальных рыб в пространственной и временной динамике фактора солёности вод Балтийского моря // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 3, 2013. – С. 128 – 135.
5. Report of the Baltic fisheries assessment working group (WGBFAS). Copenhagen, Denmark, 2018. ICES CM 2018/ACOM:11. 728 pp.
6. Report of the Benchmark workshop on Baltic stocks (WKBALT2017). Copenhagen, Denmark, 2018. ICES CM 2018/ACOM:30. 42 pp.
7. ICES. 2019. Benchmark Workshop on Baltic Cod Stocks (WKBALTCOD2). ICES Scientific Reports. 1:9. 310 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.4984>. 2019. – Volume 1.– Issue 9. – 310 с.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УРАЛА

А.И. Второва¹, Н.В. Мякишева², д-р г-ф. наук.

¹Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, Челябинск, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

MULTI-CRITERIA CLASSIFICATION OF RESERVOIRS OF THE SOUTHERN URALS

A.I. Vtorova¹, N.V. Myakisheva², Dr.Sc.

¹Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia

²Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Рассматриваются теоретические вопросы классификации водохранилищ. Приводится обзор существующих классификаций водохранилищ. Уделяется внимание методам расчета признаков многокритериальной классификации водохранилищ в условиях неопределенности исходной информации. Вводятся многомерные классы водохранилищ, согласованные между собой шкалы и градации для исходных параметров классификации, обучающие выборки для каждого класса, решающие правила отнесения неизученных водохранилищ к известному классу. Приводятся результаты гидрологического районирования территории Южного Урала в зависимости от распределения водохранилищ разных классов.

The theoretical questions of the classification of reservoirs are considered. A review of existing reservoir classifications is provided. Attention is paid to methods for calculating the signs of multicriteria classification of reservoirs under the conditions of uncertainty of the initial information. Multidimensional classes of reservoirs are introduced, coordinated scales and gradations for the initial classification parameters, training samples for each class, and deciding rules for classifying unexplored reservoirs as a known class. The results of hydrological zoning of the territory of the Southern Urals are given depending on the distribution of reservoirs of different classes.

Введение

Водохранилище – рукотворный водоем, имеющий замедленный водообмен и созданный для накопления воды и ее дальнейшего использования объектами экономики и для регулирования речного стока. Режимные характеристики водохранилищ во многом отличаются от характеристик естественных озер, тем не менее, у этих водных объектов можно обнаружить и много общих черт. Поэтому озера и водохранилища рассматривают под общим названием – водоемы.

Водохранилища – многопризнаковые объекты, в связи с чем существуют различные их классификации. Большинство из них являются одномерными и частными. Одномерными – потому, что выполнены в пространстве исходных показателей по одному наиболее характерному признаку, от которого чаще всего зависят другие признаки. При этом нет единого мнения о том, какой признак классификации считается главным. Частными – потому, что

предложены для решения конкретных задач. По своей сути данные классификации представляют собой субъективные квалиметрические шкалы, позволяющие оценить меру проявления определенного свойства и качества водоема.

Материалы и методы

Водоснабжение объектов экономики и населения городов производится преимущественно за счет поверхностных вод, естественный режим которых существенно изменен под воздействием водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования.

Челябинская область расположена в южной части Урала, регион находится в центре материка Евразии, на границе двух частей света – Европы и Азии.

Территория области занимает площадь 88,5 тыс. км², население составляет 3689,7 тыс. чел. В орографическом отношении территория области, расположена на границах верховьев трех бассейнов рек: Урал, Кама, Тобол (Иртыш-Обь), поэтому делится на три бассейна.

Учитывая, тот факт, что территория области расположена в верховье трех бассейнов, отсутствуют водные объекты, которые могут обеспечить бесперебойное водоснабжение объектов экономики. А также неравномерность внутригодового распределения стока рек и территориальные различия в размещении водных ресурсов определили необходимость регулирования поверхностного стока путем создания прудов и водохранилищ.

Суммарный объем воды основных водохранилищ составляет 5,05 км³, их полезная водоотдача – 3,45 км³. Контроль за режимом эксплуатации осуществляется на 31 водохранилище, из них 11 многолетнего и 20 сезонного регулирования [3].

Согласно инвентаризации прудов и водохранилищ Челябинской области выполненной в 2001-2003 годах на ее территории зарегистрировано 406 водоемов. Из них в бассейне р.Кама-41; в бассейне р. Урал-82; в бассейне р. Тобол – 281. По назначению: водоснабжение на хозяйственно-питьевые нужды – 22 водохранилища. 4 - пруда-охладителя ТЭЦ с замкнутым водоотбором. 9 - хранилищ радиоактивных низкоактивных отходов, 55-шламонакопителей. На территории области расположены озера водохранилища -33.

Признаки многокритериальной классификации водохранилищ

Все водоемы представляют собой котловины, заполненные водой и имеющие водосборные площади, с которых вода поступает в эти котловины. В этом случае водоемы и их водосборы образуют системы, плановые размеры которых (Ас) представляют собой сумму площадей водоемов (Ао) и их водосборов (Аб):

$$A_c = A_o + A_b, \quad (1)$$

Данную систему характеризует так называемый «удельный водосбор» (К), равный:

$$K = A_b / A_o, \quad (2)$$

Величина удельного водосбора – очень важная характеристика, которая определяет многие черты гидрологического режима озер и водохранилищ.

Например, для озер-водохранилищ величина удельного водосбора значительно меньше чем для водохранилищ долинного типа.

По морфологии ложа, согласно К. К. Эдельштейну [8,9], водохранилища делятся на: долинные, долинно-котловинные (озерно-речные) и котловинные.

По способу заполнения водой водохранилища мира бывают: запрудные, когда ложе наполняется водой водотока, на которых они расположены и наливные, когда вода попадает из рядом расположенного водотока или водоёма.

По месту расположения в речном бассейне водохранилища подразделяются на: верховые и низовые;

По географическому положению водохранилища делятся (по Фортунатову М.А.) [7]:

1) По расположению в природных (широтных) зонах:

- водохранилища полярных областей,
- водохранилища умеренных широт,
- водохранилища аридных областей;

2) По расположению в природных (высотных) зонах:

- водохранилища равнин,
- водохранилища плоскогорных областей,
- водохранилища предгорных областей,
- водохранилища горных областей,
- водораздельные водохранилища.

По типу водных объектов: речные, озерные, озерно-речные, образованные в приспособленных естественных отрицательных формах рельефа, образованные в специально созданных искусственных котловинах.

По степени регулирования речного стока водохранилища могут быть: многолетнего, сезонного, недельного, суточного регулирования.

Характер регулирования определяется назначением водохранилища и соотношением полезного объема и величины стока реки.

По размерам водохранилища по площади (полный объем, км³): исключительно большие (более 50), очень большие (50-10), большие (10-5), средние (5-1), малые (1-0,1), очень малые (0,1-0,01), исключительно малые (менее 0,01) [5].

По мнению М.Ю. Матарзина [5] в области изучения водохранилищ в последние годы требует включения новых генетических групп водохранилищ, таких как морские (лиманные, фиордовые и т.п.) и подземные (замкнутые гидрогеологические бассейны).

Отмеченные искусственно вырытые котловины, заполненные водой, представляют собой особый класс наливных водохранилищ. Такие водохранилища образуются в карьерах, горных выработках.

Кроме выше перечисленных классификаций, водохранилища делятся по конфигурации, по глубине, по размеру, площади, объему, по химическому составу вод и т. д. Таким образом, водохранилища можно систематизировать по многим признакам, выбирая любые качественные свойства и количественные критерии. Однако наиболее существенны именно те признаки, которые определяют основные черты природных процессов и направление хозяйственного использования этих водоемов.

Б.Б. Богословский [1] разработал фундаментальную классификацию континентальных водоемов по внешнему водообмену: транзитные, транзитно-аккумулятивные, аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные. Внешний водообмен водоемов является одной из важнейших гидрологических и гидроэкологических показателей.

Методика расчета признаков классификации

Внешний водообмен водоемов определяется как климатическими факторами, так и строением системы «река-водохранилище». Для описания особенностей водообмена, связанных только с воздействием климатических факторов, введен климатический индекс (CL), а для оценки особенностей водообмена, связанных только с проявлением морфометрических особенностей «река-водохранилище», – морфометрический индекс MM. Для характеристики водообмена в целом введен комплексный индекс, обозначенный как WEE. Этот индекс в явном виде учитывает влияние на водообмен морфометрических особенностей подстилающей поверхности через комплексный индекс MM(j) и климатических особенностей через комплексный индекс CL(j), j=1,...,N:

$$WEE(j)=W1MM(j)+W2CL(j), \text{ где } (3)$$

$W_i \geq 0$, $W_1 + W_2 = 1$, i – весовые коэффициенты; j – количество систем «река-водохранилище».

При оценивании внешнего водообмена прудов и водохранилищ авторы продолжают оставаться в условиях дефицита натуральных данных и неопределенности суждений о приоритетах оценивания. Ситуация становится неопределенной для зоны недостаточного увлажнения, где во многих случаях практически невозможно зафиксировать $F_{вдсб}$ из-за бессточных областей, не принимающих участие в водообмене. Такое положение заставляет авторов искать новые нетрадиционные подходы к оценке роли различных факторов в формировании внешнего водообмена водоемов [6]. Разработка многокритериальной классификации систем «река-водохранилище» предполагает построение многомерных классов оценивания, введения согласованных между собой объективных квалиметрических шкал и градаций для исходных параметров классификации, формирование обучающих выборок – типичных систем «река-водохранилище» для каждого класса водообмена, построение решающего правила отнесения неизученного объекта к известному классу. Все эти вопросы относятся к области квалиметрии, которую можно считать первым основанием метода многокритериального оценивания. Саму квалиметрию можно определить, как область науки об измерении и управлении качеством продукции и услуг.

Сверстка многомерных классов через расчет сводных показателей, оцененных в условиях неопределенности с учетом нечисловой, неполной и неточной информации, дает возможность перейти к ограниченному набору статистически обоснованных характеристик, что существенно упрощает отнесение исследуемой системы водоемов к тому или иному классу.

Выводы

1. Традиционные основные этапы создания статистической классификации объектов или признаков включает в себя прежде всего: описание и характеристику исходных данных, выбор системы X признаков на основании которых осуществляется переход из пространства наблюдений в пространство признаков и далее снижение мерности призначного пространства X , выбор системы обобщенных независимых признаков, с помощью которых пространство X переводится в пространство обобщенных признаков Y , чтобы провести классификацию в пространстве Y . Следовательно такой подход при разработке статистической классификации не предполагает возврата в пространство исходных данных.

2. Следует обратить внимание на то, что многие параметры системы «река-водохранилище» и процессов, происходящих в них, невозможно задать четкими числовыми значениями, что свойственно для природной среды. Применение способов анализа и обобщения натуральных данных с учетом неопределенности информации и связанный с ним поход к многокритериальной классификации водохранилищ целесообразнее перейти к гидрологическому районированию

Литература

1. Богословский Б.Б., Филь С.А. Классификация водоемов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. – М.: изд-во АН СССР. Геогр. Об-во СССР, 1984, с.54-60.
2. Второва А.И. Формирование регионального стока водных ресурсов при интенсивном антропогенном воздействии // Международный научно-практический симпозиум и выставки «Чистая вода России»: сборник материалов XI Международной научной конференции. – Екатеринбург, 2011. С.22-26.
3. Второва А.И., Мякишева Н.В., Горбатенко А.А. Внешний водообмен водохранилищ Южного Урала// Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Том I Гидро и

геодинамические процессы Труды VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, 2019. С.64-68.

4. Караушев В.В. Внешний водообмен и формирование качества воды в озерах и водохранилищах // Труды ГГИ, 1978, вып. 249.

5. Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ –Пермь: 2003. – 296с.

6. Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер – СПб.: изд-во РГГМУ, 2009.– 160 с.

7. Фортунатов М.А. О проточности и водообмене водохранилищ. В кн. Факторы формирования водных масс и районирование внутренних водоемов. – Л.: Наука,1974, с.111-120.

8. Эдельштейн К.К. Водоохранилища России: экологические проблемы и пути их решения. М.: ГЕОС,1988,277с.

9. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. М.: Издательство МГУ,1991. 176с.

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КРУПНЫХ ОЗЕР МИРА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

В.С.Вуглинский

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

М.Р.Кузнецова

Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

CHANGING OF WATER LEVEL REGIME FOR LARGEST WORLD'S LAKES UNDER GLOBAL WARMING

V.S.Vuglinsky

State Hydrological institute, St.Petersburg, Russia

M.R.Kuznetsova

Institute of Earth sciences SPSU, St.Petersburg, Russia

Представлены результаты оценки изменений среднегодовых уровней воды восьми крупных озёр мира в условиях потепления климата. В качестве исходных данных использованы многолетние ряды наблюдений за уровнем воды за период с 1960 по 2016 гг. Выполнена оценка однородности многолетних рядов и значимости трендов в этих рядах. Получены количественные оценки изменений среднегодовых уровней воды озёр за период с 1980 по 2016 гг.

The results of the assessment of changes in the average annual water levels of eight major lakes in the world under the conditions of climate warming are presented. Long-term series of water level observations for the period from 1960 to 2016 were used as initial data. The homogeneity of long-term series and the significance of trends in these series are estimated. Quantitative estimates of changes in annual water levels of lakes for the period from 1980 to 2016 are obtained.

Глобальное потепление климата оказывает влияние на многие природные процессы, в том числе и на гидрологический режим водных объектов [1,2,3,4,5]. Наиболее активно потепление климата стало проявляться на границе 80х годов, когда средняя глобальная температура воздуха Северного полушария превысила норму.

Целью настоящего исследования явились анализ и оценка многолетних изменений уровня воды крупных озёр планеты в условиях изменений климата (нестационарная климатическая ситуация). В качестве объектов исследования были выбраны восемь крупных озёр планеты, расположенных на территории Евразии и Северной Америки: Байкал, Балхаш, Верхнее, Иссык-Куль, Ладожское, Онежское, Онтарио, Эри. Основные географические и морфометрические характеристики озёр представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные географические и морфометрические характеристики озер

№ п/ п	Название озера	Местоположение			Площадь водосбора, км ²	Морфометрические характеристики				
		Широта, град. СШ	Долгота, град. ВД / ЗД	Страна		Объём, м ³	Площадь зеркала, км ²	Максимальн ая глубина.	Длина, м	Ширина, м
1	Байкал	53,2 2	107,7 5	РФ	57100 0	23026, 5	31500	1620	636	81
2	Балхаш	46,5 4	74,88	Казахстан	41300 0	106	18200	26,5	614	70
3	Верхнее	47,7 7	- 87,37	США, Канада	12770 0	12100	82100	406	563	257
4	Иссык-Куль	42,4 3	77,18	Киргизия	22080	1738	6236	668	178	60
5	Ладожское	60,7 5	31,5	РФ	27600 0	911	17700	230	219	130
6	Онежское	61,7 2	35,48	РФ	62800	292	9690	120	248	96
7	Онтарио	43,6 9	- 77,96	США, Канада	64030	1640	18960	244	311	85
8	Эри	42,1 6	- 81,27	США) Канада	78000	484	25700	64	388	92

Многолетние ряды среднегодовых уровней воды по рассматриваемым озерам за единый период 1960-2016 гг. были подготовлены на основании данных наблюдений за уровнем воды озер, содержащихся в базе данных Международного центра данных ВМО по гидрологии озёр и водохранилищ (HYDROLARE). Считается, что наиболее активно потепление климата стало проявляться на границе 80х годов, когда средняя глобальная температура воздуха Северного полушария превысила норму и с тех пор продолжает повышаться [6]. Поэтому в данной работе 1980й год был принят за начало климатических изменений. Многолетние ряды уровней воды были разбиты на два периода: с 1960 г. по 1979 г. (период стационарной климатической ситуации) и с 1980 по 2016 гг. (период нестационарной климатической ситуации).

Методика исследований включала в себя анализ однородности многолетних рядов наблюдений за уровнем воды, выявление и анализ значимости трендовой оставляющей в многолетних рядах и получение количественных оценок изменений уровней воды озер за период нестационарной климатической ситуации.

Оценка однородности многолетних рядов уровней воды выполнена с помощью критерия Стьюдента [7]. В таблице 2 представлены результаты этой оценки.

Таблица 2. Результаты оценки однородности многолетних рядов (1960-2016 гг.) уровней воды по критерию Стьюдента

Озеро	Вывод об однородности выборки		Озеро	Вывод об однородности выборки	
	При уровне значимости ($\alpha=0,05$)	При уровне значимости ($\alpha=0,01$)		При уровне значимости ($\alpha=0,05$)	При уровне значимости ($\alpha=0,01$)
Байкал (до 2015г.)	Однородна	Однородна	Ладожское	Однородна	Однородна
Балхаш	Неоднородна	Неоднородна	Онежское	Неоднородна	Неоднородна
Верхнее	Неоднородна	Однородна	Онтарио	Однородна	Однородна
Иссык-Куль	Неоднородна	Неоднородна	Эри	Однородна	Однородна

Многолетние ряды озёр Байкал, Ладожское, Онтарио, Эри оказались однородными, а озера Балхаш, Иссык-Куль и Онежское – неоднородными для обоих уровней значимости. По озеру Верхнее многолетний ряд оценен как неоднородный при $\alpha=0,05$ и как однородный при $\alpha=0,01$. Неоднородность выборок по трем вышеуказанным озерам свидетельствует о нарушении естественного хода уровней воды за рассмотренный период 1960-2016 гг., причиной которого могли быть изменившиеся климатические условия.

Был выполнен анализ значимости трендовой составляющей в многолетних рядах уровней воды путём проверки гипотезы о равенстве нулю коэффициента регрессии с использованием t-критерия Стьюдента. Рассматривались весь период 1960-2016 гг. и два отдельных периода: 1960-1979 гг. и 1980-2016 гг. При анализе многолетних рядов уровней воды за период 1960-2016 гг. значимые тренды установлены для озера Балхаш, Иссык-Куль, Онежское и Верхнее. Характерно, что многолетние ряды по этим же озерам не соответствовали гипотезе однородности (таблица 2). При анализе многолетних рядов за первый период (1960-1979 гг.) значимые тренды установлены для большинства озера за исключением Ладожского и Онежского. Это может свидетельствовать о том, что влияние климатических изменений на динамику уровней озер стало проявляться уже в начале 1960х годов.

Количественные оценки изменений уровней воды озер за период 1980-2016 гг. по сравнению с предшествующим периодом были выполнены с использованием графических диаграмм временных рядов, на каждой из которых были нанесены линии линейного тренда, с которых были сняты значения уровней воды, соответствующие последнему и первому году выбранного периода. Разность этих значений дает «трендовое», т.е. по линии тренда, изменение уровня воды за рассматриваемый нестационарный климатический период. Для того, чтобы корректно оценить изменения уровня воды относительно периода 1960-1979 гг. (стационарная климатическая ситуация), полученные «трендовые» значения были откорректированы с учетом различий между значением уровня воды, снятого с линии тренда для первого года, и средним значением среднегодового уровня за весь предыдущий период.

В таблице 3 представлены итоговые оценки изменений уровня воды рассматриваемых озера за период 1980-2016 гг. по сравнению с предшествующим периодом. В последней колонке приводятся удельные величины этих изменений относительно 10 летнего периода.

Таблица 3. Изменения уровня воды озер за период 1980-2016 гг. по сравнению с предшествующим периодом

Озеро	Изменения уровня воды, см	
	За период	В среднем за 10 лет
Байкал	13	3
Балхаш	6	2
Верхнее	-23	-6
Иссык-Куль	-79	-21
Ладожское	2	0,5
Онежское	11	3
Онтарио	-1	-0,3
Эри	-17	-5

Согласно полученным данным наибольшие изменения уровня воды произошли на оз. Иссык-Куль – он снизился почти на 80 см. Изменения уровня воды оз. Балхаш оказались незначительными и составили +6 см. Здесь следует иметь ввиду, что в течение 1960-1979 гг. уровни озера Балхаш существенно снизились за счет наполнения Капчагайского водохранилища на р. Или. Поэтому, последующий рост уровней в течение 1980-2016 гг. по существу компенсировал произошедшее их снижение в предыдущий период. Для двух североамериканских озер отмечено общее снижение уровней. Так, для оз. Верхнее это снижение составило -23см. и для оз. Эри -17см. Изменения уровней оз. Онтарио оказались незначительными. Уровни воды Онежского озера выросли на +11 см., а для Ладожского озера изменения уровней оказались незначительными +2 см.

Очевидно, что смена климатических условий нарушает сложившееся соотношение между компонентами водного баланса озёр, что в свою очередь приводит к изменениям уровней воды. При этом, одни и те же климатические изменения (например, возрастание количества осадков и температуры воздуха) могут по-разному отражаться на динамике уровней воды различных водоёмов

Литература

- [1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [2] Georgievsky V.Yu., Shiklomanov I.A. 2003. Climate change and water resources. In: World Water Resources in the Beginning of the 21st Century. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 390-413.
- [3] Water resources of Russia and their use (2008) Edited by Prof. I. A. Shiklomanov, State Hydrological institute, Saint Petersburg, 598 p.
- [4] Mehta, V. K., Rheinheimer, D. E., Yates, D., Purkey, D. R., Viers, J. H., Young, C. A., & Mount, J. F. (2011). Potential impacts on hydrology and hydropower production under climate warming of the Sierra Nevada. *Journal of Water and Climate Change*, 2(1), 29-43.
- [5] Valery Vuglinsky (2017) Assessment of changes in ice regime characteristics of Russian
- [6] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. (т. I - Изменения климата) - М., 2008
- [7] Шелутко В.А. Методы обработки и анализа гидрологической информации. - СПбГУ, 2007.

УЧЕТ СВЯЗИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИЙ С ИХ ЛЕСИСТОСТЬЮ В РАСЧЕТАХ РЕЧНОГО СТОКА

С. А. Гавриков¹, канд. техн наук

¹АО «ДальНИИГиМ», г. Владивосток, Россия

ACCOUNT OF CONNECTION OF HYDROLOGICAL REGIME OF TERRITORIES WITH THEIR FOREST COVER IN CALCULATIONS OF RIVER FLOW

S. A. Gavrikov¹, Ph.D. of Engineering Sciences

¹Joint-stock Company «Far Eastern Research Institute of Hydraulic Engineering and land Reclamation», avenue of the «Red banner», 66, Vladivostok, Russia

По результатам множественного корреляционно-регрессионного анализа показана зависимость распределения стока по сезонам внутри года от степени залесенности бассейна реки. Рассматривается физика влияния леса на перераспределение стока во времени через климатические факторы при весеннем снеготаянии и через факторы подстилающей поверхности в другие фазы водного режима территорий.

By the results of the multiple correlation and regression analysis the relation of a runoff distribution on seasons inside one year from a degree forest covering of the river basin is shown. Physics of influencing of a forest on reallocating of a runoff in time through climatic factors is reviewed at spring snowmelt and through the factors of a underlying surface in other phases of a water regime of territories.

Введение. Судя по литературе, посвященной гидрологической роли леса, вопрос этот был дискуссионным еще в начале 20 века (Высоцкий, 1899, 1904, 1937, 1952 гг.; Отоцкий, 1905 г.) [2, 13] и остается таковым до настоящего времени [10, 12, 13].

Методика исследования Г. Н. Высоцкого – воднобалансовый анализ, который позволил обнаружить большой вес у транспирации. С формулой Высоцкого (1904 г.) "лес сушит равнины и увлажняет горы", а также с выводами П. В. Отоцкого (1905 г.) об иссушающем воздействии действия леса на почву не согласны А. А. Молчанов [9], В. В. Рахманов [11, 12], Д. Л. Соколовский [13] и другие исследователи.

Н. А. Воронковым [1] рассматриваются недостатки отдельных концепций гидрологической роли леса, а именно: иссушающего влияния леса (Высоцкий); односторонней увлажняющей роли леса (В. В. Рахманов и другие); неопределенной гидрологической роли леса (А. А. Молчанов и другие); иссушающе-увлажняющей роли леса (Воронков не указывает последователей этой концепции).

В. В. Рахмановым [11] отмечается, что ряд авторов: М. И. Львович [7], Н. И. Маккавеев [8], И. С. Шпак [16], – считают, что отчетливые зависимости годового стока рек от лесистости бассейнов прослеживаются потому, что леса произрастают более плотно в условиях влажного климата и, следовательно, там, где больше речной сток. Таким образом, – считает Рахманов, – "...то, что сторонниками взгляда на лес как водоохраный фактор принимается за причину, необходимо, по мнению этих авторов, считать следствием или сопутствующим явлением". С этим трудно не согласиться. Однако, по Рахманову: "Этот тезис пока трудно опровергнуть

(впрочем, как и доказать)...".

Рассмотренная дискуссия касается, главным образом, оценки связи с лесистостью бассейна величин стока реки в межень и в целом водоносности реки, определяемой годовым стоком, в первую очередь, его средней многолетней величиной. Что же касается роли леса в формировании внутригодового распределения стока, то здесь дискуссии не прослеживается.

С одной стороны это можно объяснить тем, что физика влияния лесного покрова на распределение стока внутри года представляется более ясной. Так, по В. И. Таранкову [14], под пологом хвойно-широколиственного леса в южном Приморье снег исчезает на 7–9 дней позднее, чем на полянах. В работе [15] Таранковым отмечается, что запас воды в снеге в широколиственно-кедрово-чернопихтовом лесу южного Сихотэ-Алиня на 20–34 % меньше, чем на вырубке, но в лесу снежный покров более устойчив. На вырубленных площадях резко увеличивается испарение с поверхности почвы: По данным А. П. Клинцева [6], суммарное испарение с необлесенных площадей в 4–5 раз больше, чем в темнохвойных лесах (что противоречит выводам Г. Н. Высоцкого и П. В. Отоцкого об иссушающем влиянии леса).

Но, с другой стороны, отсутствие дискуссии в этой области вопроса может быть также объяснено отсутствием исследований, посвященных изучению влиянию леса на внутригодовое распределение стока как на расчетную гидрологическую характеристику, когда рассматривается доля стока данного сезона, как правило, большой ежегодной вероятности превышения, в годовом стоке той же вероятности превышения, характеризующая распределение стока по сезонам в маловодный или очень маловодный год.

Материалы и методы. Автором исследовалась зависимость распределения стока внутри года по сезонам от основных гидрографических характеристик бассейна реки: площади, средней высоты и относительной лесистости бассейна, средневзвешенного уклона реки и среднего многолетнего модуля годового стока. Рассматривались доли стока весенне-летнего сезона (май–август) и зимнего сезона (ноябрь–март) обеспеченностью 75 и 95 % в годовом стоке той же (соответственно) обеспеченности, которые отражают распределение стока по сезонам соответственно в маловодный и очень маловодный год. Исследование проводилось на примере Приморья (бассейны Уссури и рек Японского моря) с применением методов множественного регрессионного и корреляционного анализа по данным 96 пунктов наиболее продолжительных гидрометрических наблюдений. В необходимых случаях предварительно производилась линеаризация связей путем преобразования переменных [3].

Результаты и обсуждение. Выполненные анализы показывают, что лес является одним из ведущих факторов формирования внутригодового режима речного стока в переходные периоды фаз гидрологического режима территорий: зима–лето и лето–зима. Так, доля стока ноября–марта в годовом стоке в очень маловодный год с уменьшением относительной лесистости речного бассейна увеличивается (в среднем на 5 % при уменьшении лесистости на 20 %) – частный коэффициент корреляции равен $-0,70$ при его средней квадратической погрешности $0,10$ [3]. Это обусловлено тем, что в менее залесенном речном бассейне интенсивное солярное таяние снега и льда (под воздействием прямой солнечной радиации) начинается раньше и более дружно, и поэтому поступление талых вод в русловую сеть в марте обильнее. Особенно это относится к низким горизонтальным элементам рельефа бассейна. Кроме того, на залесенных поймах и надпойменных террасах более выражено регулирование талого поверхностного и внутрпочвенного стока. Влияет и такой фактор, регулирующий таяние снега и льда в речном бассейне, как значительно меньшая турбулентность воздушных масс у

поверхности дна залесенных долин и распадков под воздействием ветров.

Связь доли стока мая–августа в годовом стоке с относительной лесистостью бассейна для рек низких и горных территорий противоположна. Для первых она с увеличением лесистости бассейна уменьшается, а для горных территорий – наоборот, увеличивается: в обоих случаях примерно на 3 % при уменьшении лесистости на 20 %. Это объясняется тем, что у рек низких территорий лес способствует задержанию на водосборной площади части осадков, выпадающих в мае–августе, и их стеканию по русловой сети в последующий период. При этом лес мало влияет на удлинение периода весеннего половодья и перераспределение стока с апреля на май, так как основная часть талых вод у таких рек стекает в апреле. У горных же рек задержание лесом осадков на водосборе в мае–августе по сравнению с реками низких территорий менее выражено – вследствие больших уклонов русла, меньших температур воздуха и скоростей ветра и, следовательно, меньших потерь на испарение; в то же время влияние леса на перераспределение талых вод с апреля на май у горных рек Приморья весьма значительно, так как максимум весеннего половодья у них приходится в среднем как раз на конец апреля – начало мая. Это влияние проявляется в том, что в более залесенном речном бассейне затягивается солярное таяние снега и льда (особенно на низких горизонтальных элементах рельефа и на северных склонах долины), а также наледей по всей русловой сети бассейна.

Таким образом, наиболее значительных изменений во внутригодовом распределении стока следует ожидать при обезлесивании низких частей бассейна реки – дна долин, распадков и нижних частей их склонов.

Изменения в распределении стока по сезонам становятся резко выраженными при уменьшении лесистости бассейна реки более чем на 30–40 %. Это показывает анализ эмпирических линий нелинейных уравнений регрессии различных видов.

Сравнительный анализ данных по малым и средним рекам не показывает существенных различий зависимости относительных величин сезонного стока от лесистости бассейна по этим категориям рек. Поэтому в целом изложенные выводы относятся как к малым, так и к средним рекам. Можно их относить и к большим рекам, поскольку малые реки формируют внутригодовой режим стока воды средних и, в конечном итоге, больших рек. Однако для больших рек, в связи с полизональностью их водного режима, изменение внутригодового распределения стока в замыкающем створе под влиянием изменения относительной лесистости отдельных территорий бассейна может оставаться незаметным. Для малых рек с площадями бассейна менее 5 км² влияние лесистости бассейна на распределение стока по сезонам носит местный характер и может не прослеживаться из-за влияния других местных факторов.

Относительная лесистость является показателем естественной увлажненности и температурного режима территории и, как следствие, удельной водоносности местных рек, что и показывают результаты анализа. При прочих равных условиях реки с более залесенными бассейнами имеют более высокие модули годового и межennaleго стока. Растительный покров имеет зональное распределение по территории, и поэтому его вид является косвенным показателем увлажнения данной территории и, следовательно, удельной водоносности местных рек. Как было показано выше, степень залесенности речного бассейна играет значительную роль в распределении стока во времени внутри года. Поэтому в разработанной автором классификации рек по ландшафтно-морфометрическим признакам бассейна и режиму стока в межennaleе периоды, предназначенной для исследований и практических расчетов годового стока, его внутригодового распределения и минимального стока [4, 5], одним из

признаков классификационной принадлежности реки является относительная лесистость ее бассейна.

Литература

1. Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 286 с.
2. Высоцкий Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. – 2-е изд. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 112 с.
3. Гавриков С. А. О связи внутригодового распределения стока воды с лесистостью бассейна реки (на примере Приморья) // Тр. ДВНИГМИ. 1992. Вып. 137. С. 134–139.
4. Гавриков С. А. Классификация рек по ландшафтно-морфометрическим признакам бассейна и режиму стока в меженные периоды // Ландшафтно-гидрологический анализ территории / Под ред. А. Н. Антипова и Л. М. Корытного. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 124–129.
5. Гавриков С. А. Научные инженерно-гидрологические основы использования речного стока и защиты от наводнений на юге Дальнего Востока России // Проблемы мелиорации и водного хозяйства на Дальнем Востоке России: Сб. науч. тр. ДальНИИГиМ. – Владивосток: Дальнаука, 2017. Вып. 19. С. 47–79.
6. Клинецов А. П. Значение лесов в сохранении водных ресурсов Сахалинской области // Влагодобор и микроклимат лесных биогеоценозов. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 66–78.
7. Львович М. И. О методике оценки изменений речного стока // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1955. № 6. С. 55–68.
8. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 346 с.
9. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 488 с.
10. Опритова Р. В. Водоохранная роль лесов южного Сихотэ-Алиня. – М.: Наука, 1978. – 96 с.
11. Рахманов В. В. Влияние лесов на водность рек в бассейне Верхней Волги // Тр. Гидрометцентра СССР. 1971. Вып. 88. – 175 с.
12. Рахманов В. В. Гидроклиматическая роль лесов. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 241 с.
13. Соколовский Д. Л. Речной сток. – 3-е изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 540 с.
14. Таранков В. И. Особенности распределения снежного покрова в хвойно-широколиственных лесах Южного Приморья // Изв. высш. учеб. заведений. – 1963. – № 4. – С. 31–34.
15. Таранков В. И. Влияние сплошной вырубki леса на водный режим // Комплексные стационарные исследования лесов Приморья. – М.: Наука, 1967. С. 17–46.
16. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов. – Киев: Наукова думка, 1968. – 284 с.

УСЛОВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Г.Г. Гавриленко¹, Г.Э. Здоровеннова¹, канд. геогр. наук, Р.Э. Здоровеннов¹, канд. геогр. наук, С.Ю. Волков¹, Т.В. Ефремова¹, канд. геогр. наук, Н.И. Пальшин¹, канд. геогр. наук, С.Р. Богданов^{1,2}, д-р физ.-мат. наук, А.Ю. Тержевик, канд. техн. наук

¹ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центра РАН», Петрозаводск, Россия

² Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

SPATIAL INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE FIELD IN ICE-COVERED LAKES

G.G. Gavrilenko¹, G.E. Zdrovennova¹, Cand. Sc., R.E. Zdrovennov¹, Cand. Sc., S.Yu. Volkov¹, T.V. Efremova¹, Cand. Sc., N.I. Palshin¹, Cand. Sc., S.R. Bogdanov^{1,2}, Dr. Sc., A.Yu. Terzhevik¹, Cand. Sc.

¹ Northern water problems Institute Karelian Research Center, Petrozavodsk, Russia

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Рассмотрены различные сценарии перемешивания мелководного озера в разные по погодным условиям годы; установлено, что в разные годы периоды открытой воды отличаются по продолжительности эпизодов перемешивания водной толщи озера.

Various scenarios of mixing of a shallow lake in different weather conditions are considered. It has been established that in different years periods of open water differ in the length of episodes of mixing of the water column.

Введение. Для годового термического цикла мелководных озер умеренных широт характерен отчетливо выраженный сезонный ход, в котором выделяют последовательные периоды нагревания и охлаждения водной толщи [1]. Весной после взлома льда обычно происходит полное перемешивание водной толщи озер, после чего начинается ее нагревание либо в близком к гомотермии состоянии, что характерно для полимиктических водоемов, либо происходит постепенное формирование термической стратификации [2]. Дальнейшее развитие событий определяется как метеорологическими условиями, так и морфометрическими и гидрооптическими характеристиками самого водоема [3]. На этапе летнего нагревания водная толща мелководных полимиктических озер подвергается периодическому перемешиванию за счет ветрового воздействия и конвективного охлаждения при прохождении циклонов [2]. Такие эпизоды способствуют заглублению и разрушению сезонного термоклина, обеспечивая, таким образом, повышение температуры в гипolimнионе и обогащение его кислородом [5].

Перемешивание водной толщи в период открытой воды имеет ключевое значение для функционирования всей экосистемы водоема, поскольку способствует насыщению кислородом придонных слоев, перераспределяет потоки вещества и энергии по водной толще. На основе ряда численных экспериментов установлено, что под воздействием меняющегося климата режим перемешивания озер может меняться вплоть до перехода водоемов из одного класса в другой (полимиктические озера могут становиться димиктическими, а димиктические - мономиктическими) [6]. Подобные изменения в режиме перемешивания озер могут вызывать серьезные нарушения в функционировании сообщества гидробионтов. В озерах происходят заметные сдвиги в пищевых цепях, в частности, выявлено нарушение трофических связей в озере Вашингтон (США) между фито- и зоопланктоном из-за различной чувствительности видов к весеннему потеплению [7], в составе рыбного сообщества озер Карелии отмечен рост более теплолюбивых видов [8]. Подобные изменения в трофических цепях со временем могут привести к заметным экосистемным перестройкам, что определяет актуальность изучения термического и динамического режимов водоемов на фоне изменчивости регионального климата.

В представленной работе рассматривается режим перемешивания мелководного озера Вендюрского, расположенного в южной части Карелии, в разные по погодным условиям годы по данным многолетних измерений.

Материалы и методы. Небольшое мелководное мезотрофное озеро Вендюрское расположено в южной части Карелии (широта 62°20'N, долгота 33°20'E). Озеро относительно небольшое (площадь зеркала 10.4 км², объем вод ~5.5·10⁷ м³) и мелководное (средняя глубина 5.3, максимальная – 13.4 м). Площадь его водосборного бассейна составляет 82.8 км². Котловина озера имеет ледниковое происхождение и вытянута с запада на восток, ее длина составляет 7.0, ширина ~1.5-2.0 км. Прозрачность воды в оз. Вендюрском по диску Секки составляет 3±0.5 м [9]. Начиная с 2008 года, на озере проводятся непрерывные круглогодичные измерения температуры водной толщи в центральной части озера с использованием высокоточного оборудования. Высокочувствительные температурные датчики «RBR Ltd.», закрепляются на косе через 0.05-0.5 м, дискретность измерений составляет одну минуту. Верхний датчик косы располагается обычно в 1.5 м ниже уровня воды, нижний – вблизи границы с донными отложениями.

По данным температурных датчиков для разных лет исследований были оценены продолжительности основных этапов термического цикла – весенне-летнего нагревания и осенне-зимнего охлаждения, продолжительность стратификации. Стратификация считалась установившейся при разнице поверхностных и придонных температур в центральной глубоководной части озера более одного градуса. Для оценки устойчивости водной массы использовались два параметра, устойчивость Шмидта (St), позволяющая охарактеризовать устойчивость стратифицированного водного столба к механическому перемешиванию и Lake Number (Ln) - параметр, используемый для описания процессов перемешивания внутри водного столба под влиянием ветровой активности [10]. Для расчета St и Ln использовалась программа LakeAnalyzer 2.0, находящаяся в открытом доступе <http://lakeanalyzer.gleon.org/> и предназначенная для анализа показателей физического состояния озер [11].

Устойчивость Шмидта характеризует количество работы, необходимое для перемешивания стратифицированного водного столба без теплообмена со средой в расчете на единицу поверхности, и может быть определена по формуле [12]:

$$S_T = \frac{g}{A_s} \int_0^{z_D} (z - z_v) \rho_z A_z dz$$

где g – ускорение силы тяжести, A_s – площадь поверхности озера, A_z – площадь озера под изобатой z , ρ_z – плотность воды, z_D – максимальная глубина озера, z_v – глубина центра масс озера.

Безразмерный параметр Ln может быть использован как количественный показатель динамической устойчивости и степени турбулентного перемешивания, учитывающий батиметрию водоема; задается этот параметр согласно формуле [10]:

$$L_N = \frac{S_T(z_e + z_h)}{2\rho_h u_*^2 A_s^{0.5} z_v}$$

где z_e и z_h – глубины верхней и нижней границ металимниона, соответственно, ρ_h – плотность воды на нижней границе металимниона, u_*^2 – динамическая скорость ветра.

При значении $L_n < 1$ в озерах наблюдается глубокое перемешивание.

Для анализа метеорологических условий района исследований, а также для задания входных метеорологических параметров в программе LakeAnalyzer 2.0 использовались данные по температуре воздуха, скорости и направлению ветра с трехчасовой дискретностью по одной из наиболее близко расположенных к озеру Вендюрскому метеостанций – МС «Петрозаводск», полученные из архива открытого доступа на сайте «Расписание погоды» по адресу rp5.ru.

Результаты и обсуждение.

Анализ данных измерений позволяет говорить о высокой степени влияния летних синоптических условий на термодинамику водоема. Установлено, что в годы с частыми похолоданиями и усилениями ветра водная толща остается слабо стратифицированной, и водоем на протяжении всего периода открытой воды сохраняет полимиктический режим (Рис., А).

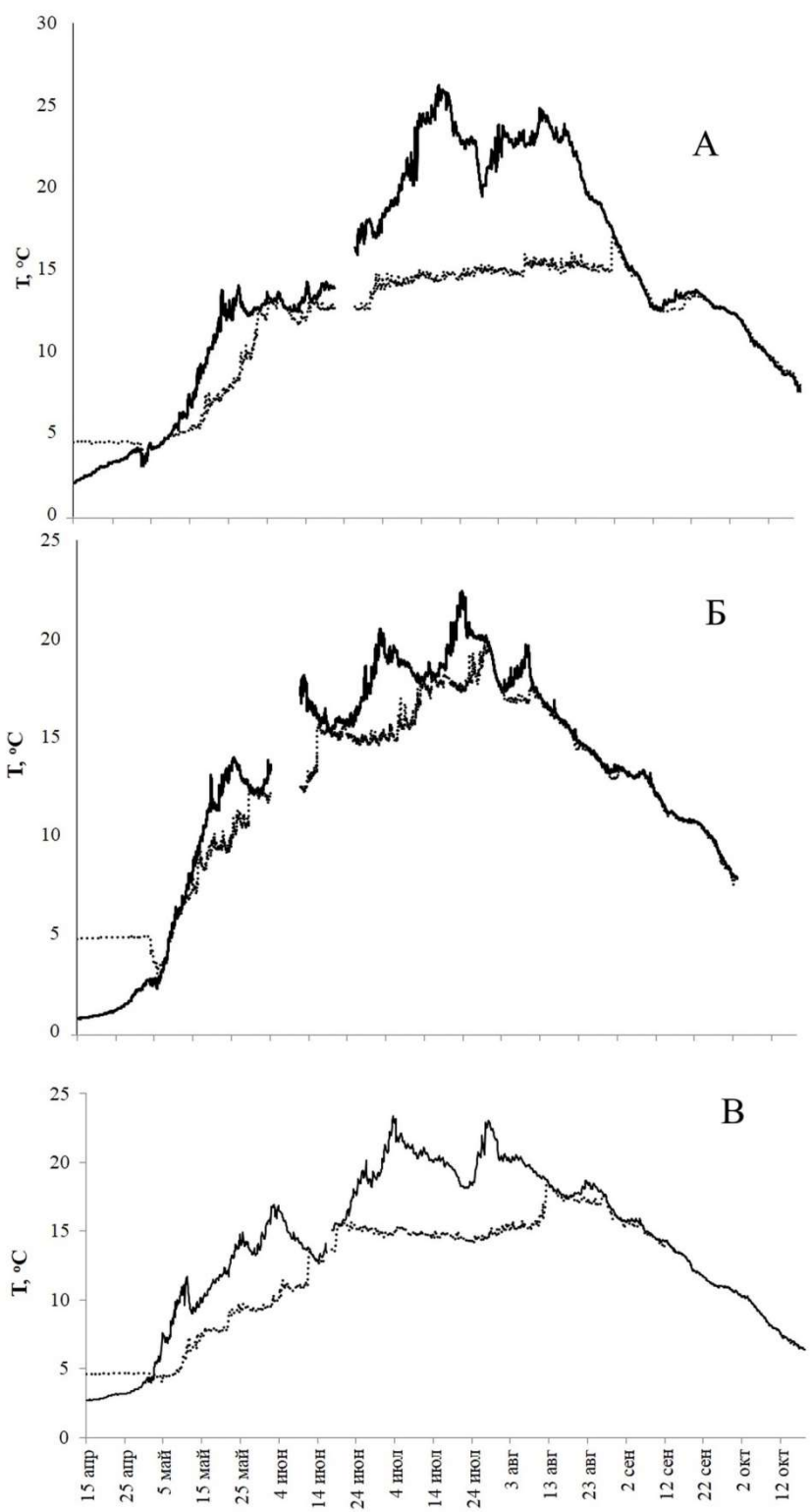


Рис. Температура поверхностных (сплошная линия) и придонных (пунктирная линия) горизонтов водной толщи в центральной глубоководной части озера Вендюрского в период открытой воды в разные по погодным условиям годы, А – 2010 г., Б – 2012 г., В – 2016 г.

В условиях маловетренной жаркой летней погоды формируется острый термоклин, который препятствует эпизодам перемешивания, обеспечивая длительную стратификацию озера. Так, в 2010 г. под воздействием устойчивого антициклона острая стратификация наблюдалась в озере в течение полутора месяцев с момента ее установления (Рис., Б). Данные натурных наблюдений также показали, что в случае длительной подледной конвекции (как результат теплой весны)

водная толща может стратифицироваться еще до взлома льда, исключив, таким образом, из годового цикла этап весенней гомотермии. Подобная картина наблюдалась на исследуемом озере весной 2016 (Рис., В). Результаты модельных экспериментов показали, что в таком случае, при соответствующих погодных условиях (в частности, невысоких скоростях ветра) перемешивание всей водной толщи может не произойти вообще [13].

Устойчивость водной толщи озера Вендюрского характеризовалась значительной межгодовой изменчивостью. Максимальные за период открытой воды значения St варьировали от 25 Дж/м² в холодные летние месяцы 2015 г. до 128 Дж/м² в жаркие месяцы 2010 г. При этом средние за период стратификации значения St изменялись от 5 до 28 Дж/м² в разные годы, а количество дней с $St > 30$ варьировало от нуля (2015 г.) до 55 (2010 г.). Общее количество дней, когда параметр Ln был выше единицы, в исследуемые годы изменялось от 36 до 71 суток с наибольшими значениями в годы с хорошо выраженной стратификацией.

Заключение. Таким образом, по данным многолетних измерений температуры на небольшом мелководном озере установлено, что в период открытой воды погодные условия оказывают определяющее влияние на режим его перемешивания. При близких к климатической норме погодных условиях, режим перемешивания в водоеме типичный полимиктический. В жарких маловетренных условиях водоем приобретает черты димиктического, с продолжительным периодом летней стратификации. Кроме того, установлено, что, в результате продолжительной весенней подледной конвекции происходит установление устойчивой прямой стратификации уже под ледяным покровом, и когда водоем освобождается ото льда, полного перемешивания его водной толщи может не произойти при определенных погодных условиях этого периода – при маловетренной теплой погоде. В этом случае водоем приобретает черты мономиктического, полное перемешивание в котором происходит лишь один раз в году – на этапе осенне-зимнего охлаждения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-00436_a).

Литература

1. Зайков Б.Д. Очерки по озероведению. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1955. 271 с.
2. Mammarella I., Gavrylenko G., Zdorovenova G., Ojala A., Erkkilä K.-M., Zdorovenov R., Stepanyuk O., Palshin N., Terzhevik A., Vesala T. & Heiskanen J. Effects of similar weather patterns on the thermal stratification, mixing regimes and hypolimnetic oxygen depletion in two boreal lakes with different water transparency. *Boreal Env. Res.* 2018, 23: 237–247.
3. Heiskanen, J. J., Mammarella, I., Ojala, A., Stepanenko, V., Erkkilä, K.-M., Miettinen, H., Sandstrom, H., Eugster, W., Lepparanta, M., Jarvinen, H., Vesala, T., and Nordbo, A.: Effects of water clarity on lake stratification and lake-atmosphere heat exchange, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 120, 7412-7428, 2015.
4. Diaz R. J. Overview of Hypoxia around the World // *Journal of Environment Quality*. 2001.30, P. 275.
5. Гавриленко Г. Г., Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Пальшин Н. И., Терзhevik А. Ю. Термический и кислородный режимы мелководного озера на этапе летнего нагревания // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2014. Т. 10, вып. 1. С. 414–421
6. Kirillin G. Modelling the impact of global warming on water temperature and seasonal mixing regimes in small temperate lakes // *Boreal Env. Research*. 2010. Vol. 15. P. 279–293.
7. Winder M., Schindler D.E. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem// *Ecology*. 2004. V. 85. I. 8. P. 2100-2106. DOI: 10.1890/04-0151.
8. Георгиев А.П., Назарова Л.Е. Трансформация рыбной части сообщества в пресноводных экосистемах Республики Карелия в условиях изменчивости климата // *Экология*. 2015. № 4. С. 272–279.
9. Литинская К. Д., Поляков Ю. К. Озера Вендюрской группы – Урос, Риндозеро, Вендюрское // *Водные ресурсы Карелии и их использование*. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1975. С. 57–66.
10. Imberger J., Patterson J.C. Physical limnology// *Advances in Applied Mechanics*. 1990. V. 27. P. 303-475. DOI:10.1016/S0065-2156(08)70199-6
11. Read J. S., Hamilton D. P., Jones I. D., et al. Derivation of lake mixing and stratification indices from high-resolution lake buoy data// *Environmental Modelling & Software*. 2011.V. 26. I. 11.P. 1325-1336. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.05.006
12. Idso S. B. On the concept of lake stability// *Limnology and Oceanography*. 1973. V. 18. I. 4. P. 681-683.

13. Тержевик А.Ю., Голосов С.Д., Гавриленко Г.Г., Здоровеннов Р.Э., Здоровеннова Г.Э., Волков С.Ю., Пальшин Н.И., Ефремова Т.В., Богданов С.Р. Возможное влияние “необычной” весны на режим растворенного кислорода в мелководном озере в летний период. Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2017. № 10. С. 17-27.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК ПЕРЕХОД ОТ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ К ЭКОНОМИКЕ КАЧЕСТВА¹

Н.Л. Гагулина

Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

Gagulina Natalya L.

Institute for Regional Economic Studies RAS, St.Petersburg, Russian Federation

Аннотация: Цифровая трансформация с ее революционными преобразованиями несет в себе высокий уровень неопределенности и риска. Эффективным средством улучшения в таких условиях являются инструменты экономики качества.

Abstract: Digital transformation with its revolutionary conversions carries a high level of uncertainty and risk. Effective tool of improving in such conditions are economic instruments of quality.

Ключевые слова: экономика знаний, цифровая трансформация, стандартизация, метрология, управление качеством

Проявлением системных изменений экономики начала XXI века является ее цифровая трансформация. В исторические эпохи, предшествующие современной, основой экономики являлось материальное производство, которое сопровождалось совершенствованием и расширением спектра производимых товаров. В середине прошлого столетия произошли коренные сдвиги в развитии не только производительных сил общества, но и науки. Превращение науки в ведущий фактор развития в результате научно-технической революции, обусловило формирование новой ключевой технологии – интеллектуальной, что обозначило переход к новому этапу научно-технического прогресса и интенсификации общественного производства. На современном этапе развития доминирующими стали виды деятельности, которые не имеют целью создание новой материальной ценности. Для постиндустриального общества нового технологического уклада главными компонентами структуры технологического способа производства выступают:

интеллект человека + новейшие информационные технологии + информация

Возрастает доля наукоемких отраслей, создающих продукцию на основе высоких технологий. Общей закономерностью изменений в отраслевой структуре мирового хозяйства является рост удельного веса сферы услуг, что способствует формированию обширной инфраструктуры экономики, усилению ее диверсификации.

В рамках нового технологического уклада основу социально-экономических отношений составляет экономика знаний. Воспользуемся методикой, разработанной Всемирным банком, для того чтобы проанализировать состояние экономики знаний в России [1]. Данная методика содержит 4 группы ключевых показателей, образованные на базе 109 показателей. В число ключевых показателей вошли институциональный режим, уровень образования населения, информационная и коммуникационная инфраструктура, национальная инновационная система. По состоянию на 2009 год индекс экономики знаний, рассчитанный как среднее арифметическое значений ключевых показателей, составил 5,55 по 10-балльной шкале. В выборке из 145 стран Россия заняла 60-е место. Согласно рассчитанному Всемирным банком индексу экономики

¹ Статья подготовлена по результатам ФНИ по Программе Президиума РАН № 27 «Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров»

знаний, Россия уступает по данному показателю не только странам Западной Европы, где среднее значение составило 8,76 и G7 (8,72), но и государствам Юго-Восточной Азии (6,41). Более детальный анализ слагаемых индекса экономики знаний показывает, что для России на фоне довольно значительного вклада индекса образования чрезвычайно низкие значения принимает индекс институционального режима. Полученные значения свидетельствуют о том, что по сравнению с другими странами российское цифровое пространство нуждается в ускоренном развитии институциональной среды.

Евразийская экономическая комиссия интерпретирует цифровое пространство как пространство, интегрирующее цифровые процессы, средства цифрового взаимодействия, информационные ресурсы, а также совокупность цифровых инфраструктур, на основе норм регулирования, механизмов организации, управления и использования [2]. Отсюда следует, что основу цифровой трансформации составляет:

- создание ключевых институтов цифровой экономики;
- создание основных инфраструктурных элементов цифровой экономики.

Цифровая трансформация экономики с ее революционными преобразованиями несет в себе высокий уровень неопределенности, априори повышая уровень риска. Институты, как фундаментальные факторы функционирования экономики, являются средством повышения ее устойчивости. Главная целевая функция институтов состоит в обеспечении определенности взаимоотношений экономических агентов благодаря установленным правилам и нормам. Институты ограничивают и определяют спектр альтернатив, доступных экономическим агентам. С зарождением в нашей стране нового института связана принятая в 2017 году Правительством Российской Федерации программа по созданию условий для перехода страны к цифровой экономике «Цифровая экономика России 2024». Здесь в числе правил можно обозначить направление «Нормативное регулирование», нацеленное на формирование новой регуляторной среды, обеспечивающей благоприятный правовой режим для возникновения и развития современных технологий, а также для осуществления экономической деятельности, связанной с их использованием.

Создание основных инфраструктурных элементов цифровой экономики предполагает развитие сетей связи, системы российских центров обработки данных, внедрение цифровых платформ работы с данными для обеспечения потребностей граждан, власти и бизнеса. Технологическая совместимость цифровых решений, общих цифровых платформ и цифровой инфраструктуры в целом будет способствовать ускорению обмена товарами и услугами, развитию экономики и повышению ее эффективности. Для поддержания жизнеспособности и в целях дальнейшего развития «аналоговых» основ экономики необходимо усиление роли науки и кадрового обеспечения перечисленных приоритетных направлений [3].

Тенденции цифровой трансформации способствуют формированию ярко выраженных трендов, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Тенденции и тренды цифровой трансформации экономики

Тенденции цифровой трансформации	Тренды цифровой трансформации
-Интернет вещей;	-массовое внедрение интеллектуальных (квантовых) датчиков в оборудование и производственные линии;
-Дополненная и виртуальная реальность;	-переход на массовое внедрение роботизированных технологий;
-Интерфейсы прикладных программ;	-перевод хранения информации, проведения вычислений на перераспределенных ресурсах;
-Умные машины и искусственный интеллект;	-создание единой интегрированной автоматизированной информационной системы производственных и управленческих процессов;
-Уничтожение функциональных колодцев;	-внедрение «безбумажных» технологий;
-Гиперсвязь 5G;	-цифровое проектирование и моделирование технологических процессов на всем жизненном цикле;
-Развитие технологии Блокчейн.	-применение технологий наращивания материалов;
	-применение мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами;
	-развитие технологий промышленной аналитики и т.д.

Цифровые технологии повышают эффективность выполнения торговых транзакций, улучшают прозрачность и отчетность, устраняют задержки и снижают коррупционные риски.

В рамках цифровой трансформации открываются огромные возможности для качественного улучшения экономики, основанной на знаниях. Например, введение в практику оказания цифровых государственных услуг дает возможность гражданам легко запрашивать и получать государственные услуги. Как показывает опыт оказания цифровых государственных услуг, наиболее приоритетными услугами являются получение документа, удостоверяющего личность, регистрация по месту жительства, подача налоговой декларации, регистрация нового юридического лица и получение консультации по регистрации бизнеса и услугам электронного правительства.

Для повышения качества институциональных преобразований большую практическую пользу может принести использование результатов уникальных научных исследований возможностей применения инструментов экономики качества, полученных в ИПРЭ РАН. В условиях цифровой трансформации экономика качества призвана обеспечить непрерывное улучшение не только институционального показателя, но и всех составляющих экономики знаний. Стандартизация и метрология, являясь основными инструментами экономики качества, усиливают ресурсосберегающий эффект как в базовых отраслях, так и в экономике в целом. Цифровизация экономического роста – это еще один шаг на пути к решению проблемы ограниченности ресурсов в экономике. В пределах жизненного цикла технологий внедрение инструментов экономики качества увеличивает продолжительность периода эффективного роста. Происходит совмещение различных стадий технологического процесса, повышение

интенсивности материально-энергетических потоков, достигается малоотходность и безотходность технологий.

Цифровая трансформация сопровождается широким использованием микроэлектроники для управления технологическими процессами. В обычных условиях унификация однотипных технологий происходит медленно, поэтому появление технологий, охватывающих большое пространство и регулируемых едиными стандартами или правилами, позволяет повысить точность регулирования процессов и добиться высокой экономичности.

Своевременное использование функциональных научных результатов обеспечивается трансфером технологий и непосредственно обменом технологической информацией. Взаимосвязь трансфера технологий и их унификации основывается на постепенном повсеместном распространении технологий и их последующем улучшении. Поэтому технологии, имеющие широкий масштаб распространения, имеют наилучшим образом разработанные системы описания. Широкие пределы унификации технологий и систем описаний наглядно иллюстрируют востребованность инструментов экономики качества.

Процесс широкомасштабной стандартизации охватывает не только техническую сферу, но и экономические, управленческие и прочие технологии. Болонский процесс позволяет проследить работу инструментов качества в контексте педагогических технологий. Так, цель устойчивого развития в области образования: «Обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех», предполагает установление единых систем педагогических технологий, использование стандартов в образовании. Проблема глобального изменения климата, решение которой предусмотрено в рамках цели устойчивого развития «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями», опирается на стандартизацию и единство измерений в области охраны окружающей среды.

Проектирование или теоретическое изучение стандартных технологий составляют основу для создания математических описаний перспективных технологий, определяют развитие соответствующей группы технологий. Эволюция технологий, связанная с типизацией процессов и автоматизацией проектирования, сопровождается появлением особых требований к материально-техническому, кадровому обеспечению сложных технологических процессов. Последующая реализация технологий требует детализации их описания. При этом конкретизируются не только последовательности действий и операций, но и числовые характеристики процессов, возникает необходимость в метрологическом обеспечении. В результате разрабатывается технологическая документация, содержащая информацию о характеристиках и точности измерительных систем, сроках поверки измерительного оборудования и т.д. Теоретически стало возможным создание технологий, которые могли бы работать без вмешательства человека неограниченное количество времени.

Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» определяет стандартизацию, один из инструментов экономики качества, как «деятельность по разработке (ведению), утверждению, изменению (актуализации), отмене, опубликованию и применению документов по стандартизации и иной деятельности, направленной на достижение упорядоченности в отношении объектов стандартизации». Развитие стандартизации оказывает влияние на технический прогресс, безопасность жизни и здоровья людей, устранение технических барьеров в торговле, становление очередного технологического уклада [4].

Наиболее распространенными и востребованными сегодня являются системы менеджмента качества, созданные в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000. В условиях цифровой трансформации велик уровень риска, что обусловило применение таких стандартов, как ГОСТ Р 51897-2011/Руководство ИСО 73:2009 «Менеджмент риска. Термины и определения», ГОСТ Р ИСО 31000-2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство». Интегрирование процесса менеджмента риска в общее управление, стратегию и планирование, процессы отчетности, политику, ценности и культуру позволит сделать управление более гибким, целенаправленно достигать поставленных целей. Построение систем экологического менеджмента в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 14 000 (ISO 14000) не только не потеряет своей актуальности, но и найдет новое, более широкое применение.

Процесс создания и спецификации соответствующих цифровых активов организаций значительно облегчается в условиях интегрированной системы менеджмента, удовлетворяющей требованиям не только стандартов на систему менеджмента качества, но и экологического менеджмента. При этом целесообразно обратиться к стандарту ГОСТ Р ИСО 19011-2012, который посвящен практике объединения аудитов систем менеджмента качества и окружающей среды.

Особого внимания в условиях цифровой трансформации заслуживает социальное развитие и следование таким принципам, как прозрачность, этическое поведение, уважение интересов заинтересованных сторон, соблюдение верховенства закона, соблюдение международных норм поведения и соблюдение прав человека. Декларация о следовании предприятия перечисленным принципам проистекает из применения в текущей деятельности ГОСТ Р ИСО 26000:2010 «Руководство по социальной ответственности». При работе с разными видами цифровых активов особенно актуально использование стандарта ГОСТ Р ИСО 26000-2012.

Анализ существующих стандартов позволяет сделать вывод об их положительном влиянии на качество управления в условиях экономики знаний. Институционализация цифрового пространства повысится за счет расширенного применения стандартизации, метрологии и управления качеством, она будет и далее способствовать универсализации величин, понятий и процессов, а применение методов управления качеством повысит эффективность работы с информацией.

Дальнейшая востребованность инструментов экономики качества определена не только их положительным вкладом в управление системами, но и их организующей ролью для цифровой экономики.

Литература

1. Варшавская Е.Я. Что сдерживает развитие в России экономики, основанной на знаниях (по данным международного рейтинга экономики знаний) // Креативная экономика. – 2012, №4. – С.36-41.
2. Цифровой единый рынок, Европейская комиссия, 2017, [Digital Single Market, European Commission, 2017], <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/public-services-egovernment>
3. Roundup Of Internet Of Things Forecasts, 2017 (<https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2017/12/10/2017-roundup-of-internet-of-things-forecasts/#6f840a7d1480>)
4. Окрепилов В.В., Иванова Г.Н., Чудиновских И.В. Цифровая экономика: проблемы и перспективы. Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. - № 3-4 (56-57), 2018.

ДОЛГОСРОЧНАЯ ОЦЕНКА ГОДОВОГО СТОКА РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Е. В. Гайдукова, Н. В. Викторова, С. В. Шаночкин

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

LONG-TERM ASSESSMENT OF ANNUAL RUNOFF OF THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

E.V. Gaidukova, N.V. Victorova, S. V. Shanochkin

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg, Russia

Получены сценарные оценки последствий изменения климата для годового стока рек Арктической территории России. При расчетах использовались региональные зависимости свойств подстилающей поверхности водосборов от климатических факторов, позволяющие получить надежные результаты.

Scenario estimates of the effects of climate change on the annual flow of rivers in the Arctic territory of Russia are obtained. In the calculations, we used the regional dependences of the properties of the underlying surface of the watersheds on climatic factors, which allow obtaining reliable results.

Одним из главных факторов, оказывающим влияние на социально-экономическое развитие Арктической территории России, является климат, который в последние годы начал изменяться в неблагоприятную сторону. Влияние изменяющегося климата сказывается и на гидрологическом режиме речных бассейнов Арктики.

Цель исследования заключалась в выявлении статистически значимых отклонений в географических распределениях многолетнего годового стока в перспективе климатических изменений на территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ).

Для формирования базы данных исследования использовались базы данных *Global Runoff Data Centre* и Всемирной Метеорологической Организации. Число постов на АЗРФ, с учетом только зональных речных бассейнов, однородных рядов с четным числом периодов водности, составило 120 с совместным периодом наблюдений для всех станций с 1956 по 1999 год. Оценка промежуточных результатов расчетов и подготовительная работа по формированию информационной базы существующего гидрологического режима, необходимой для параметризации прогностической модели, выполнялись общепринятыми статистическими методами.

Для сценарной оценки использовалась система алгебраических уравнений, полученная из общей системы уравнений для моментов, аппроксимирующей модель формирования стока в виде уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова [1]. Эта система разработана для практических расчетов прогнозных статистических характеристик режима водных объектов и дает устойчивые решения, но не учитывает изменения влагозапасов в почвогрунтах [2].

В прогностическое выражение входит коэффициент стока, который можно изменять в новых климатических условиях. Были найдены зависимости коэффициента стока от температуры приземного воздуха отдельно для Дальнего Востока, Восточной, Западной и Центральной

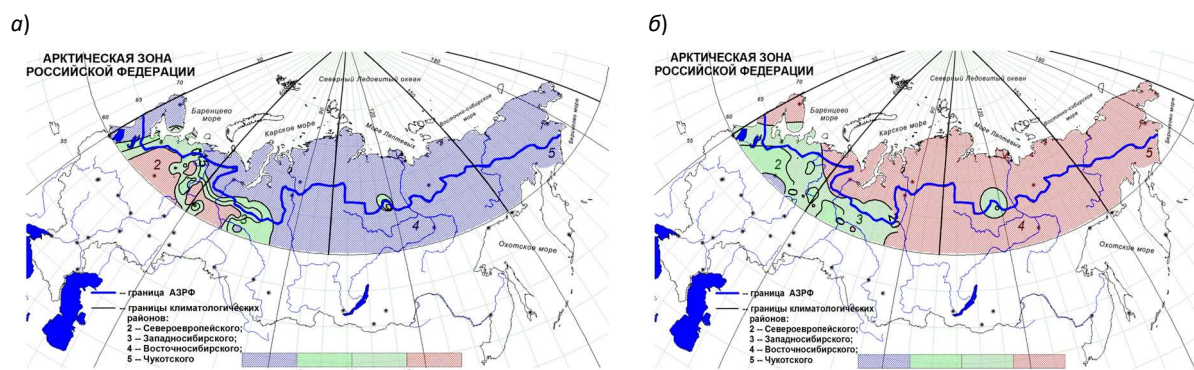
Сибири и Европейской территории России Арктической зоны. Коэффициенты детерминации варьировались от 0,42 (для Дальнего Востока) до 0,90 (для ЕТР).

Для прогнозирования изменений вероятностных характеристик стока использовались климатические сценарии Пятого оценочного доклада МГЭИК (РТК2.6, РТК4.5 и РТК8.5).

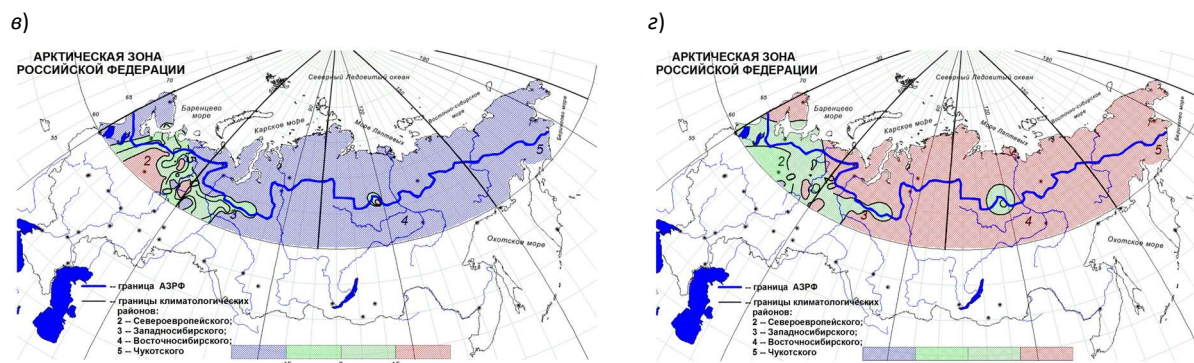
Были рассчитаны сценарные значения норм слоя годового стока и коэффициентов вариации на период с 2020–2040 гг. по 2041–2060 гг. по всем климатическим сценариям по модели Института им. Макса Планка. С использованием этих значений были найдены отклонения их от фактических значений. Статистически значимыми отклонениями считались такие отклонения, которые превышали погрешности определения величин нормы стока и коэффициента вариации, соответственно 15 и 20 %.

На рис. 1, а–г показаны статистически значимые отклонения между прогнозируемыми и фактическими нормами годового стока для сценария РТК2.6 на два периода. Сравнивая относительное отклонение прогнозных значений норм стока, можно сказать, что отклонения превысят 15 % практически по всей территории АЗРФ (ожидается повышение нормы стока).

РТК 2.6
2020–2040 гг.

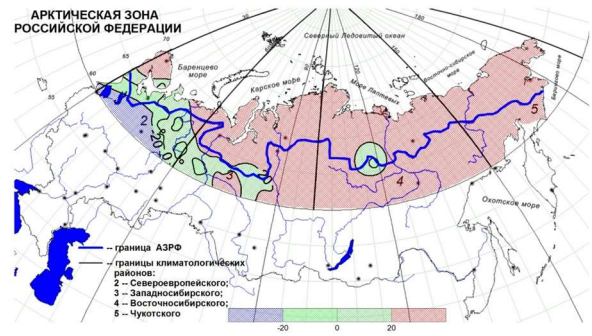
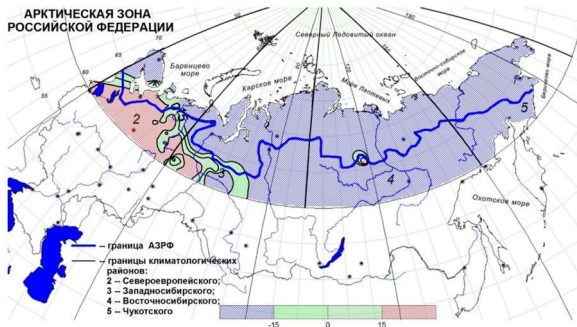


2041–2060 гг.



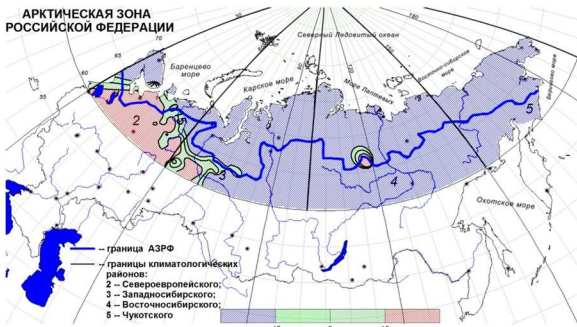
РТК 4.5
2020–2040 гг.



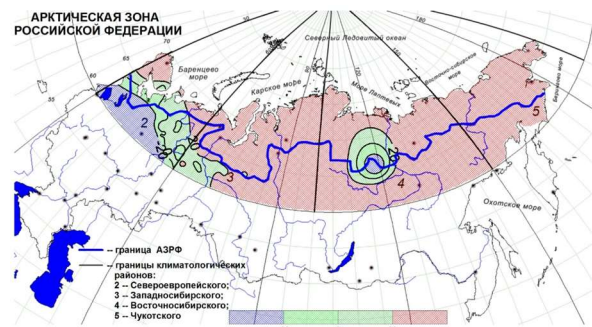


2041–2060 гг.

ж)



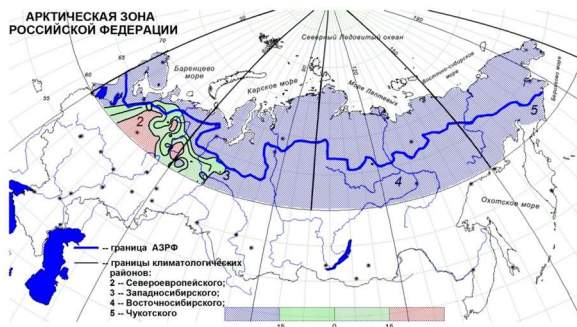
и)



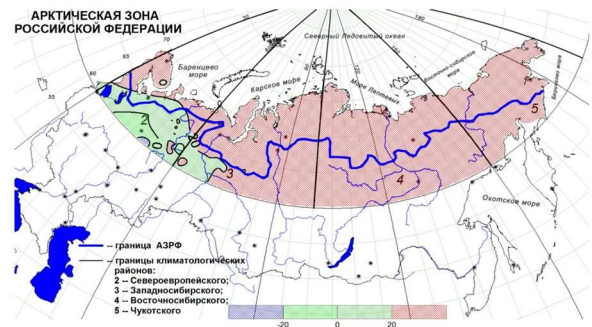
РТК 8.5

2020–2040 гг.

к)

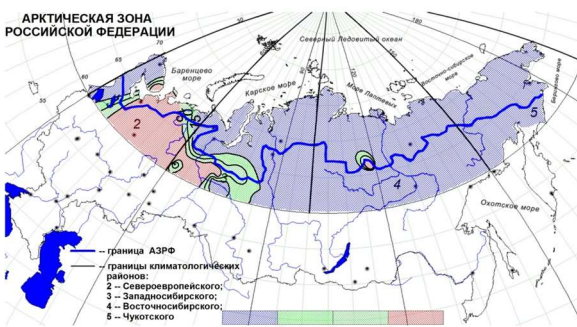


л)



2041–2060 гг.

м)



н)

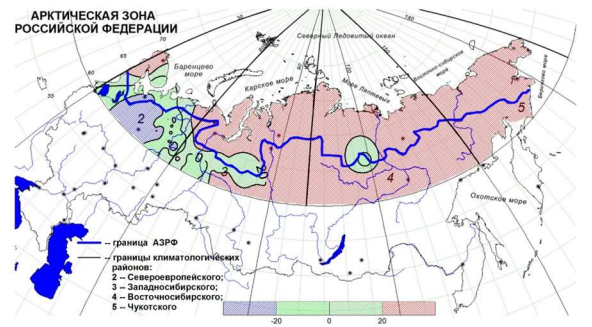


Рис. 1. Статистически значимые отклонения между прогнозируемыми и фактическими нормами годового стока и коэффициентами вариации на периоды 2020–2040 гг. и 2041–2060 гг. по модели MPI-ESM-MR для климатических сценариев РТК2.6, РТК4.5 и РТК8.5.

Отклонение коэффициентов вариации по сценарию РТК2.6 достигают максимальных значений 20 % в восточной части и на Кольском полуострове Арктической территории Российской Федерации.

Для климатического сценария РТК4.5 значимые изменения будут наблюдаться на Европейской Арктической территории Российской Федерации. Увеличение нормы стока может произойти в период с 2020 по 2040 гг. на 8 %. Относительные отклонения коэффициентов вариации мало изменятся по сравнению со сценарием РТК2.6.

По сценарию РТК8.5 наибольшие относительные отклонения прогнозных значений норм стока и коэффициентов вариации следует ожидать в период с 2041 по 2060 гг. на Европейской территории России.

Полученные сценарные карты распределения вероятностных характеристик годового стока могут быть использованы для оценки чувствительности водозависимых отраслей экономики к возможным изменениям климата при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений в Арктической зоне России.

Литература

1. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В., Громова М.Н., Хаустов В.А. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 51 с.
2. Kovalenko V.V., Gaidukova E.V. The phenomenon of nonzero norm of long-term changes in the total water supply in river basins // American Journal of Environmental Sciences, T. 11, № 2, 2015 – С. 76–80.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ КОМПОНЕНТОВ ВОДНОГО РЕЖИМА ЮЖНОТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА ПОЛИГОНА «ТАЕЖНЫЙ ЛОГ» ВАЛДАЙСКОГО ФИЛИАЛА ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

М.Л. Гитарский, А.С. Марунич, А.В. Шилкин, Д.Г. Замолодчиков, В.Н. Коротков, В.Г. Блинов

Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия

Валдайский филиал Государственного гидрологического института, Валдай, Россия

Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Россия

Центр экологии и продуктивности лесов, Москва, Россия

Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Москва, Россия

THE INSTRUMENTAL MONITORING OF WATER REGIME FOR SOUTH TAIGA SPRUCE FOREST AT “LOG TAIGA” EXPERIMENTAL SITE OF VALDAI BRANCH OF STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE

M.L. Ginarskiy, A.S. Marunich, A.V. Shilkin, D.G. Zamolodchikov, V.N. Korotkov, V.G. Blinov

Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

Valdai Branch of State Hydrological Institute, Valdai, Russia

“Typhoon” Research and Production Association, Obninsk, Russia

Center for Forest Ecology and Production, Moscow, Russia

“Planeta” Scientific and research Center for Space Hydrometeorology, Moscow, Russia

Исследования показали, что эвапотранспирация в южнотаежном ельнике зависит от суммы осадков. Изреживание древесного яруса приводит к снижению удельной теплоты парообразования и абсолютной влажности атмосферного воздуха. Подрост и наземная растительность компенсируют падение транспирации изреженного древесного яруса.

Evapotranspiration in the south taiga spruce forest depends on the amount of precipitation. The thinning of the tree layer results in decrease in specific heat of water vapor formation and absolute air moisture. The undergrowth and terrestrial vegetation compensate the decreased transpiration of thin tree layer.

Исследования водного режима осуществляли на экспериментальном полигоне «Таежный лог» - уникальном научном объекте с более чем шестидесятилетней историей гидрологических наблюдений, расположенном в национальном парке «Валдайский» (Валдайский р-н Новгородской обл., 57°57.76'с.ш., 33°20.34'в.д., 218 м н.у.м.). Лесная растительность полигона представлена типичным лесным биотопом южной тайги – старовозрастным ельником мелкотравно-зеленомошным [1, 2]. На территории полигона в 1958 г. были установлены три высотные мачты для лесных гидрометеорологических наблюдений. В 2010 г. одна из мачт была оборудована для инструментальных измерений потоков водяного пара (H₂O) и диоксида углерода (CO₂) с использованием метода микродинамических (турбулентных) пульсаций. Основными компонентами измерительного комплекса являются акустический анемометр и регистратор данных производства компании Campbell Scientific Inc. (США) и инфракрасный анализатор CO₂ и H₂O открытого типа производства LI-COR Inc. (США) [3, 4]. В его состав также входят регистраторы осадков и влажности, температуры воздуха и почвы, радиационного баланса, фотосинтетически активной радиации и потоков почвенного тепла. Ключевой набор сенсоров размещен на высоте 42 м от поверхности земли при высоте окружающего древостоя 32 – 35 м. Эксплуатация комплекса осуществляется Валдайским филиалом Государственного гидрологического института совместно с Научно-производственным объединением «Тайфун». Контроль его работы и расчет потоков CO₂ и параметров водного режима производится при помощи программного обеспечения, предоставленного Campbell Scientific Inc.

Мониторинг потоков CO₂ и водного режима проводился в 2010 и 2011 гг., после чего работа комплекса была прервана по техническим причинам и возобновилась в 2015 году. Поскольку водный режим зависит от состояния древесной растительности, на территории полигона были определены полнота, запасы растущей части (живых деревьев) и древесного опада, представленного сухостоем и валежом. Оценки выполнялись по принятым в лесном хозяйстве

методам [1, 5] и представляют собой интегральную оценку состояния елового древостоя. Состояние ельника оценивали в 2009 г., до начала наблюдений, и затем в 2010, 2011 и 2018 гг. В докладе рассмотрены изменения водного режима южнотаежного ельника, полученные с мая по август 2010, 2011, 2016, 2017, 2018 и 2019 гг., в период наиболее интенсивной вегетации лесной растительности. Влияние елового древостоя на водный режим оценивали путем сопоставления с данными о его состоянии за 2010, 2011 и 2018 гг.

На рисунке 1 показаны величины среднесуточной эвапотранспирации (суммарного испарения с поверхности почвы и лесной растительности) и удельной теплоты парообразования, а на рисунке 2 – значения абсолютной влажности воздуха над пологом лесного массива (на высоте 42 м) и влажности почвы, зафиксированные во время наиболее интенсивной вегетации елового древостоя, произрастающего на территории полигона.

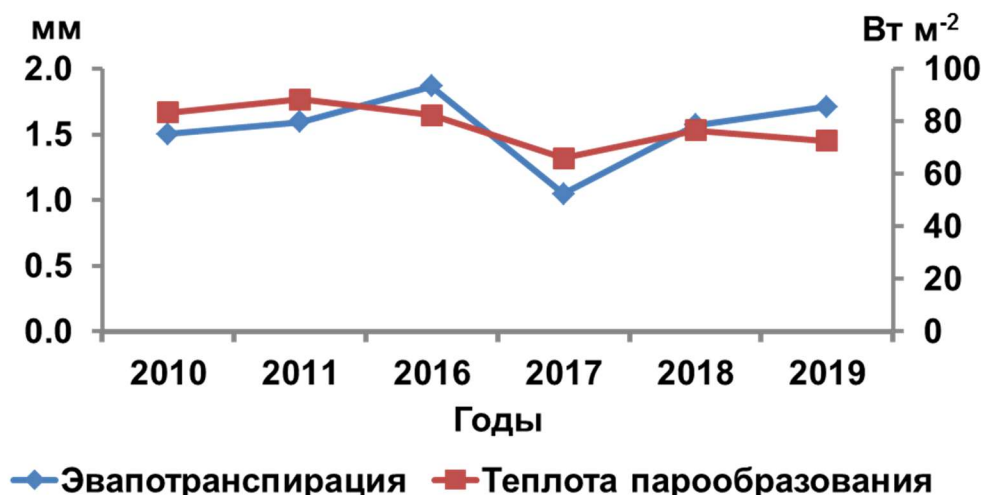


Рис. 1. Среднесуточная эвапотранспирация и средняя величина удельной теплоты парообразования в южнотаежном ельнике в период его интенсивной вегетации

Наименьшие эваптранспирация и удельная теплота парообразования соответствуют 2017 году, летом которого была зафиксирована наибольшая сумма осадков (262 мм). Между тем величины эвапотранспирации и удельной теплоты парообразования в 2010 г. не выделялись на фоне их межгодовой изменчивости (рисунок 1).

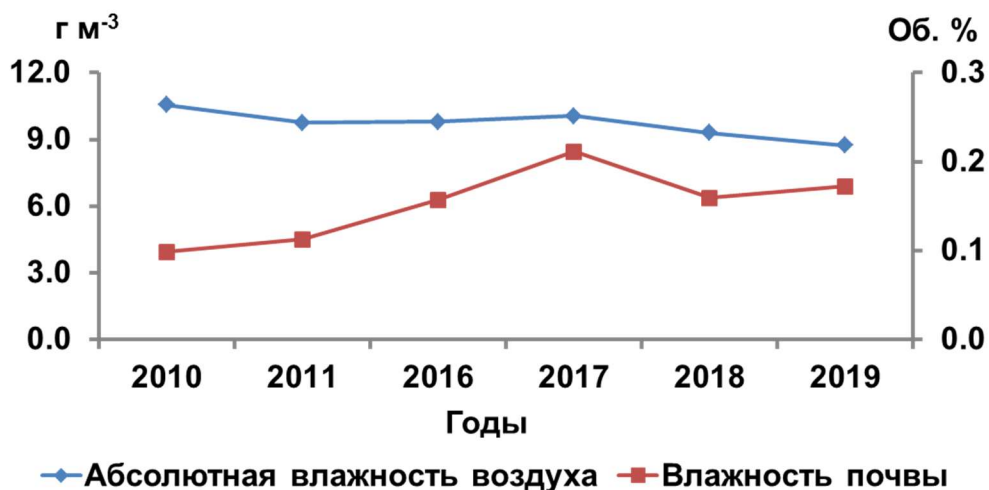


Рис. 2. Абсолютная влажность воздуха над лесным пологом и влажность почвы в южнотаежном ельнике

В засушливый, 2010 год, влажность почвы была наименьшей, а абсолютная влажность воздуха над пологом елового древостоя достигла максимума (рисунок 2). В ходе наших

предыдущих исследований было установлено, что суммарное годовое испарение может достигать 41% годовой суммы осадков, а его доля в зимний период составляет 7% годовой величины [2]. Эвапотранспирация с мая по август оказалась значительно выше – от 97% суммы осадков, выпавших в сухой 2010 г., до 51% их суммы в наиболее влажный 2017 г. Влажность почвы растет с увеличением суммы атмосферных осадков, выпадающих в летние месяцы. Однако увеличение влажности почвы негативно сказывается на теплоте парообразования, величина которой уменьшается (рисунки 1 и 2).

Результаты оценки состояния елового древостоя на территории полигона приведены в таблице 1. На основании приведенных данных состояния древостоя можно заключить, что исследуемый южнотаежный ельник находится в состоянии возрастной сукцессионной дигрессии. На фоне уменьшения запаса живой древесной растительности растут изреженность лесного полога и отпад. К 2018 г. запас сухостоя и валежа увеличился более чем втрое, а полнота елового древостоя снизилась до 0,4, когда лесной массив переходит в категорию редколесья. Судя по изменению полноты древостоя, его возрастная деградация началась в 2009 гг. и ускорилась из-за засухи 2010 года, проявившейся в сокращении влажности корнеобитаемого слоя почвы (рисунок 2).

Таблица 1. Динамика показателей запаса отдельных фракций елового древостоя на экспериментальном полигоне «Таежный лог» ($\text{м}^3 \text{га}^{-1}$)

Запас отдельных фракций древостоя по годам	2009	2010	2011	2018
Полнота	0,7	0,6	0,5	0,4
Живые деревья	572	479	355	335
Сухостой и валеж	100	192	316	337

По-видимому, изреженностью древесного яруса лесного массива можно объяснить прогрессирующее снижение удельной теплоты парообразования и абсолютной влажности атмосферного воздуха над лесным пологом, показанные на рисунках 1 и 2. Однако за этот же период заметных изменений эвапотранспирации не наблюдается (рисунок 1). Скорее всего, это обусловлено тем, что в условиях роста освещенности окнах распада елового древостоя происходит активное развитие листовенного подроста и травяно-кустарниковой растительности, которые компенсируют падение транспирации от изреживания древесного яруса. Таким образом, можно заключить, что степень изреженности елового древостоя влияет на компоненты его водного режима.

В конце октября 2019 г. территория экспериментального полигона «Таежный лог» подверглась воздействию разрушительного урагана, следствием которого был массовый ветровал еловых деревьев, еще более ускоривший распад исследуемого ельника. Продолжение мониторинга компонентов водного режима в изреженном еловом древостое позволит уточнить полученные результаты. Работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ Росгидромета (тема 1.3.5.1).

Литература

- Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л., Грабар В.А., Замолдчиков Д.Г., Зинченко А.В., Иванова Н.П., Ивахов В.М., Карабань Р.Т., Карелин Д.В., Каложный И.Л., Кашин Ф.В., Конюшков Д.Е., Коротков В.Н., Кровотынцев В.А., Марунич А.С., Парамонова Н.Н., Романовская А.А., Трунов А.А., Шилкин А.В., Юзбеков А.К. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах (Под ред. Д.Г. Замолдчикова, Д.В. Карелина, М.Л. Гитарского, В.Г. Блинова) — Саратов: Амирит. 2017. — 279 с.
- Замолдчиков Д.Г., Гитарский М.Л., Шилкин А.В., Марунич А.С., Карелин Д.В., Блинов В.Г., Иващенко А.И. Мониторинг циклов диоксида углерода и водяного пара на полигоне «Лог Таежный» (Валдайский национальный парк). // *Фундаментальная и прикладная климатология*. — 2017. №1. — С. 54-68.
- CSAT3. Three Dimensional Sonic Anemometer. Instruction manual. — Campbell Scientific Inc. — 2009. — 70 p.
- LI-7500 Open Path CO₂/H₂O Analyzer. Instruction manual. — LI-COR Inc. — 2007. — 155 p.

5. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы, и осины в Европейской части России // Лесоведение. — 1996. № 6. — С. 36-45.

ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА СТОКА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПО Р. НЕВЕ

Говор А. А., Шелутко В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

THE MONITORING ISSUES OF NITROGENS INTO NEVA RIVER RUNOFF

Govor A. A., Shelutko V.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

В работе рассматриваются проблемы оценки качества вод с учетом особенностей гидрохимической информации. Приводится анализ динамики биогенов р. Невы за период с 1978 по 2017.

In this topic we review the issue of estimate of water quality with taking into features of hydrochemical data. The topic contains the analysis of dynamics of total nitrogens Neva river runoff from 1978 to 2017.

Мониторинг биогенных веществ крайне важен, потому что такие биогенные вещества, как азот и фосфор, являются причиной эвтрофикации озер, медленно текущих рек и особенно Балтийского моря. Выбросы биогенных веществ осуществляются, главным образом, вследствие аграрной деятельности, а также из точечных источников, таких как промышленность и сооружения очистки сточных вод. Азот может быть удален только с помощью биологических процессов нитрификации и денитрификации. Большинство азотных соединений переводится в состояние молекулярного азота и выводится в атмосферу. Фосфор, который зачастую имеет большое значение для качества водных объектов, может быть устранен с помощью химических или биологических мероприятий. Фосфор накапливается в активном иле и выводится из процесса путем удаления активного ила. Для улучшения состояния водоемов крайне важно сократить нагрузку по биогенным веществам, в особенности по фосфору.

В данной работе объектом исследования является река Нева. При расчетах использовались временные ряды измеренных, средних годовых и концентраций биогенных веществ и расходы воды реки Нева в пределах г. Санкт-Петербург за период с 1978 г. по 2017 г.

В наших предыдущих исследованиях было показано [1], что распределение значений средних многолетних концентраций валового фосфора по длине р. Невы имеет сложный характер (Рисунок 1).

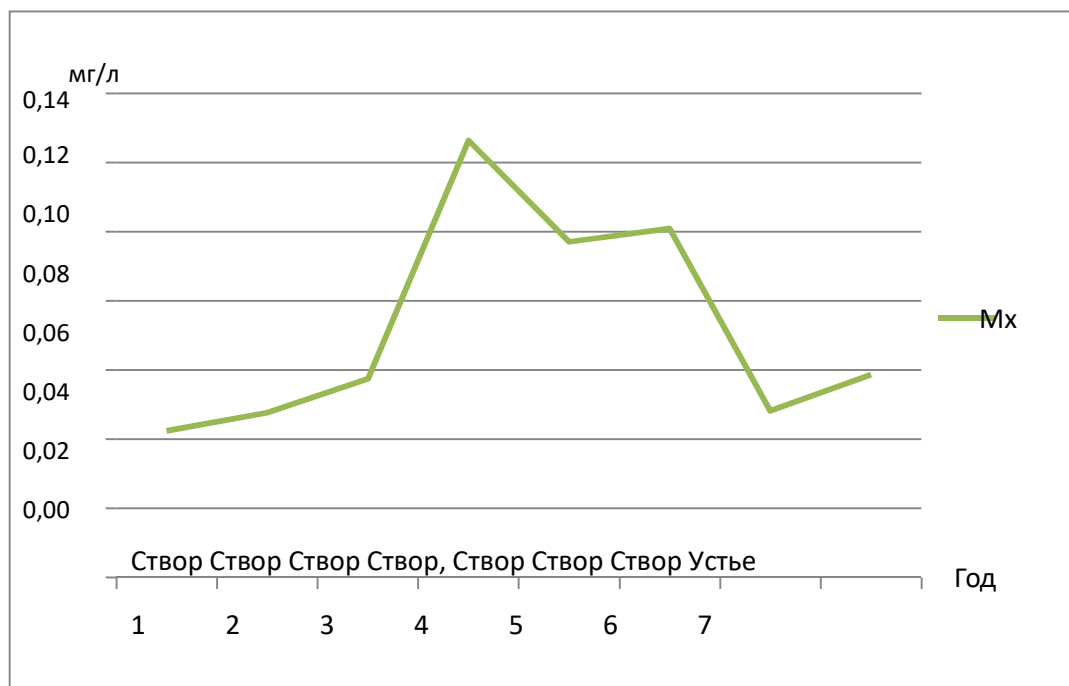


Рис. 1. Значения среднегодовых концентраций валового фосфора в р. Нева за весь период наблюдений.

Именно река Нева считается внутренним источником валового фосфора для Балтийского моря по данным HELCOM [2].

Цель работы заключалась в анализе содержания соединений биогенных веществ в р. Неве. В рамках поставленной цели решались следующие задачи: оценить числовые характеристики концентраций биогенных веществ по длине р. Невы от истока до устья; проанализировать изменения средних годовых концентраций по длине р. Невы; выявить причины несоответствия изменений средних годовых концентраций биогенных веществ по длине реки Невы существующим представлениям.

При решении задач использовались данные наблюдений Северо-Западного межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 1978 по 2017 год и статистические средства обработки информации [2], метод территориальных обобщений и гидрологической аналогии. Кроме того, для анализа пространственно-временного изменения средних годовых концентраций по реке Нева использовались интегральные кривые, построенные по средним годовым концентрациям в каждом створе наблюдений.

Распределение значений средних годовых концентраций валового фосфора по длине р. Невы имеет довольно сложный характер. На сравнительно коротком расстоянии средние многолетние значения концентраций валового фосфора то возрастают, то уменьшаются почти в два раза (в пределах р. Нева изменяются от 0,04 до 0,13 мг/дм³). Такие изменения концентраций по длине р. Невы физически мало оправданы и поэтому должны быть детально изучены.

На основе анализа интегральных кривых средних годовых концентраций установлено, что многолетние колебания концентраций по трем створам существенно отличаются от колебаний концентраций по другим створам наблюдений. При этом отличия наблюдаются в основном в период с 1991 по 2001 год. В ходе статистического анализа средних годовых концентраций валового фосфора в стоке реки Нева установлено, что исходные ряды являются неоднородными

по среднему значению и дисперсии. Оказалось, что весь имеющийся период наблюдений за содержанием валового фосфора может быть разбит на три части. При этом оценки математических ожиданий по второй части периода наблюдений (1991 - 2001 год) существенно отличаются от данных полученных по первой (1978 - 2000 год) и третьей части (2002 - 2013 год). Вероятность того, что данные за второй период принадлежат к одной генеральной совокупности с первой и третьей частью периода наблюдений составляет менее 0,1%.

На этом основании возникла необходимость отдельного анализа рядов, составленных из данных за первый и третий период наблюдений и рядов составленных из данных за третий период наблюдений. При дальнейшем анализе из исходных рядов наблюдений был исключен 2 период (1991-2001), как не принадлежащий к общей генеральной совокупности. Данные наблюдений по каждому створу за первый и третий период были объединены в одну совокупность.

Исключение данных за второй период из исходных рядов наблюдений существенно изменило характеристики концентраций валового фосфора как во времени, так и по длине реки Невы. Здесь можно отметить два периода, первый период - до 1990 года, второй период - после 2002 года. За второй период по всем рядам наблюдений по длине реки Нева произошло некоторое уменьшение стока валового фосфора за счет сокращения сброса сточных вод.

После исключения 2-го периода наблюдений расчетные изменения средних многолетних концентраций по длине реки Нева стали более упорядоченными и более соответствующими физическим процессам стока валового фосфора урбанизированных территорий.

Особенно важно, что после исключения из расчетов концентраций данных по второму периоду наблюдений, практически полностью, в пределах статистических погрешностей, исключено уменьшение среднемноголетних концентраций вниз по течению р. Невы.

Вместе с тем необходимо отметить важность и спорность полученных результатов. Действительно, в данном случае из расчетов полностью или частично исключается десятилетний период наблюдений в 11 створах расположенных на реке Нева. В дальнейшем будут исследованы причины отклонения средних годовых концентраций в этот период.

Литература

1. Говор А.А., Шелутко В. А. «Анализ приращений соединений валового фосфора в реке Неве в пределах Санкт-Петербурга». МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК т.9, № 2, г.2017.
2. HELCOM, 2009 Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Balt. Sea Environ. Proc. No. 115B.
3. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1991, 238 с.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКИХ РАЙОННЫХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Гогоберидзе Г.Г.¹, Косьян Р.Д.², Румянцева Е.А.¹

¹ Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

² Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, Россия

SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF KRASNODAR KRAI COASTAL MUNICIPALITIES

Gogoberidze G.¹, Kos'yan R.², Rumiantceva E.¹

¹ Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

² Southern Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Gelendjik, Russia

На основе индикаторного метода оценки устойчивости социально-экономического развития приморских районных муниципальных образований проведен анализ для приморских муниципалитетов Краснодарского края.

On the basis of the indicator method for sustainability assessing of socio-economic development of the coastal municipalities, the analysis for the coastal municipalities of the Krasnodar Krai was carried out.

Применимость методологии оценки устойчивости для береговых систем районного пространственного уровня

В применении к задачам территориального планирования, следует принять во внимание необходимость использования многоуровневой системы оценки устойчивости [1-9]. Использование методологии оценки и анализа составляющих факторов устойчивости береговых систем и береговой инфраструктуры для различных пространственных уровней позволит:

- получать достоверные данные о состоянии береговых систем и инфраструктуры различного пространственного уровня;
- обеспечивать лица и организации, принимающие решения, информацией, необходимой для перспективной оценки условий жизни населения и размещения составляющих морехозяйственного комплекса;
- разрабатывать планы стратегического развития для береговых систем различных пространственных уровней;
- составлять прогнозы взаимодействия общества и природы, включая оптимальный вариант размещения производительных сил и прогноз состояния береговых систем в зависимости от сценария развития.

К районному пространственному уровню, рассматриваемому в данной работе, относятся приморские районные муниципальные образования в пределах их административных границ. Все приморские районные муниципальные образования имеют особенности своего социально-экономического развития и экологического состояния, обусловленные различными физико-географическими и социально-экономическими аспектами, что определяет текущее состояние устойчивости системы. В качестве составляющих необходимо рассмотреть таких факторов устойчивости, как:

- экономический;
- социальный;
- природоохранный;
- социально-политический.

Индикаторный метод комплексной оценки устойчивости районных муниципальных образований

Использование индикаторного метода комплексной оценки устойчивости районных муниципальных образований позволяет оценить их состояние, давая возможность показать иерархию районов и дать прогноз изменчивости и уязвимости [5-11]. Индикаторный подход может быть использован для оценки отдельно каждого из факторов устойчивости.

При разработке системы и методов показателей расчета были сделаны следующие предложения для всех разработанных индикаторов:

- значение индикатора должно быть безразмерным и принимать значения в диапазоне от -1 до +1;

- отказ от использования весовых функций при расчете интегральных показателей, так как это приведет к неоднозначности и противоречиям в оценке важности каждого показателя.

Методика расчета индикаторов позволяет проводить оценку отдельных индикаторов устойчивости и развития относительно общероссийского уровня, что позволяет оценивать уровень отдельных муниципалитетов не только внутри региона (например, Краснодарского края как субъекта Российской Федерации), но и относительно общероссийского уровня в целом.

Экономический фактор устойчивости определяется исходя из величины приведенных доходов местного бюджета, инвестиций в основной капитал, уровня развития районной транспортной инфраструктуры, туристического потенциала, величины производства сельскохозяйственной продукции и устойчивости действующих в районе предприятий.

Социальный фактор устойчивости определяется исходя из величины естественного прироста населения, уровня показатель обеспеченности населения объектами социальной инфраструктуры, уровня дохода населения и транспортной доступности для населения административных центров.

Природоохранный фактор устойчивости определяется исходя из площади особо охраняемых природных территорий, величины выбросов в атмосферу, уровня затрат из местного бюджета на природоохранные мероприятия и показателя утилизации отходов.

Социально-политический фактор устойчивости определяется исходя из величины оттока населения, дотируемости района из бюджетов субъекта Российской Федерации и уровня задолженности по заработной плате.

Комплексный интегральный показатель оценки устойчивости районного муниципального образования рассчитывается как среднее из 16 показателей, для каждого районного муниципального образования, и отражает ситуацию на территории данного района. При этом учет указанных параметров и факторов дает возможность проведения комплексной оценки текущей устойчивости арктического районного муниципального образования, включающих в себя не только интегральные показатели, но и комплексные покомпонентные факторные оценки устойчивости.

Комплексная оценка социально-экономической устойчивости районных муниципальных образований Краснодарского края

Данная системы апробировалась для 11 приморских районных муниципальных образований Краснодарского края. В качестве исходных данных использовалась статистическая информация из открытых источников, за 2013 и 2018 гг., что позволило оценить тенденции изменчивости обстановки в районных муниципалитетах.

По значениям комплексного интегрального показателя оценки устойчивости можно говорить в целом о достаточно ровной ситуации в регионе (рис. 1). Выделяются город-курорт Сочи и город Новороссийск, как наиболее устойчивые районные муниципальные образования Краснодарского края, со значением показателя более 0,3. В этих районах все интегральные показатели по факторам устойчивости являются положительными, а для города-курорта Сочи значение интегрального показателя социально-политической устойчивости максимально (+1). Также все значения интегральных показателей по факторам устойчивости положительны для Темрюкского и Туапсинского районов, однако значения интегральных природоохранных и социально-политических показателей невелики. Наименее устойчивыми являются Щербиновский, Каневской и Славянский районы, со значениями комплексного интегрального показателя оценки устойчивости менее 0,1, причем для Щербиновского района значения интегральных природоохранных и социально-политических показателей отрицательные.



Рис. 1. Комплексный интегральный показатель устойчивости приморских районных муниципальных образований Краснодарского края, 2018 г.

По сравнению с 2013 г. существенную положительную динамику показывают город Новоросийск и Ейский район, значения комплексного интегрального показателя для которых изменилось с 0,19 до 0,36 и с -0,01 до 0,19 соответственно, прежде всего за счет улучшения экономической и политической ситуации в районах (рис. 2). Снижение уровня устойчивости наблюдается для Туапсинского и Щербиновского районов. Это связано с ухудшением социально-политической обстановки в муниципалитетах, а также природоохранной деятельности для первого района, и с ухудшением экономической ситуации во втором районе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-45-230001 р_а.

Заключение

В результате проведенного анализа и оценки возможностей учета средне- и долгосрочных климатических, экологических и социально-экономических изменений районных муниципальных образований, была разработана концептуальная модель комплексной оценки устойчивости и стратегического планирования деятельности муниципалитетов. Апробация модели на районных муниципальных образованиях Краснодарского края показала ее применимость как для проведения оценок современного состояния, так и возможностей отслеживания динамики и прогноза изменчивости устойчивости развития муниципалитетов, как в комплексе, так и по отдельным факторам.

Литература

1. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. – М.: Академия, 2007. – 368 с.
2. Ершова А.А., Вицентий А.В., Гогоберидзе Г.Г., Шишаев М.Г., Ломов П.А. Морское пространственное планирование: возможности для приморских территорий и прилегающих акваторий Мурманской области // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2018. – Т. 14. – № 2 (359). – С. 269-287.

3. Махутов Н.А., Кузык Б.Н., Абросимов Н.В., Ресыга В.Н. Системные стратегические риски и приоритеты прогнозного социально-экономического и научно-технологического развития России до 2030 года с использованием стратегических рисков. – М.: ИНЭС-ИМАШ РАН, 2012. – 136 с.



Рис. 2. Изменчивость значений комплексного интегрального показателя устойчивости приморских районных муниципальных образований Краснодарского края, за период 2013-2018 гг.

4. Плинк Н.Л., Гогоберидзе Г.Г. Политика действий в прибрежной зоне. – СПб.: изд. РГГМУ, 2003. – 224 с.
5. Belfiore Stefano. The growth of integrated coastal management and the role of indicators in integrated coastal management: introduction to the special issue // Ocean & Coastal Management. Special issue: the role of indicators in integrated coastal management. – 2003. – Volume 46. – Number 3-4. – P. 225-234.
6. Bowen Robert E., Riley Cory. Socio-economic indicators and integrated coastal management // Ocean & Coastal Management. Special issue: the role of indicators in integrated coastal management. – 2003. – Volume 46. – Number 3-4. – P. 299-312.
7. Gogoberidze G. Tools for comprehensive estimate of coastal region marine economy potential and its use for coastal planning // Journal of Coastal Conservation. – 2012. – Volume 16. – Issue 3. – P. 251-260.
8. Gogoberidze G., Abramov V., Ershova A., Popov N., Lednova J. The concept and methodology of integrated assessment of coastal systems and coastal infrastructure sustainability // 17th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM 2017. Volume 17. Issue 52. Ecology, Economics, Education and Legislation. Conference Proceedings. 29 June – 5 July. – 2017. – Bulgaria. – P. 951-958.
9. Gogoberidze G., Lednova J., etc. Coastal Ecosystems. Types, Sustainable Management and Conservation Strategies. – 2014. – Nova Science Publishers, Inc. – 202 p.
10. Гогоберидзе Г.Г. Индикаторные методы как инструмент комплексного анализа и оценки приморских территорий // Вестник ИНЖЕКОНА. Серия: Экономика. – 2008. – № 3. – С. 142-151.
11. Gogoberidze G. Socio-Economic and Resource Potential of the Russian Coastal Regions // Proceeding volume of the EMECS'10 – MEDCOAST'13 Joint Conference “Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges”, 30.10-04.11, 2013. – 2013. – Marmaris, Turkey. – P. 373-381.

ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ГОДОВОГО СТОКА РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ

С.М. Гордеева^{1,2}, В.Н. Малинин¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

² Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва, Россия

BASED ON DECISION TREES METHOD PREDICTING OF EUROPEAN RUSSIA RIVERS ANNUAL RUNOFF

S.M.Gordeeva^{1,2}, V.N. Malinin¹

¹ Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Russia

Расчет годового стока рек Северной Двины и Невы выполнен методом деревьев решений, который обладает такими преимуществами, как физически понятная интерпретация и более высокая точность прогнозов.

The annual runoff of the Northern Dvina and Neva rivers was calculated using the decision tree method, which has such advantages as a physically obvious interpretation and higher forecast accuracy.

Метод «деревьев решений» (decision trees) относится к числу популярных методов Data Mining— анализа экспериментальных данных с целью поиска неочевидных, объективных и полезных на практике закономерностей. Data Mining является мультидисциплинарной областью, развивающейся на базе достижений прикладной статистики, распознавания образов, методов искусственного интеллекта, нейронных сетей, теории баз данных и др. [1-3].

Целью этой работы является демонстрация возможности использования указанного метода для расчета годового стока рек европейской территории России (ЕТР), находящихся в различных географических районах и в разных условиях увлажнения: Северной Двины (Усть-Пинега) и Невы (Новосаратовка). В основе расчетов стока принят физико-статистический метод: вначале устанавливаются физические связи функции отклика (речного стока) с определяющими факторами, а затем уже на статистической основе строится модель, заблаговременность которой зависит от инерционности воздействующих на изучаемый параметр факторов. Для построения прогностических моделей использованы метод деревьев решений и множественная линейная регрессия и проводится сопоставление их между собой.

Для прогноза межгодовых колебаний стока крупных рек, определяющими являются климатические факторы [4]: запасы влаги в снежном покрове перед началом снеготаяния, предшествующее осеннее увлажнение почвы и летнее увлажнение в апреле – сентябре за текущий и предшествующий год. Причем, чем больше площадь водосборного бассейна, тем больший вклад этих факторов в колебания стока и тем более длительную их предысторию следует учитывать. Естественно, главное влияние на сток оказывает первый предшествующий год. Влияние второго года сказывается главным образом в аномальные по характеру увлажнения годы. Учтем, что межгодовая изменчивость осадков значительно превышает аналогичную изменчивость суммарного испарения, поэтому испарением с поверхности

бассейна можно пренебречь. В результате модель для годового стока может быть записана в следующем виде:

$$Q_i = f(P^x_{(i-1)j}, P^T_{(i-1)j}, P^x_{(i-2)j}, P^T_{(i-2)j}), \quad (1)$$

где Q_i – годовой сток реки; P^x_j, P^T_j — суммарные за холодный (октябрь-март) и теплый (апрель-сентябрь) периоды года осадки на j станции; i — номер текущего года; $i-1, i-2$ — номера двух предыдущих лет соответственно. Вообще, с физической точки зрения, в качестве годового стока должен приниматься период с апреля по март следующего года. Однако подобный годовой период усреднения значений речного стока не получил распространения на практике. Поэтому используются значения стока за календарный год. В результате осадки за холодный период (октябрь-март) $i-1$ года частично перекрывают рассчитываемый речной сток текущего i -го года (январь-март). Минимальная теоретическая заблаговременность в этом случае расчета годового стока составляет 9 месяцев, а реальная будет зависеть от заблаговременности получения данных об осадках.

В наиболее простом виде метод деревьев решений заключается в формировании в виде древоподобной иерархической структуры некоторых классифицирующих правил типа «если... то...». Для принятия решения, к какому классу (группе) отнести некоторый объект или ситуацию, требуется проверять в узлах дерева условия для независимых переменных, начиная с его корня. С каждым шагом появляется новое ветвление, уточняя необходимое решение. Алгоритм CART формирует бинарное дерево, а для нахождения наилучшего варианта выполняет последовательный перебор всех возможных комбинаций независимых переменных. Оптимальным результатом считается тот, при котором вероятность неправильной классификации минимальна. Подробности применения метода деревьев решений обсуждаются в [2, 5].

Предвычисление годового стока Северной Двины.

Северная Двина является важнейшей рекой ЕТР, несущей свои воды на север. Годовой сток Северной Двины в створе Усть-Пинега брался за период 1968-2012 гг. Прогноз стока реки сложен из-за слабого покрытия речного водосбора гидрометеорологическими данными. Осадки за указанный период времени доступны только для 8 станций водосбора реки [5].

В соответствии с формулой (1) был сформирован архив из 32 (4 набора для 8 станций) временных рядов осадков, разделенный на зависимую выборку (1968-2002 гг.) – для построения модели, и независимую выборку (2003-2012 гг.), по которой выполнялось сравнение фактических и вычисленных по модели значений годового стока.

Вначале для прогноза стока Северной Двины применялась модель МЛР. С помощью пошагового алгоритма МЛР получена оптимальная модель со стандартной ошибкой 332 м³/с (79 % от СКО). На независимой выборке стандартная ошибка прогноза составила 486 м³/с (116 % СКО), что значительно хуже. Это означает, что при таком слабом покрытии территории бассейна осадкомерными станциями, данная регрессионная модель не позволяет рассчитывать годовой сток Северной Двины с необходимой точностью.

Совершенно иные результаты прогноза стока Северной Двины получены при использовании алгоритма CART метода деревьев решений. Исходное дерево с одним узлом ветвления позволяет восстановить сток реки на зависимой выборке с коэффициентом детерминации 32%

и стандартной ошибкой 0,81 СКО, а на независимой выборке – 0,86 СКО. С дальнейшим ветвлением качество прогноза на зависимой и независимой выборке улучшается. На рисунке 1 приводится модель дерева с двумя ветвлениями. Первым ветвителем являются зимние осадки на ст. Великий Устюг в $i-1$ год. Если их выпадало больше 278 мм, то в 4 случаях из 35 отмечался аномально высокий сток Северной Двины (среднее 3865 м³/с), если меньше 278 мм, то в 31 случае наблюдался сток около нормы (среднее 3126 м³/с). На втором ветвлении разделителем служат зимние осадки на ст. Каргополь в $i-1$ год. Если их выпало больше 217 мм, то в 26 случаях из 31 сток должен быть около нормы (среднее 3197 м³/с), если меньше 217 мм, то сток оказывался аномально низким (среднее 2758 м³/с). Качество этой модели уже является удовлетворительным: стандартная ошибка на зависимой выборке 0,72 СКО, а на независимой выборке – 0,80 СКО.

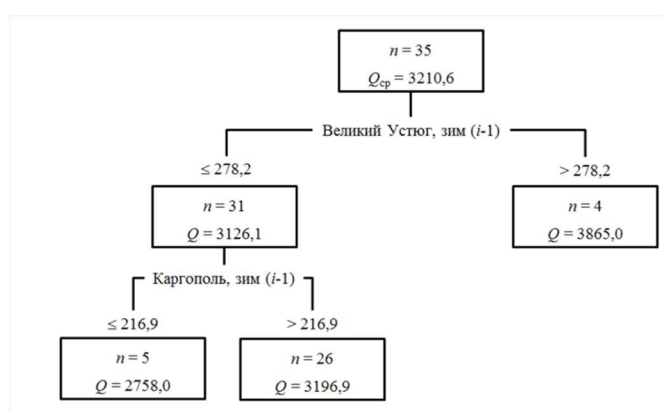


Рис. 1. Дерево решений с двумя ветвлениями, описывающее формирование годового стока Северной Двины в i -тый год в зависимости от зимних и летних осадков в $i-1$ и $i-2$ годы на метеорологических станциях, расположенных на территории бассейна за период 1968-2002 гг.

Предвычисление годового стока Невы.

Как известно, Ладожское озеро и река Нева являются важнейшим звеном Волго-Балтийского и Беломоро-Балтийского водных путей. Долгосрочный прогноз стока Невы относится к числу актуальных региональных гидрологических проблем. На наш взгляд, речной сток Невы и колебания уровня Ладожского озера целесообразно рассматривать как единую гидрологическую систему, функционирование которой почти полностью определяется естественными факторами и, прежде всего, процессами влагообмена в системе океан-атмосфера-суша. Поэтому к расчету стока Невы полностью применим физико-статистический метод. При этом определяющим фактором служат изменения уровня Ладожского озера, который интегрирует запасы влаги водосборного бассейна озера в предшествующий период. Увлажнение вне водосборного бассейна Ладожского озера представим осадками в г. Санкт-Петербург, поскольку вне водосборного бассейна нет ни одной станции, где есть временные ряды осадков большой продолжительности.

В результате рабочая прогностическая формула годового стока Невы в i -й год Q_i примет следующий вид:

$$Q_i = f(P^*_{i-1}, P^*_{i-2}, H_{i-1}, H_{i-2}), \quad (2)$$

где P^* — годовая сумма осадков в Санкт-Петербурге, H — среднегодовой уровень Ладожского озера, i — номер текущего года; $i-1$, $i-2$ — номера двух предыдущих лет, соответственно. Исходные данные по уровню и осадкам брались с 1896 года, по стоку — с 1898 года. Зависимая выборка принималась за период 1898-1997 гг. (100 лет), независимая — за период 1998-2007 гг. (10 лет). Среднеквадратическое отклонение годового стока Невы на зависимой выборке равно 430,9 м³/с.

На рисунке 2 показано оптимальное дерево решений, полученное алгоритмом CART. Для него отмечается минимум стандартной ошибки стока по независимой выборке (0,74 от СКО).

Это дерево имеет три узла ветвления. Первым разделителем служит уровень Ладожского озера в $i-1$ год. Если он выше 455,5 см, то в 68 случаях из 100 сток Невы является высоким (среднее 2654 м³/с), если меньше 455,5 см, то в 32 случаях — низким (среднее 2140 м³/с). На втором шаге ветвителем опять выступает уровень озера в $i-1$ год ($H = 563$ см), который отделяет просто высокий сток (среднее 2604 м³/с) от аномально высокого стока (среднее 3170 м³/с), наблюдавшегося в 6 случаях из 100. Осадки в Санкт-Петербурге являются хорошим индикатором формирования маловодного стока. Если осадков в $i-1$ год выпадает меньше 463 мм, то отмечается аномально низкий годовой сток Невы (среднее 1602,5 м³/с).

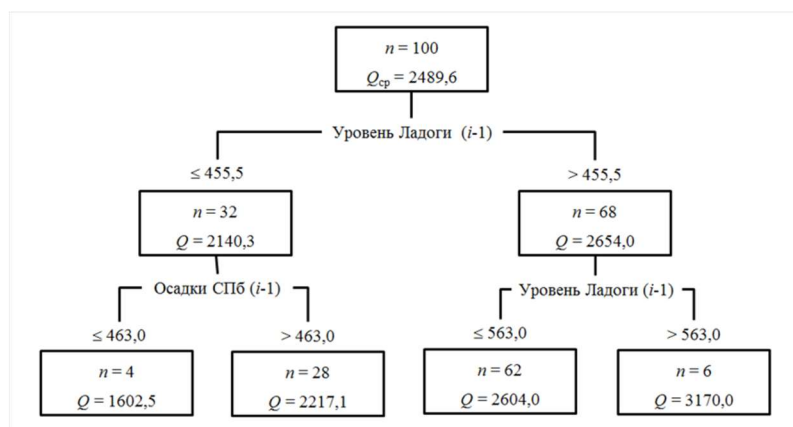


Рис. 2. Дерево решений, описывающее формирование годового стока Невы в i -тый год в зависимости от суммы годовых осадков в Санкт-Петербурге и среднегодового уровня Ладожского озера в $i-1$ год за период 1898-1997 гг.

Что касается предвычисления годового стока Невы на основе модели МЛР, то она состоит из 4 предикторов (уровня озера и осадков в Санкт-Петербурге в $i-1$ и $i-2$ годы). При этом ее стандартная ошибка по независимой выборке равна СКО, т.е. она значительно уступает в точности моделям деревьев решений.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования метода деревьев решений для оценок годового стока крупнейших рек ЕТР (Северная Двина, Нева). В отличие от модели МЛР, в которой описание дисперсии речного стока происходит за счет корреляции с исходными предикторами по всей их длине, метод деревьев решений минимизирует «расстояния» между значениями фактического стока и предикторами на отдельных временных отрезках ряда стока, причем с увеличением количества ветвлений дерева длина этих отрезков уменьшается. При этом метод деревьев решений обладает существенными преимуществами по сравнению с классическим методом МЛР, которые особенно ярко проявились для прогностических моделей стока Северной Двины и Невы. Так, для Северной Двины вследствие слабого покрытия бассейна осадкомерными станциями модель МЛР не позволяет рассчитывать ее годовой сток с необходимой точностью. В то же время при использовании деревьев решений уже на первых шагах ветвления можно получить оценку годового стока с достаточной точностью, а для наилучшей модели стандартная ошибка расчета годового стока по независимой выборке почти в два раза меньше оценки его стандартного отклонения!

Для расчета годового стока Невы четырех предикторов (уровень Ладожского озера и осадки в Санкт-Петербурге за два предшествующих года) явно недостаточно, чтобы построить эффективную модель МЛР. Однако их вполне достаточно для получения относительно надежных значений стока Невы, начиная с самого грубого дерева до 7-ми ветвлений включительно. Оптимальная модель имеет стандартную ошибку расчета годового стока по независимой выборке равную 0,74 от СКО.

Важным преимуществом метода деревьев решений, особенно для понимания формирования аномального по водности стока, является визуализация получаемых результатов и более понятная их интерпретация. Индикатором аномально высокого стока Северной Двины служат зимние осадки на ст. Великий Устюг в $i-1$ год (> 278 мм), а аномально низкого стока – зимние осадки на ст. Каргополь в $i-1$ год (< 217 мм). Если уровень Ладожского озера выше 563 см, то на следующий год ожидается аномально высокий сток Невы, если годовая сумма осадков в Санкт-Петербурге меньше 463 см, сток Невы в следующий год становится аномально низким.

Наконец, еще одно достоинство метода деревьев решений состоит в том, что уже на первых шагах ветвления, т.е. при малом числе предикторов удается получить оценки годового стока с приемлемой для практических целей точностью. При этом, в отличие от МЛР, при ветвлении в модели деревьев неоднократно может входить один и тот же предиктор.

Литература.

1. Bramer M. Principles of Data Mining. Springer, 2007. 344 p.
2. Classification and Regression Trees: textbook. Electronic resource. URL: <http://www.stat.cmu.edu/~cshalizi/350/lectures/22/lecture-22.pdf> (free, 15.10.2019)
3. Popular Decision Tree: Classification and Regression Trees (C&RT). Electronic resource. URL: <http://www.statsoft.com/textbook/classification-and-regression-trees> (free, 15.10.2019)
4. Малинин В.Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. СПб.: Изд. РГГМИ, 1994. 160 с.
5. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Использование Data Mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования //Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 30-44.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО АМУРА

Н.И. Горошкова

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», СПб, Россия

FORECAST METHOD FOR THE MAXIMUM SHUTTER LEVELS IN THE TOP AMUR SWIMMING POOL

N.I. Goroshkova

SHI« State Hydrological Institute», St. Petersburg, Russia

Разработка методики прогноза заторных уровней на затороопасных участках Верхнего Амура вызвана изменениями климата и антропогенных факторов. Сделана оценка многолетних изменений максимальных уровней.

The development of methods for predicting mash levels in the mash hazardous areas of the Upper Amur is caused by changes in climate and anthropogenic factors. The assessment of long-term changes in maximum levels is made.

В пределах России в 80% всех случаев наблюдаются наводнения, вызванные интенсивным снеготаянием. Причём в 50 % случаев они сочетаются с наводнениями, обусловленными разрушением ледяного покрова и сопровождающими этот процесс заторами льда. Заторные наводнения возникают, когда при большой весенней водности реки в ней скапливаются массы льда, существенно уменьшающие водопрпускную способность русла и приводящие к резким подъемам уровня воды. Почти на половине речных гидрологических постов Росгидромета наивысшие уровни воды отмечены при заторах льда. Убытки от заторных наводнений нередко составляют десятки миллиардов рублей [1]. Поэтому прогноз максимальных заторных уровней важен для обеспечения безопасности населения и объектов инфраструктуры.

Рассматривается бассейн Верхнего Амура, где наблюдаемое повышение температуры, особенно в холодный период, наиболее значительно [5]. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений за характеристиками ледового режима приведена на рис.1. Сведения о продолжительности наблюдений и координатах пунктов - в табл.1. Их продолжительность составляет 118-78 лет.

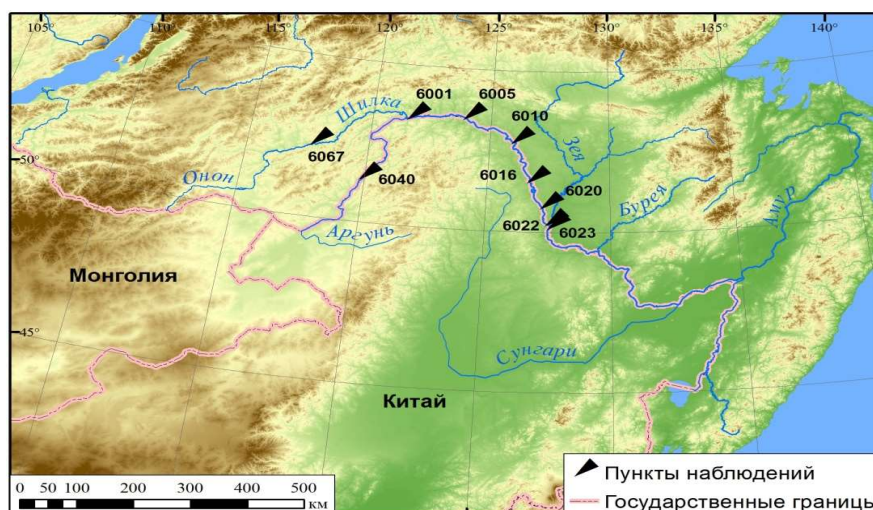


Рис. 1. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений в бассейне Верхнего Амура

Данные за первоначальные годы отмечены в ОГХа как сомнительные, особенно в пунктах с большими перерывами в наблюдениях и использовать их для разработки методики прогноза максимальных заторных уровней нецелесообразно.

Таблица 1. Характеристики пунктов и периоды наблюдений

Код поста	Река-пункт	Широта	Долгота	Период наблюдений	Число лет набл.
06001	Амур – с. Покровка	53° 21'	121°32'	1896-30,1935-45,1948-2013	111
06005	Амур – с. Джалинда	53° 28'	123°54'	1912-16,1918, 1920-37,1940-44,1946-2013	98
06010	Амур – с. Черняево	52°47'	126°00'	1899-37,1940-45,1947-2013	113
06016	Амур – с. Кумара	51°34'	126°43'	1899-1921,1923-2013	115
06020	Амур – с. Сергеевка	50°46'	127°17'	1936-47,1949-2013	78
06022	Амур – г. Благовещенск	50°15'	127°30'	1900-14, 1924-30, 1933-2013	104
06023	Амур – с. Гродеково	50°08'	127°34'	1912-20,1923-45,1947-2013	100
06040	Аргунь – с. Олоча	51°21'	119°53'	1902-18,1920-30,1932-2013	111
06067	Шилка – г. Сретенск	52°15'	117°41'	1896-1919,1921-2013	118

Особенности весеннего ледохода на реках Дальнего Востока определяются континентальным климатом и горным характером большей части бассейнов. Толщина ледяного

покрова на реках бывает до 1,5 м. Потери при снеготаянии из-за многолетней мерзлоты незначительными, гористая территория обуславливает быстрый сброс воды в русловую сеть.

Ледяной покров разрушается из-за динамических нагрузок со стороны водного потока при большой интенсивности и скорости перемещения волны половодья. На участках с уменьшением уклона и резким изменением русла в плане вскрытие задерживается. При поверхностной скорости течения более 0,6 – 0,8 м/с происходит торошение льдин, ледяная масса уплотняется и увеличивается ее толщина. Русло наиболее стеснено льдом. Подъем уровня воды наблюдается выше места стеснения. Наибольшая интенсивность отмечается в момент образования затора - более 3-5 м за нескольких часов.

Заторные явления – неотъемлемая составная часть процесса вскрытия рек Дальнего Востока. Большой объем льда в руслах рек, значительные скорости течения (0,6 м/с и более), множество русловых препятствий для движения льдин в виде излучин, перекатов, островов создают благоприятные условия для образования скоплений льда при вскрытии рек и образования мощных заторов льда [3,4,5].

Ледоход в период весеннего половодья в бассейне Верхнего Амура проходит при низких уровнях, так как снежный покров на водосборе реки невелик, а грунтовое питание в значительной мере задерживается мерзлотными процессами. Поэтому весенние воды не обеспечивают свободную транспортировку льда при его большой толщины и прочности. В результате образования затора вода затопливает пойму и прилегающие территории. Наводнения в бассейне Верхнего Амура наблюдаются при дождевых паводках и при весеннем ледоходе и заторах льда. Например, на рисунке 2 показано затопление поймы у с. Сергеевка.

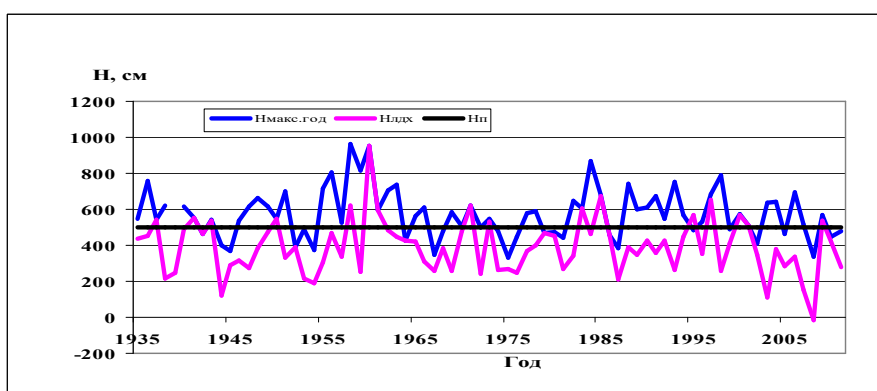


Рис. 2. Изменение максимальных годовых (Нмакс.год), ледоходных и заторных (Н лдх,зтр) уровней воды р. Амур – с. Сергеевка, (Нп — уровень выхода воды на пойму)

Таблица 2. Максимальные уровни воды р. Амур в периоды открытого русла и ледовых явлений

Река	Пункт	L, км	Ноль графика поста	Максимальные уровни воды над «нулем» поста			
				годовой	год	лдх	Год
1	2	3	4	5	6	7	8
Амур	с. Кумара	2168	160,53 м БС	1227	1958	704	1920

Амур	с. Сергеевка	2015	133,18 м БС	961	1958	954*	1960
Амур	г. Благовещенск	1941	119,88 м БС	895	1958	561	1930
Амур	с. Гродеково	1921	114,63 м БС	1202	1958	905	1950

Примечание: лдх — уровни в период весеннего ледохода; * — уровни воды заторного происхождения;

Поэтому прогноз максимальных заторных уровней важен для обеспечения безопасности населения и объектов инфраструктуры.

При прогнозе наводнений, обусловленных заторами льда, обычно учитывают следующие показатели процесса заторообразования: а) максимальный уровень в начале ледостава ($H_{лс}$), характеризующий мощность скопления шуги, у его верхней границы весной формируется затор; б) расход (уровень) воды у перемещающейся вниз по течению реки кромки ледяного покрова ($Q_{кр}$) - характеризует силы, развиваемые потоком в зоне торошения; в) максимальная толщина льда на участке образования затора и ниже по течению; г) температура воздуха в период таяния льда.

Влияние первого фактора велико на реках, замерзающих по загорному типу. Тесные связи между H_z и $H_{лс}$ (от 0,53 для Черняево до 0,69 для Покровка) могут использоваться для долгосрочного прогноза заторного максимума с заблаговременностью в несколько месяцев

К настоящему времени известны несколько методик прогноза максимальных заторных уровней воды для Верхнего Амура. Одна из последних [6] учитывала влияние на заторные уровни осенние и весенние факторы осеннего и их соотношения. На некоторых участках реки вклад первого фактора в процесс очень значителен. Для них долгосрочный прогноз осуществлялся по уравнению:

$$H_{лх} = a_o + a_1 H_{лс} , \quad (1)$$

Уравнения были составлены для пяти заторных участков на Верхнем Амуре, с подборов соответствующих коэффициентов. Для участка Амура с. Покровка – с. Сергеевка учитывался и весенний фактор и влияние стока рек Аргунь и Шилка .

$$H_{лх} = a_o + a_1 H_{лс} + a_2 H_Q , \quad (2)$$

где H_Q – уровень, характеризующий водность реки в период ледохода и определённый методом графической срезки.

$$H_Q = a_o + a_1 H_{и} + a_2 I_{и} + a_3 H_A \quad (3)$$

Важной задачей является повышение эффективности прогнозов заторных наводнений в условиях современных изменений климата и антропогенных воздействий [2,7]. Учет климатических и антропогенных факторов может повысить оправдываемость таких прогнозов на 5 – 15%.

Изменение вкладов отдельных факторов в формирование максимальных заторных уровней началось с 70-х годов. До 80-х годов преобладали условия вскрытия реки динамического характера, то в последующие годы главным фактором, определяющим высоту максимального уровня, стала зашугованность речного русла. Мощные заторы льда возникают на реках Сибири и Дальнего Востока, несмотря на уменьшение толщины льда и повышение зимних температур. Например, в с. Джалинда за 1948-1980 гг. было 12 заторов, а за 1981-2014гг. – 11. Но они определяются, в основном, естественной цикличностью. Как показывает проверка рядов

максимальных заторных уровней по критериям Стьюдента и Фишера – они однородны и стационарны.

Значимые тренды наблюдаются только для дат начала и окончания ледостава и его продолжительности. Прогнозные зависимости составлены для четырех заторных участков р. Амура по данным за 1981-2014 гг. Выполнен анализ основных факторов заторообразования. Величины парных коэффициентов корреляции максимальных заторных уровней воды с количественными показателями факторов вскрытия и заторообразования для этих участков отражают возросшее влияние на формирование заторных максимумов осенних факторов. Но ведущее значение они имеет только для участка у с. Покровка (таблица 3).

Таблица 3. Вклады аргументов зависимостей для прогноза максимальных заторных уровней

Заторный участок	Аргументы			
	характеризующие осень - зиму	характеризующие весну		
	Максимальный уровень в начале ледостава (Н _{макс.лдст})	Уровень 1 д лдх у Сретенска р. Шилка (Н _{срет1лдх})	Подъем уровня у Сретенска р. Шилка (I _{срет})	Уровень на день выпуска прогноза р.Аргунь – с.Олочь (Нолоч)
с. Покровка	0,44	0,27	-0,01	0,29
с. Черняево	0,09	0,28	-0,01	0,63
с. Кумара	0,04	0,10	-0,01	0,28
с.Сергеевка	-0,11	0,72	0,06	0,33

Для нижележащих участков преобладающим становится интенсивность роста уровней воды половодья на Шилке и Аргуни.

Оправдываемость краткосрочных прогнозов максимальных заторных уровней воды изменяется от 52% для с. Черняева до 74% для с. Сергеевка, т.е. эффективность методики можно считать удовлетворительной

Заключение

При сохранении в целом однородности рядов максимальных заторных уровней воды рек происходит нарушение существующих прогностических зависимостей (в основном линейных) из-за изменения детерминированных вкладов аргументов. Поэтому существующие методики требуют уточнения каждые 5-8 лет особенно, если в этот период наблюдались выдающиеся наводнения заторного происхождения. Все изменения характеристик заторов при изменении климата для рек Дальнего Востока невелики, и в целом ситуация с формированием заторов в дальнейшем будет сохраняться на современном уровне.

Литература

1. Ваганов П.А. Экологический риск. – Изд-во С-Пб. ун-та, 1999. – 115 с
2. Георгиевский В.Ю. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР. – Метеорология и гидрология, 1996, № 11, с. 89-99.
3. Каталог заторных и зажорных участков рек СССР: т. 2. Азиатская часть СССР.– Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 288 с.
4. Бузин В.А., Горошкова Н.И. Особенности формирования и методика прогнозов максимальных заторных уровней реки Амур В сборнике «Экстремальный паводок в бассейне Амура: гидрологические аспекты» /Сборник работ по гидрологии/, ФГБУ «ГГИ» СПб/, ООО «ЭсПэХа», 2015.- с.142-152.
5. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. – С.-Пб., Гидрометеоиздат, 2004. – с. 120-127
6. Бузин В.А., Шаночкин С.В. Прогнозы максимальных заторных уровней воды рек Амур и Уссури. – Труды ГГИ, 1985, вып. 309, с.44- 52.
7. Шаночкин С.В. Оценка изменений сроков основных фаз ледового режима в связи с изменением климата. Труды ГГИ, 1991, вып. 354, с. 69-74.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ И ОСАДКОВ В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Е.Н. Грек, С.А. Журавлёв

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

LONG-TERM CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF RAINFALL FLOODS AND PRECIPITATION AT THE RUSSIAN PART OF THE BALTIC SEA BASIN

E.N. Grek, S.A. Zhuravlev

Russian Federal State Budgetary Organization "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia

Работа посвящена выявлению закономерностей пространственно-временной изменчивости характеристик паводочного стока рек российской части бассейна Балтийского моря. Актуальность исследования продиктована необходимостью учета структурных изменений атмосферных осадков для надежных оценок характеристик дождевого стока в условиях изменений климата. В работе проведена оценка уже произошедших изменений максимального стока дождевых паводков, а также суточного слоя осадков в пределах исследуемой территории. Установлено, что изменения максимальных расходов воды дождевых паводков для водосборов малых и средних рек имеют положительную тенденцию. Наиболее значимое увеличение наблюдается в бассейнах рек Мга и Воложба.

Our study is devoted to the identification of patterns in spatio-temporal variability in flood characteristics for the russian part of the Baltic Sea basin. Thus, the relevance and significance of the study is determined by the necessity of taking into account the structural changes of precipitation for reliable estimates of rainfall runoff characteristics in terms of climate change. The assessment of the changes occurred in the maximum rainfall runoff and daily rainfall depth within the study area was carried out in this study. The majority of the basins in our study showed positive trends in maximum discharge. The most significant increase is observed in the basins of the Mga and Volozhba rivers.

Введение. Исследованию вопроса оценки изменчивости характеристик речного стока и атмосферных осадков посвящено множество публикаций. На протяжении XX века разрабатывались методики расчета гидрологических характеристик, основанные на условии стационарности климата в прошлом и будущем. Однако, в условиях изменения климата в настоящее время целесообразность применения данных методик ставится под сомнение [1].

В предыдущих исследованиях было выявлено, что в различных регионах Российской Федерации происходит изменение структуры выпадения осадков [2], что повышает вероятность возникновения таких опасных гидрологических явлений как быстроразвивающиеся паводки

В данной работе представлены результаты оценок произошедших изменений максимального расхода дождевых паводков рек российской части бассейна Балтийского моря, а также суточного слоя осадков за теплый период времени (апрель-октябрь) в пределах исследуемой территории.

Материалы и методы. Для оценки произошедших изменений максимального расхода дождевых паводков были отобраны 57 гидрологических постов, расположенных на малых и средних незарегулированных реках российской части бассейна Балтийского моря за период 1966-2017/18 гг. Также была проведена оценка изменений суточного слоя осадков для выявления причин изменения в максимальном дождевом стоке, как характеристика, которая, предположительно, определяют максимальный расход дождевых паводков. Оценка изменений суточного слоя осадков проводилась по данным 37 метеорологических постов за период 1966-2017 гг. за теплый период времени с апреля по октябрь включительно.

В качестве источника данных использовались архивы ФГБУ «ГГИ», ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Северо-Западного УГМС».

Анализ однородности и стационарности рядов был выполнен статистическими методами (критерии Фишера и Стьюдента, критерии Диксона, Смирнова-Граббса, оценка статистической значимости линейных трендов) [3,4]. Значимость трендов оценивалась с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла и методом И.И. Поляка [5, 6, 7]. Оценка тренда проводилась методом Сена [8].

Результаты и обсуждения. В рамках статистического анализа было выявлено, что ряды максимальных расходов дождевых паводков можно считать однородными, однако 14 постов из всего числа являются неоднородными по критериям Диксона и Смирнова-Граббса. Их неоднородность обусловлена прохождением максимального расхода воды более редкой повторяемости (рис.1), что вовсе не говорит о неоднородности всего ряда в целом.

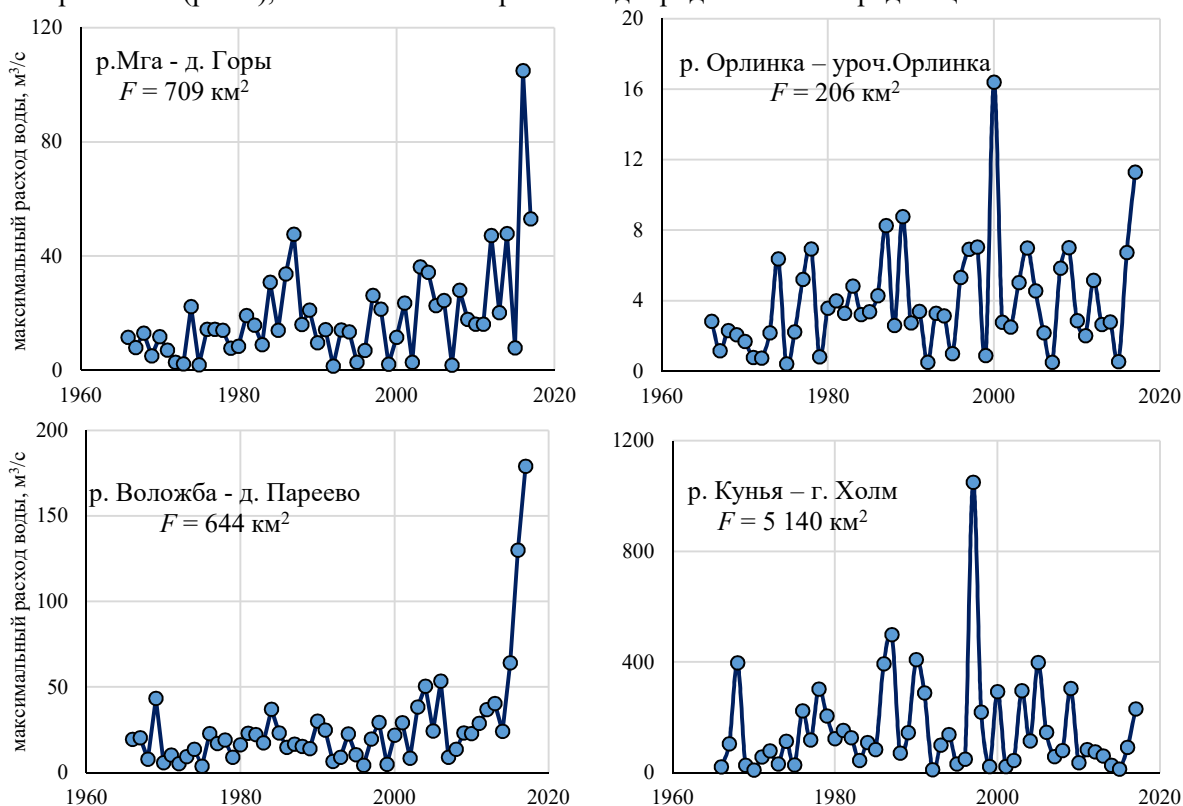


Рис.1. Пример хронологических графиков максимальных расходов воды дождевых паводков неоднородных по критериям Диксона и Смирнова-Граббса

Для 44 постов (82% от общего числа) установлено наличие положительного тренда максимальных расходов воды дождевых паводков, при этом только для 12 постов (22%) тренд является статистически значимым. Наиболее увеличение наблюдается в бассейнах рек Мга и Воложба (18 и 17%, соответственно, за 10 лет). В среднем для российской части бассейна Балтийского моря линейный тренд составляет 5,7%/10 лет (рис.2).

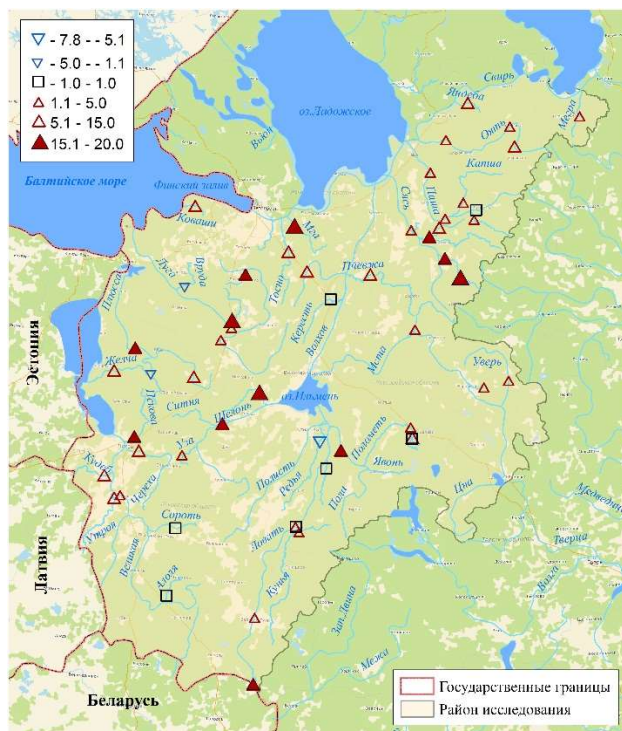


Рис.2. Линейные тренды максимальных расходов воды дождевых паводков за период 1966-2017 гг., % за 10 лет. Залيفкой отмечены посты со значимым трендом при уровне значимости $\alpha=0,05$

Результаты исследования вносят вклад в понимание механизмов формирования речного стока, выявление характера взаимосвязи атмосферных осадков и дождевого стока.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-35-90123 (Аспиранты).

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование // Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. Zolina, O., C. Simmer, S. K. Gulev and S. Kollet, 2010: Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L06704, doi:10.1029/2010GL042468.
3. Свод правил. СП 33-101-2003. – 2004. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с
4. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным, СПб, Нестор-История, 2010 г.- 162 с.
5. Mann H. B. Nonparametric tests against trend. — *Econometrica*, 1945, No. 13, pp. 245-259.
6. Kendall M. G. and Gibbons J. D. Rank Correlation Methods. — London, Griffin, 1990.
7. Поляк И.И. Оценивание линейного тренда временных метеорологических рядов/И.И.Поляк// Труды ГГО, вып.364. -Л., Гидрометеоиздат, -1975, -С. 51-55.
8. Sen P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. — *J. Amer. Statistical Association*, 1968, vol. 63, No. 324, pp. 1379-1389.

ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СУММАРНОГО УДЕЛЬНОГО ПОТОКА МЕТАНА МЕТОДОМ ПЛАВУЧИХ КАМЕР

М.Г. Гречушникова^{1,3}, И.А. Репина^{2,4}, В.С. Казанцев⁴, В.А. Ломов¹

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, Главное здание, Географический факультет

² МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 4, Научно-исследовательский вычислительный центр

³ ИВП РАН, Москва, улица Губкина, 3

⁴ ИФА им. А.М. Обухова РАН, Москва, Пыжевский пер., 3

MEASURING OF METHANE FLUX COMPONENTS BY FLOATING CHAMBERS METHOD

M. G. Grechushnikova^{1,3}, I. A. Repina^{2,4}, V. S. Kazantsev⁴, V. A. Lomov¹

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, RCC, Moscow, Russia

³ Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russia

⁴ A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

В работе приводятся данные измерений удельного потока метана в центральной части Можайского водохранилища. Измерения проводились обычной (суммарный диффузионный и пузырьковый поток) и модифицированной (диффузионный) камерой. Показано, что в начале периода стратификации пузырьковый поток отсутствует, и его доля возрастает по мере увеличения содержания метана в придонном слое в отсутствие кислорода. Произведено сравнение измеренного диффузионного потока с расчетными данными (метод TBL).

The paper presents the data of specific methane flux measurements in the central part of the Mozhaisk reservoir. Measurements were carried out by a simple (total diffusion and bubble flow) and modified (diffusion) chamber. It is shown that at the beginning of the stratification period there is no bubble flux, and its percentage grows with increasing of methane content in the bottom layer in the absence of oxygen. The measured diffusion flow is compared with the calculated data (TBL method).

Актуальность исследования выделения метана в атмосферу искусственными водоемами обусловлена как общей задачей оценки выбросов парниковых газов различными антропогенными источниками, так и недостатком данных натуральных наблюдений на разнотипных водоемах. Объект исследования – слабопроточное (коэффициент водообмена 1,15 год⁻¹) морфометрически простое долинное Можайское водохранилище в верховьях р. Москвы. Летом и зимой в нем наблюдается термическая стратификация с развитием бескислородной зоны в зависимости от синоптических условий и уровня режима [1]. По величине биомассы оно относится к мезотрофно-евтрофным водоемам [2]. Донные отложения Можайского водохранилища по классификации В.П. Курдина [3] представляют собой вторичные неорганические грунты со сравнительно небольшим содержанием органических веществ – не более 16% для илов, занимающих 80% площади дна водоема [4].

Материалы и методы. Измерения потока метана методом «плавучих камер» [5] производились в 2018 гг. в центральной части водоема в летний период. Использовались две камеры: стандартная улавливала общий поток, а вторая – диффузионный поток. Она отличалась наличием подводного щита в 70 см от нижней границы камеры для отклонения всплывающих пузырьков [6]. Одновременно производился отбор проб воды из поверхностного и придонного горизонтов. Для определения содержания метана в пробах воды и воздуха на газовом хроматографе "Кристалл 5000.2" использовался метод фазово-равновесной дегазации [7]. Температура воды и содержание кислорода определялись зондом YSI ProODO. Для расчетов диффузионного потока метана методом тонкого поверхностного слоя TBL (Thin Boundary Layer, [8]) по разнице концентрации метана между поверхностным и придонным слоями использованием параметризации коэффициента обмена по [9] использованы данные о скорости ветра и давлении с автоматической метеостанции Davis Instruments, установленной на плавучей

платформе на станции измерений на высоте 2 м над поверхностью воды. В случаях пропуска наблюдений использованы данные метеостанции г. Можайска в 15 км к юго-востоку от плотины.

Результаты и обсуждение. Сопоставление значений диффузионного потока метана, определенного методом TBL и измеренного диффузионной камерой показало хорошую сходимость в июне 2018 г., когда бескислородные условия в придонном слое отсутствовали, а содержание метана не превышало 100 мкл/л. То есть в отсутствие значительного пузырькового потока. В дальнейшем измеренные значения превышают расчетные (рис. 1), что может быть связано как с несовершенством задания коэффициента обмена при расчете, так и с несовершенством камеры (недостаточная площадь отклоняющего пузырьки щита или их растворение под щитом). Однако доля диффузионного потока в конце лета пренебрежимо мала по сравнению с пузырьковым потоком (рис. 2).

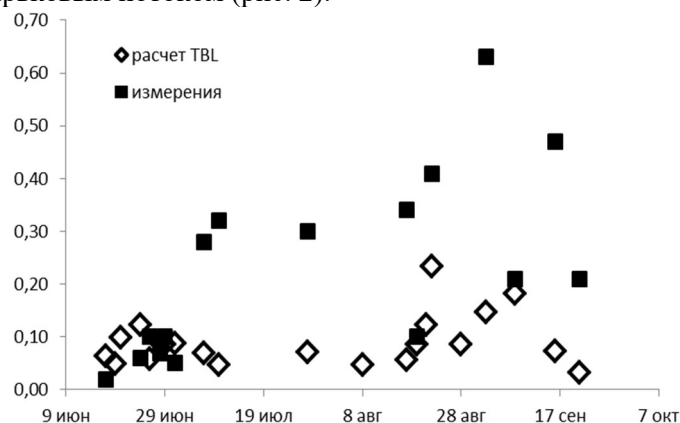


Рис. 1. Результаты расчета и измерения диффузионного потока в 2018 г. ($\text{mgCH}_4\text{-C}/(\text{m}^2 \text{ час})$).

По данным плавучих камер в центральном районе водохранилища выявлено значительное увеличение значений суммарного потока метана к моменту окончания периода летней стратификации [10]. Выявлена зависимость потока метана в атмосферу от толщины бескислородной зоны: при толщине этого слоя менее 2,5-3 м (то есть при отсутствии аноксии или на стадии ее формирования) поток метана в атмосферу не превышал $20 \text{ mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{сут}$. При толщине аноксидной зоны более 3 м (устоявшийся дефицит кислорода в придонных горизонтах) эмиссия метана увеличивалась к окончанию периода стратификации от 20 до $149 \text{ mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{сут}$. При таких условиях пузырьковый поток начинал преобладать (до 95% от общего потока метана в атмосферу). Для временных изменений диффузионного потока основной фактор – содержание кислорода в поверхностном слое, поэтому наименьшие его величины отмечались во внутрисуточном ходе днем (при активном фотосинтезе), а наибольшие ночью, когда увеличению потока метана в атмосферу способствовала конвекция при ночном охлаждении [11].

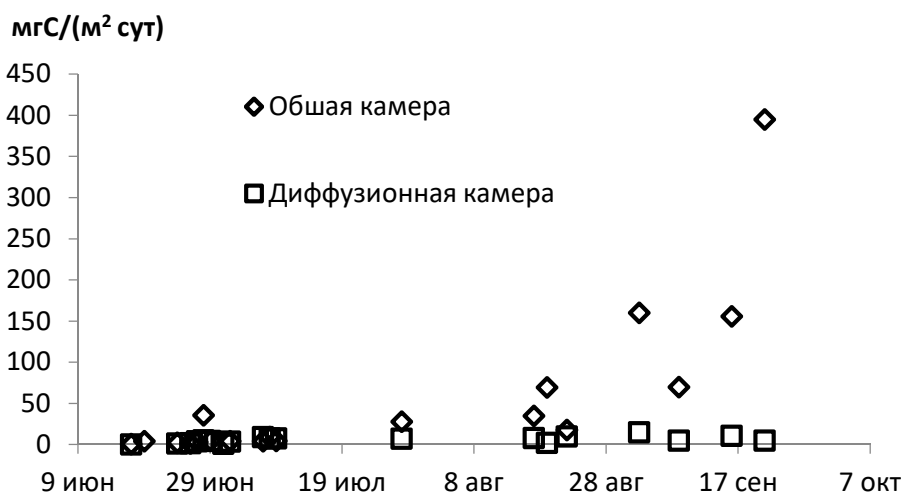


Рис. 2. Результаты измерения диффузионного и суммарного потока метана в 2018 г.

Выводы. Натурные измерения выявили значительные сезонные изменения удельного потока метана с поверхности центральной части Можайского водохранилища, связанные с изменением вертикального распределения устойчивости и растворенного кислорода. Увеличение удельного потока происходит за счет пузырьковой составляющей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-РГО (17-05-41095).

Литература

1. Пуклаков В.В., Даценко Ю.С., Гончаров А.В., Эдельштейн К.К., Гречушникова М.Г., Ершова М.Г., Белова С.Л., Соколов Д.И., Пуклакова Н.Г., Ерина О.Н., Аракельянц А.Д. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). – Москва: Перо, 2015. 284 с.
2. Гречушникова М. Г., Гончаров А. В., Белов А. Ю., Калашникова Е. Г. Изменение гидротермического режима и интенсивность развития весеннего фитопланктона можайского водохранилища // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2002. № 3. С. 22-25.
3. Курдин В.П. О классификации и происхождении грунтов водохранилища // Бюллет. Ин-та биологии внутр. вод., 1960, № 8. С 9-11.
4. Бреховских В.Ф., Вишневская Г.Н., Кременецкая Е.Р., Ломова Д.В. Об оценке потребления кислорода разными типами грунтов долинных водохранилищ в летний период// Метеорология и гидрология., 2006. №10. с.82-91.
5. Bastviken D., Cole J., Pace M., Tranvik L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate // Global Biogeochem. Cycles. 2004. V. 18. GB4009. Doi:10.1029/2004GB002238.
6. Bastviken, D., Santoro A. L., Marotta H., Pinho L. Q., Calheiros D. F., Crill P. & Enrich-Prast A., 2010. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling. Environmental Science & Technology 44: 5450–5455.
7. Большаков А.М., Егоров А.В. Результаты газометрических исследований в Карском море // Океанология. – 1995. – Т. 35. – № 3. – С. 399-404.
8. UNESCO/The International Hydropower Association. GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs; Goldenfurn, J.A., Ed.; London, UK, 2010.
9. Cole J.J., Caraco N.F. Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF₆ // Limnol. Oceanogr. 1998. V. 43. P. 647–656. Doi:10.4319/lo.1998.43.4.0647
10. Гречушникова М.Г., Репина И. А., Степаненко В. М. и др. Эмиссия метана с поверхности долинного водохранилища // География и природные ресурсы. 2019. № 3. С. 77–85.
11. Гречушникова М. Г., Репина И. А., Казанцев В. С. и др. Сезонные изменения удельного потока метана с поверхности Можайского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов, т. II. Качество воды. Геоэкология. 2019. Т. 2. Перм. гос. нац. исслед. ун-т Пермь, 2019. С. 44–50.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ТЕПЛОВАЯ ИНЕРЦИЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.

Н.О. Григоров, канд. физ.-мат. наук, доцент РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

В.С. Никитина, студентка РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

SENSIBILITY AND HEAT INERTIA OF ACTINOMETER DEVICES

N. Grigоров, Cand. Sc., Ass. Professor, RSHU, Saint-Petersburg, Russia

V. Nikitina, student, RSHU, Saint-Petersburg, Russia

В докладе приведены расчёты коэффициента тепловой инерции и чувствительности балансомера согласно выведенным формулам. Показано, что с увеличением скорости ветра чувствительность балансомера и коэффициент тепловой инерции уменьшаются. Рассчитан временной ход зависимости разности температур пластин балансомера, что позволяет определять момент измерения при разных значениях скорости ветра. Показано, что с увеличением толщины балансомера чувствительность практически не изменяется, а его коэффициент инерции возрастает.

In this report lag coefficient and sensibility of balansometer are calculated according to derived formulas. It is shown that sensibility and lag coefficient increase when wind speed increases. The dependence of plates temperature difference versus time is calculated. It allows to know the moment of measurements depending of wind speed. It is shown when thickness of balansometer increases the sensibility doesn't vary but lag coefficient is proportional to thickness.

Одним из главных приборов для измерения солнечной радиации является балансомер [1]. Как и любой прибор, балансомер обладает чувствительностью и тепловой инерцией. Авторам данной работы не известны теоретические исследования инерции балансомера. Для определения чувствительности и инерции балансомера выведем уравнение, связывающее разность температур верхней T_1 и нижней T_2 пластин и время τ .

Предположим, что в начальный момент времени ($\tau=0$) балансомер был закрыт, т.е. $T_1=T_2$; $T_1-T_2=\Delta T=0$. Допустим, что при открытии балансомера приток радиации на верхнюю пластину B_1 больше притока на нижнюю пластину B_2 , т.е. $B_1>B_2$. Тогда уравнение притока тепла Q для верхней пластины запишется в виде:

$$\frac{dQ_1}{d\tau} = -\alpha S(T_1 - \Theta) + B_1 S - \frac{\gamma S}{z}(T_1 - T_2); \quad (1)$$

где α – коэффициент конвективного теплообмена пластины с воздухом; S – площадь пластины; Θ – температура окружающего воздуха; γ – коэффициент теплопроводности вещества, заполняющего пространство между пластинами; z – толщина балансомера, τ – время, B – приток радиации, T_1 и T_2 – температуры пластин.

Написав аналогичное уравнение для нижней пластины и вычитая почленно из первого второе с учётом известного соотношения $dQ = mcdT$, получаем:

$$\frac{mc}{S\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z}\right)} \frac{d(\Delta T)}{d\tau} = -\Delta T + \frac{B}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}}, \quad (2)$$

где B – радиационный баланс.

Данное уравнение является неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка и имеет решение в виде:

$$\Delta T = \frac{B}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z}\right) \cdot S}} \right) \quad (3)$$

Конечное условие при $\tau \rightarrow \infty$:

$$\Delta T_{max} = \frac{B}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \quad (4)$$

Определим коэффициент тепловой инерции балансомера λ как время, в течение которого разность между максимальной разностью температур и её текущим значением уменьшается в e раз. Следовательно, согласно введённому определению, коэффициент тепловой инерции балансомера:

$$\lambda = \frac{mc}{\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z}\right) \cdot S} \quad (5)$$

Уравнение (5) даёт возможность определить чувствительность балансомера, взяв в качестве выходной величины разность температур ΔT , а в качестве входной – радиационный баланс B . Тогда согласно определению чувствительности прибора:

$$S_6 = \frac{d(\Delta T)}{dB} = \frac{1}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \quad (6)$$

Для расчёта коэффициента внутренней теплопроводности балансомера $\frac{\gamma}{z}$ учтём, что балансомер состоит из медных брусков, слоя эпоксидной смолы и слоя бумаги [2]. Все эти слои следуют один за другим. Это значит, что в данном случае должны складываться величины, обратные их теплопроводности (тепловое сопротивление). Таким образом, величина общего коэффициента теплопроводности балансомера должна вычисляться по формуле:

$$\frac{\gamma}{z} = \frac{1}{\frac{z_1}{\gamma_1} + \frac{z_2}{\gamma_2} + \frac{z_3}{\gamma_3}} = 333,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (7)$$

Связав значение ΔT с измеряемым током, получим следующее соотношение:

$$i = \frac{B \cdot e \cdot n}{(R + r)\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z}\right)}, \quad (8)$$

где e – термо ЭДС серебряно-константановой термопары; n – количество термопар; R – сопротивление гальванометра; r – сопротивление термобатарей.

Исходя из этого можно получить другое выражение для чувствительности балансомера:

$$S = \frac{di}{dB} = \frac{e \cdot n}{(R + r)\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z}\right)} \quad (9)$$

При актинометрических наблюдениях учитывается ветровой множитель Φ_v , представляющий собой отношение чувствительности балансомера при штиле к чувствительности его при ветре [3].

Из формулы (9) видно, что от ветра зависит только коэффициент конвективного теплообмена α . Тогда, составляя указанное отношение для Φ_v , имеем:

$$\Phi_v = \frac{\alpha + \frac{2\gamma}{z}}{\alpha_0 + \frac{2\gamma}{z}}, \quad (10)$$

где α_0 – значение коэффициента конвективного теплообмена при штиле ($V=0$ м/с).

В работе [4] дано значение коэффициента конвективного теплообмена пластины термографа с окружающим воздухом:

$$\alpha = 11,28 + 23,38 V^{0.8} \quad (11)$$

Значения Φ_v при разных скоростях ветра возьмем из паспорта прибора [5] и для приведения соответствие результатов расчёта и паспортных данных формула (11) была изменена:

$$\alpha = 11,28 + 13 V^{0.8} \quad (12)$$

Формула (12) даёт возможность рассчитать чувствительность и коэффициент инерции балансомера в зависимости от скорости ветра. Результаты расчётов представлены на графиках (рис.1, рис.2).

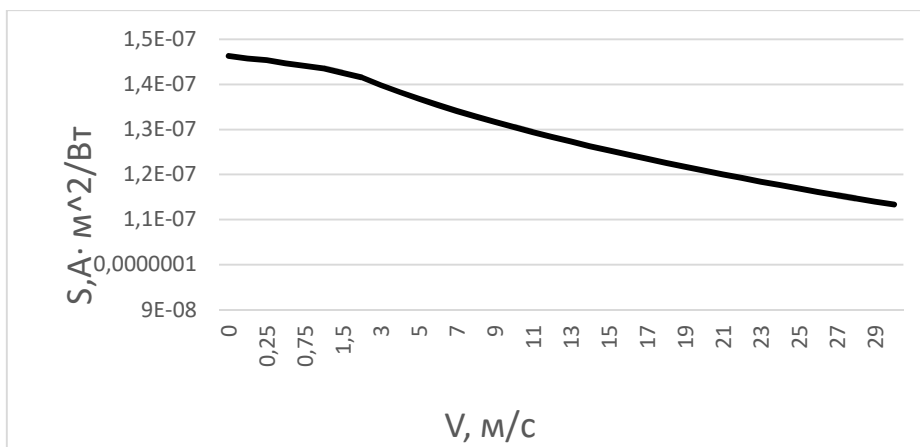


Рис. 1. Зависимость чувствительности балансомера от скорости ветра.

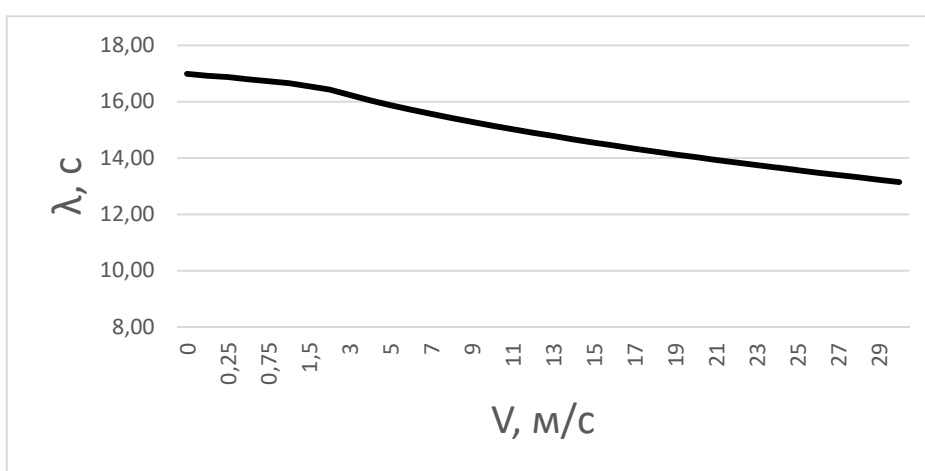
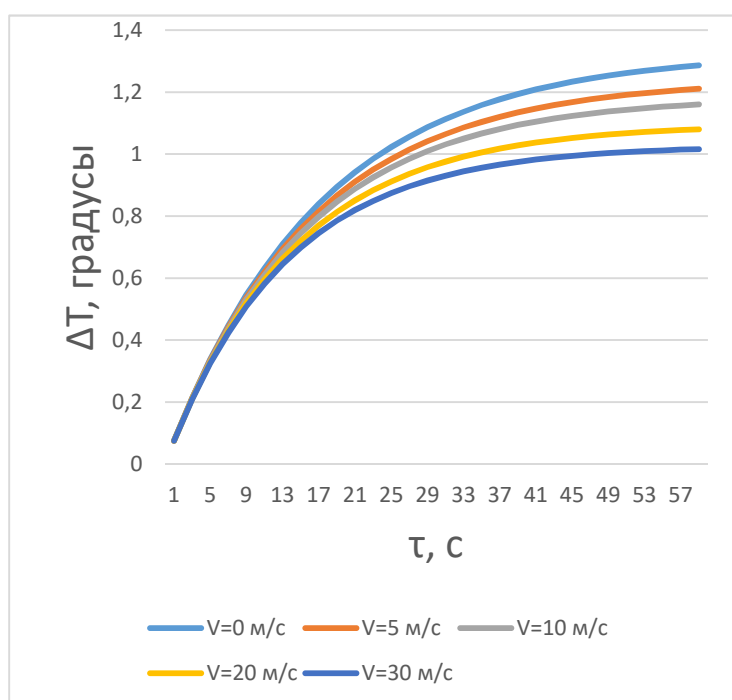


Рис. 2. Зависимость коэффициента инерции балансомера от скорости ветра.



Для расчёта временного хода разности температур при разных скоростях ветра воспользуемся формулой (3). Результаты расчёта представлены на рисунке 3. Также было произведено исследование зависимости чувствительности и коэффициента инерции балансомера от толщины прибора. Результаты показали, что чувствительность практически не зависит от толщины, а коэффициент инерции увеличивается прямо пропорционально толщине балансомера.

Рис. 3. Временной ход разности температур между пластинами балансомера при разных значениях скорости ветра.

Из проведённой работы можно сделать следующие выводы:

1. Выведено уравнение, описывающее зависимость выходного тока балансомера от радиационного баланса и от времени с момента открытия балансомера.

2. Определено понятие коэффициента инерции балансомера.

3. Рассчитаны значения чувствительности балансомера стандартной толщины 3 мм в зависимости от скорости ветра. Замечено, что с увеличением скорости ветра чувствительность балансомера уменьшается.

4. Рассчитаны значения коэффициента инерции балансомера в зависимости от скорости ветра. Замечено, что с увеличением скорости ветра коэффициент инерции уменьшается.

5. Рассчитан временной ход разности температур между пластинами балансомера при разных значениях скорости ветра, причём данные графики позволяют определить минимальное время для начала измерений исходя из допустимой погрешности.

6. Рассчитаны значения чувствительности и коэффициента инерции балансомера при разных гипотетических значениях толщины балансомера.

Литература

1. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. РГГМУ, С-Пб, 2012. – 306 с.
2. Янишевский Ю. Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1957. – 416 с.
3. Восканян К. Л., Саенко А. Г. Актинометрические наблюдения. Пособие для учебной практики. РГГМУ, С-Пб, 2010. – 54 с.
4. Григоров Н.О., Савченко, Г. А. Тепловая инерция чувствительного элемента термометров и исследование его теплообмена с окружающей средой/ Заочный доклад на III Международном молодежном научном форуме «Молодая наука – 2015», посвященного 70-летию Победы в Великой Отечественной войне, Туапсе, март, 2015г.
5. Поверочное свидетельство балансомера М-10м №178802Д/39, 1982 г.

ДИНАМИКА ВОЛН ЖАРЫ И ХОЛОДА В БАССЕЙНЕ Р. АМУР

Е.А. Григорьева

Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения российской академии наук, г. Биробиджан, Россия

DYNAMICS OF HEAT AND COLD WAVES IN THE BASIN OF AMUR RIVER

E.A. Grigorieva

Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Birobidzhan, Russia

Для бассейна р. Амур, расположенного в муссонном климата умеренных широт, выполнена временная оценка волн холода и жары за период с 1999 по 2017 гг.; в качестве порога использовались 2,5% и 97,5% процентиля годового распределения среднесуточных температур.

The dynamics of the cold and heat waves was performed in the Amur River Basin, located in the monsoon climate of temperate latitudes for the period from 1999 to 2017; 2.5% and 97.5% percentiles of the annual distribution of average daily temperatures were used as a threshold.

Введение

За последние годы появилось значительное количество работ, демонстрирующих V- или U-образную взаимосвязь между температурой воздуха и смертностью населения с увеличением риска для здоровья при экстремальных температурах [1-3]. Волны холода или жары определяются как устойчивые периоды с низкими и высокими температурами, соответственно, наблюдающимися в течение нескольких дней подряд, при которых могут возникнуть дополнительные угрозы для организма человека из-за чрезмерного напряжения систем терморегуляции и повышенного спроса на медицинскую помощь [3-8]. В первую очередь опасности подвергаются лица пожилого возраста, а также страдающие кардиореспираторными заболеваниями [1, 2, 5, 9].

В связи с глобальными изменениями климата существует большая обеспокоенность по поводу усиления воздействия температурных волн на здоровье, связанная с возможностью увеличения интенсивности этих явлений, прежде всего волн жары [1, 2, 9-11]. Для бассейна р. Амур на юге Дальнего Востока России, расположенного в зоне муссонного климата умеренных широт, актуальными и малоизученными являются периоды прохождения волн жары и/или холода и резкие скачки ежедневной смертности, вызванные экстремальными температурами. Это особенно актуально в настоящее время, в период климатических изменений. Цель работы – детальная временная оценка экстремальных изменений температуры в среднем течении бассейна р. Амур, происходящих за последние десятилетия.

Материалы и методы

Использовались данные по минимальной и максимальной за сутки температуре воздуха для гидрометеостанции Хабаровск за период с 1999 по 2017 гг. Хабаровск расположен в среднем течении р. Амур в зоне действия муссонного климата умеренных широт, характеризующегося резкими сезонными контрастами: по-сибирски суровой зимой и тропически жарким и влажным летом [3, 12]. В качестве базовых или пороговых величин для волн холода и жары использовались 2,5% и 97,5% процентиля годового распределения средних суточных температур, соответственно. Применение предложенного Гаспаррини с коллегами [2] определения позволит в дальнейшем провести сравнение наших выводов по влиянию волн на здоровье с результатами, полученными зарубежными коллегами. В данном методе среднесуточная температура рассчитывалась как средняя между минимальной и максимальной, регистрируемым на метеоплощадке по специальным термометрам. Основные характеристики волн холода и жары – их длительность и интенсивность. Интенсивность волны определялась по кумулятивной сумме превышения температурой базового значения как за каждую волну отдельно, так и суммарно для всего исследуемого периода.

Результаты

При исследовании динамики температурного режима зимы за изучаемый период выявлены положительные тренды, составившие $0,31^\circ$ и $0,22^\circ\text{C}/10$ лет для минимальных и максимальных температур, соответственно, т.е. минимальная за сутки температура повышалась немного быстрее, чем максимальная. В то же время межгодовые колебания достигали $\pm 6^\circ\text{C}$. Абсолютный минимум для минимальных температур $-40,0^\circ\text{C}$ наблюдался 14 января 2011 г.

Порог 2,5% процентиля для определения волн холода составил $-23,9^\circ\text{C}$. Волны холода регистрировались в основном в декабре и январе; в феврале температурный фон заметно повышался, и экстремальных понижений температуры обнаружено значительно меньше. Больше всего волн отмечалось в период с 10 по 20 января. Выявлено отсутствие волн холода с декабря 2006 по февраль 2009 гг. и с декабря 2014 по февраль 2017 гг. (по три сезона) (рис. 1).



Рис. 1. Динамика волн холода в зимние месяцы, Хабаровск, 1999-2017 гг.

Зима 2010-2011 гг. была самой холодной за весь исследуемый период: выявлена одна волна в январе длительностью 12 дней; максимальное суммарное превышение отрицательных температур над пороговым значением составило $38,9^\circ\text{C}$. На втором месте – зима 2000-2001 гг., когда в течение трех зимних месяцев зафиксировано три волны с общим превышением отрицательных температур $42,5^\circ\text{C}$; из них январе выявлен один эпизод с низкими температурами длительностью 8 дней, превышение над порогом составило $29,6^\circ\text{C}$.

В динамике температур в летние месяцы с 2000 по 2017 гг. зарегистрированы положительные тренды, составившие $0,40^\circ$ и $0,04^\circ\text{C}/10$ лет для минимальных и максимальных температур, соответственно. В отличие от зимы, минимальная за сутки температура повышалась намного быстрее, чем максимальная, внося основной вклад в рост среднесуточных температур, который составил $0,37^\circ\text{C}/10$ лет. Межгодовые колебания до $\pm 4^\circ\text{C}$ значительно ниже, чем для зимнего сезона. Самый жаркий день наблюдался 26 июня 2010 г. с максимальной температурой $+36,4^\circ\text{C}$. Таким образом, амплитуда абсолютных колебаний температур за исследуемый период составила $76,4^\circ\text{C}$, соответствуя условиям ультраконтинентального климата.

Порог 97,5% процентиля для определения волн жары составил $24,6^\circ\text{C}$. Волны жары регистрировались во все летние месяцы практически равномерно. Самое жаркое лето зафиксировано в 2010 г.: отмечено две волны в июне и одна в июле с общим количеством 11 дней; в августе температурный фон был спокойным. Максимальное суммарное превышение порогового значения составило $26,8^\circ\text{C}$, из них на вторую волну в июне длительностью 5 дней пришлось $19,5^\circ\text{C}$. В 2011 г. выявлена одна длинная волна 13 дней в июле с интенсивностью $18,9^\circ\text{C}$. Одна волна в августе длилась 4 дня; суммарное превышение составило $5,0^\circ\text{C}$. Волны жары в летний период отсутствовали с 2001 по 2004, с 2013 по 2014 и в 2016 гг. (рис. 2).

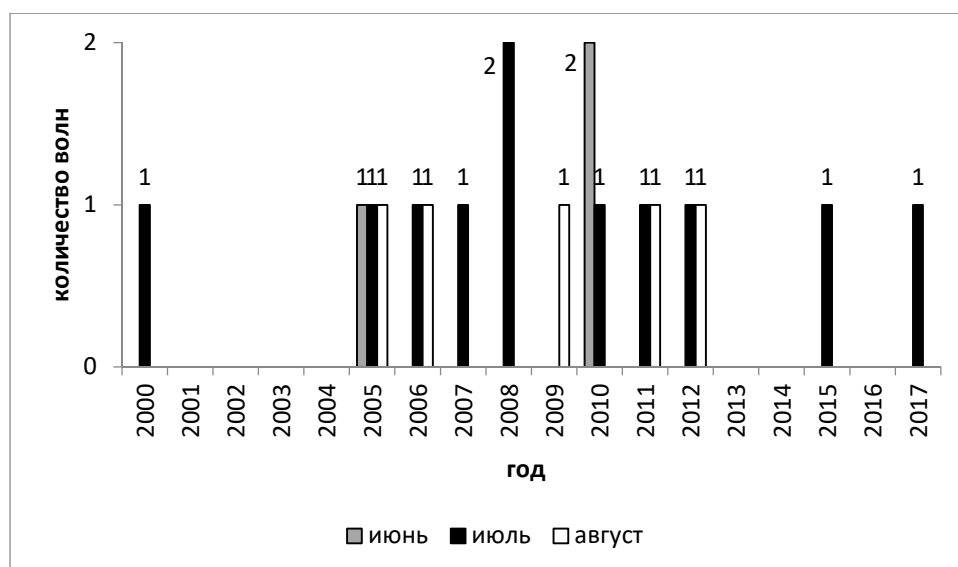


Рис. 2. Динамика волн жары в летние месяцы, Хабаровск, 2000-2017 гг.

Выводы

Таким образом, рассмотрена динамика волн холода и жары в Хабаровске, расположенном в среднем течении р. Амур, за период с декабря 1999 по 2017 гг.; определены самые холодные и самые жаркие сезоны. В дальнейшем предполагается выявление возможных колебаний смертности в г. Хабаровске, обусловленной экстремальными изменениями температурного фона, что особенно актуально для пожилого населения, а также лиц с кардиореспираторной заболеваемостью.

Благодарности. Настоящая публикация подготовлена в рамках поддержанного программой «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» научного проекта № RUS_ST2017-320.

Литература

- Hajat S., O'Connor M., Kosatsky T. Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection // *Lancet*, 2010, vol. 375, pp. 856–863. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61711-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61711-6)
- Gasparrini A., Armstrong B., Kovats S., Wilkinson P. The effect of high temperatures on cause-specific mortality in England and Wales // *Occup. Environ. Med.*, 2012, vol. 69, pp. 56–61.
- Григорьева Е.А. Волны тепла в Хабаровске и здоровье населения // *Изв. СамНЦ РАН*, 2014, т. 16, № 5(2), с. 843–846.
- Robinson P. J. On the Definition of a Heat Wave // *J. Appl. Meteorol.*, 2001, vol. 40, pp. 762–775. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)0400762:OTDOAH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)0400762:OTDOAH>2.0.CO;2)
- Gasparrini A., Guo, Y., Hashizume M., et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study // *Lancet*, 2015, vol. 386, pp. 369–375. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- Григорьева Е.А. Волны тепла на юге Дальнего Востока и здоровье человека // *Информационный бюллетень «Здоровье населения и среда обитания»*, 2017, т. 2(287), с. 11–14.
- Григорьева Е.А. Волны холода: подходы к определению и примеры для Хабаровска // *Региональные проблемы*, 2019, т. 22, № 3, с. 25–38.
- Fenner D., Holtmann A., Krug A., Scherer D. Heat waves in Berlin and Potsdam, Germany – Long-term trends and comparison of heat wave definitions from 1893 to 2017 // *Int. J. Climatol.*, 2019, vol. 39, pp. 2422–2437.
- Stafoggia M., Forastiere F, Agostini D, et al. Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis // *Epidemiology*, 2006, vol. 17, pp. 315–323.
- World Health Organization. Did you know?... By taking action on climate change you can strengthen your national public health system. Geneva: World Health Organization, 2015.
- de Perez E.C., van Aalst M., Bischiniotis K., Mason S., Nissan H., Pappenberger F., Stephens E., Zsoter E., van den Hurk B. Global predictability of temperature extremes // *Environ. Res. Letters*, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab94a>

12. Grigorieva E.A., de Freitas C.R. Temporal dynamics of precipitation in an extreme mid-latitude monsoonal climate // *Theor Appl Climatol.*, 2014, vol. 116(1), pp. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0925-x>

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.С. Михневич¹, Е.П. Новикова¹, В.А. Гриценко²

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

²Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

INTEGRATED ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL THREAT OF MUNICIPAL SOLID WASTE POLYGONS ON THE UNDERGROUND WATERS OF THE KALININGRAD REGION

G.S. Michnevitch¹, E.P. Novikova¹, V.A. Gritsenko²

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Выполнена постановка задачи оценки геоэкологических опасностей природных подсистем Калининградской области на основе данных Геопортала Правительства области, описаний буровых скважин и других материалов. Получены первые оценки потенциальной опасности полигонов ТБО для подземных вод.

Geoecological threat estimation is performed based on Kaliningrad Region Government geoportal information and data from water and exploratory wells. Primary estimates of potential threat on the underground water resources is defined.

Введение

Хорошо известно, что качество пресноводных ресурсов (реки, озера, подземные воды) является одним из необходимых условий устойчивого развития любого региона и его экологического благополучия. Один из водных ресурсов - подземные воды – выбранный в качестве объекта геоэкологического исследования широко используются в Калининградской области для водоснабжения для большей части малых городов и поселков. Причем наиболее интенсивно в регионе для водоснабжения используется первый от поверхности московско-валдайский межморенный водоносный горизонт. Вместе с тем высокий уровень хозяйственного использования небольшой по своей площади территории области повышает потенциальный уровень возможного загрязнения не только грунтовых, но и напорных межпластовых подземных вод [1]. Известно также [2], что трансформация качества подземных вод определяется итогом как собственно различного рода внешних воздействий, так и конкретными особенностями геологической и сопредельных сред.

Задача

Целью данной работы является постановка задачи комплексной оценки геоэкологических опасностей для природных подсистем Калининградской области и оценка на первом этапе исследований потенциальных возможностей отрицательного воздействия полигонов ТБО на качество подземных вод первого от поверхности московско-валдайского межморенного водоносного горизонта. В дальнейшем предполагается выполнить аналогичные оценки и для других типов техногенного воздействия на подземные воды. В частности, планируется учесть воздействие от АЗС, ряда промышленных объектов, транспортной сети, интрузий морских вод и др.

Геологические обстоятельства

Известно [2,3], что геологическая среда во многих случаях препятствует проникновению загрязняющих веществ с поверхности, что и определяет естественную защищенность подземных вод. Под защищенностью подземных вод принято понимать комплексный показатель, представляющий собой характеристику способности верхней части геологической среды к сохранению состояния подземной гидросферы. В первую очередь защищенность определяется «перекрытостью водоносного горизонта отложениями, прежде всего слабопроницаемыми, препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли в подземные воды» [3]. Оценка естественной (природной) защищенности подземных вод московско-валдайского горизонта Калининградской области на основе анализа данных почти 2000 буровых скважин в цикле работ была выполнена Г.С. Михневич [4-6]. Одним из результатов исследований [6] стала карта природной защищенности вод московско-валдайского межморенного водоносного горизонта (рис. 1).

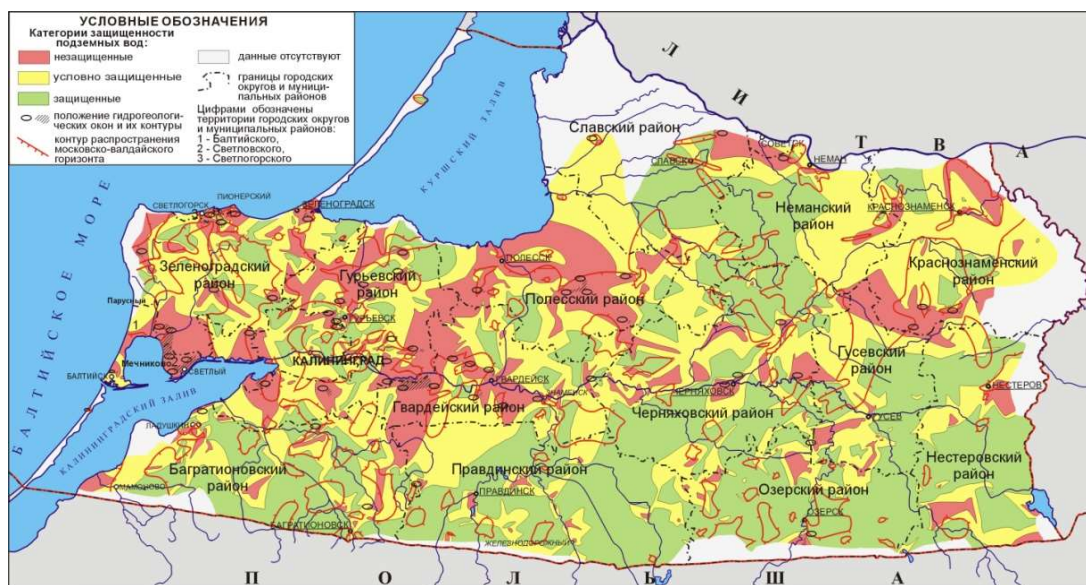


Рис. 1. Карта природной защищенности московско-валдайского (виштынецкого) водоносного горизонта Калининградской области [6]

Совместный учет литологического и гидродинамического факторов позволил Г.С. Михневич выделить следующие категории защищенности московско-валдайского водоносного горизонта: **незащищенные**, с условным временем проникновения загрязняющих веществ с поверхности менее 30 лет; **условно защищенные** с временем проникновения 30-60 лет и **защищенные** – с временем более 60 лет.

Незащищенные подземные воды имеют водоупор небольшой мощности (<10 м) с возможным нарушением сплошности и возможным полным исчезновением водоупора на отдельных участках. Уровни напорных вод располагаются ниже уровня грунтовых вод. **Условно защищенные** воды перекрыты большим по мощности (~10-20 м) водоупором и без нарушения его сплошности. Уровни напорных вод расположены ниже или примерно на одной отметке с уровнями грунтовых вод. **Защищенные** подземные воды имеют значительный по толщине и качеству водоупор (>20 м). Уровни напорных вод выше уровня грунтовых вод.

Минимальные значения приведенной мощности водоупоров (<10 м) присущи областям распространения равнин, сложенных песчанистыми глинами, супесями и легкими суглинками с включением валунов, гальки, гравия, песка разнозернистого. Характерно наличие

гидрогеологических окон. Вместе с малой мощностью верхнего водоупора это создает условия для легкой фильтрации в горизонт и его загрязнению. Такого рода ареалы занимают примерно 1/5 территории Калининградской области, что подчеркивают актуальность поставленной задачи исследований.

Подчеркнем, что уже выполненные исследования показали, что при наличии гидрогеологических окон отмечается значительное аммонийно-нитритное загрязнение [1]. В пределах данной категории защищенности на участках ограниченных изохроной проникновения загрязняющих веществ в 1 год возможно и микробиологическое загрязнение. Загрязнение стойкими и очень стойкими пестицидами вероятно на территориях, ограниченных изохронами 1, 5 и 10 лет [4,6].

Учет внешних воздействий

Другим использованным в работе источником данных стал Региональный портал пространственных данных Правительства Калининградской области [7], один из ГИС-слоев которого с информацией о расположении полигонов ТБО на территории области приведен на рис. 2.

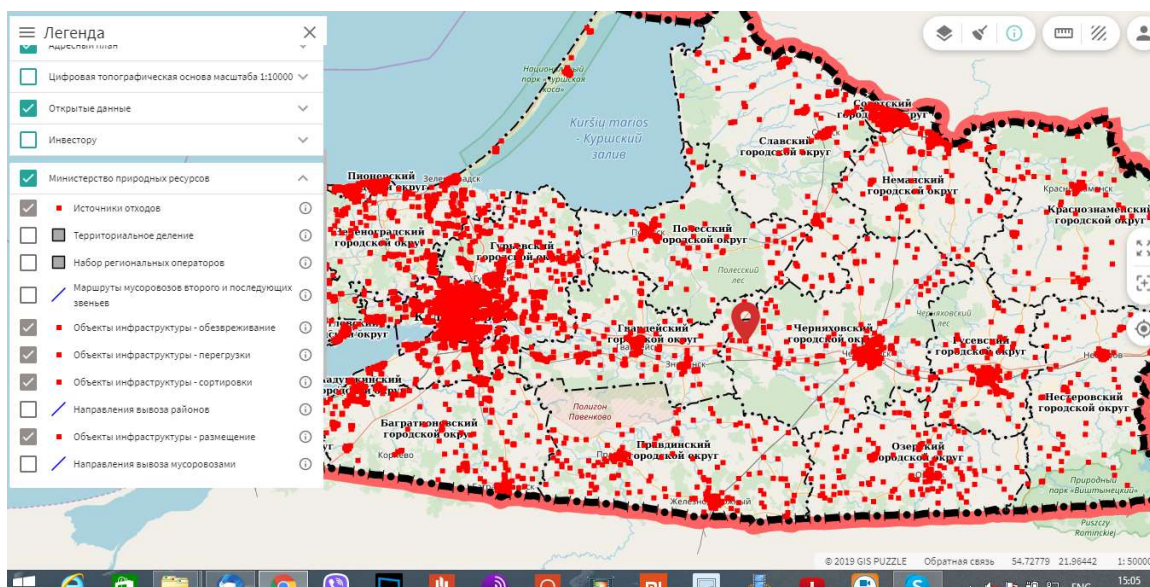


Рис. 2. Расположение полигонов ТБО на территории Калининградской области по данным Геопортала Правительства области [7]

Сочетание уже известных региональных пространственных различий в процессе скорости миграции вод с поверхности в подземные водоносные горизонты [4,5] и внешнего воздействия в виде полигонов ТБО позволяет оценить степень одного из видов геоэкологических опасностей на природную подсистему подземных вод московско-валдайского водоносного горизонта Калининградской области. В самом деле, плотность расположения полигонов ТБО в расположении гидрогеологических окон или слабо защищенных участков территории области вместе с их объемами сразу позволяют получить потенциальную степень воздействия на подземные воды.

Состав и актуальность описательной информации по полигонам ТБО на Геопортале [7] позволяет осуществлять мониторинг их состояния с использованием данных дистанционного зондирования и сопоставления с данными других министерств и ведомств. Так, по всем свалкам ТБО нанесены санитарно-защитные зоны, что дает возможность оперативно сопоставить ситуацию по ТБО с работами по пространственному планированию региона. А сопоставление

данных по ТБО с данными Росреестра позволяет оперативно оценить, какие объекты (в приведенном примере – земельные участки), попадают, полностью или частично в границы санитарно-защитной зоны ТБО.

Методологии оценивания

В качестве методологии построения модельных количественных оценок будет использован структурно-функциональный подход экологического нормирования В.В. Дмитриева [8], позволяющий, с одной стороны, выполнить декомпозицию общей задачи на более частные подзадачи, а с другой, не потерять при этом общности подхода к оценке состояния природной системы. При разработке тематических моделей вертикальной миграции загрязнений предполагается использовать опыт решения близких по смыслу задач, включая этапы составления собственно уравнений [9,10], расчета параметров геологических отложений [11,12], объединения частных решений в общую оценку экологического благополучия территории [13,14] и визуализации получаемых результатов [13].

Подземные воды являются частью региональной экосистемы, возникшей в результате длительного процесса геологической эволюции. Сегодня процесс инфильтрации вод с поверхности земли до уровня водоносных горизонтов является естественной компонентой существования региональной экосистемы. На территории области существует множество источников загрязнения подземных вод. Очевидно, что текущая хозяйственная деятельность не должна подвергать опасности нежелательных изменений природную подсистему подземного водоносного горизонта.

Результаты работы могут быть использованы при планировании рационального использования подземных вод в регионе, для выбора мест размещения водозаборов и прогноза изменения качества подземных вод под антропогенным воздействием.

Итоги

Выполнена постановка задачи комплексного геоэкологического оценивания одной из природных подсистем Калининградской области - первого от поверхности московско-валдайского межморенного водоносного горизонта. Выбрана методология геоэкологического оценивания и структурно-функциональной организации математического моделирования вертикальной миграции загрязнителей. На примере данных по расположению полигонов ТБО показана возможность практической реализации подхода.

Литература

1. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Калининградской области за 2011 г. (Государственный мониторинг состояния недр) // Отв. исполнитель Полякова Л.С. Гусев: ФГУП «Севзапгеология», 2012. Вып. 16. 99 с.
2. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.
3. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 228 с.
4. Михневич Г.С. Оценка защищенности подземных вод среднерусско-валдайского водоносного горизонта Калининградской области / Электронный журнал «Исследовано в России», 162, 1509-1519, 2006.
5. Михневич Г.С., Гриценко В.А. Прогноз изменений качества подземных вод Калининградской области // Естественные и технические науки. М.: «Компания Спутник+». 2008. №4 (36). С. 246-250.
6. Михневич Г.С. Геоэкологическая оценка природной защищенности подземных вод от загрязнения (на примере системы верхнего межморенного водоносного горизонта Калининградской области): дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36. Балт. федер. ун-т им. И. Канта. - Калининград, 2011. 212 с.
7. Региональный портал пространственных данных Калининградской области <https://geoportal.gov39.ru/>

8. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб. 2004. 294 с.
9. Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е. Математические модели количественной оценки экологического риска при использовании подземных вод // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 6. С. 66–82.
10. Хубларян М.Г., Фролов А.П., Юшманов И.О. Интрузии морских вод в прибрежные водоносные горизонты // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 3. С. 288–301.
11. Лехов В.А., Соколов В.Н. Экспериментальное определение коэффициента фильтрации и коэффициента диффузии в слабопроницаемых отложениях // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 3. С. 67–75.
12. Данилов-Данильян В.И. Устойчивое развитие (теоретико-методологический анализ) // Экономика и математические методы. 2003. Т. 39, вып. 2.
13. Алексеев В.В., Куракина Н.И., Желтов Е.В. ГИС комплексной оценки состояния окружающей природной среды // ArcReview. 2007. № 1 (40). С. 16-17.
14. Зосин А.П., Приймак Т.И., Маслобоев В.А., Сулименко Л.П., Мингалева Т.А. Комплексная оценка влияния полигона ТПБО на экологическую обстановку района в условиях крайнего севера // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 6. С. 499–511.

Благодарности. Авторы благодарны ГИС-направлению группы компаний CSoft, CSoft group GIS CEO за помощь в работе с геоданными.

Acknowledgments. The authors are grateful to the GIS-direction of the CSoft group of companies, CSoft group GIS CEO for their help in working with geodata.

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В РЕГИОНАЛЬНОМ УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ ВСЕМИРНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

Давлатов Э.Ж., Азизова Г.У.

Ташкентский Профессиональный Гидрометеорологический Колледж, Региональный учебный центр Всемирной метеорологической организации (РУЦ ВМО), Ташкент, Республика Узбекистан

HYDROMETEOROLOGICAL EDUCATION AND TRAINING AT THE REGIONAL EDUCATIONAL CENTER OF THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Davlatov Endir, Asisova Gulnara

Tashkent Professional Hydrometeorological College, Regional Training Center of the World Meteorological Organization (WMO RTC), Tashkent, Republic of Uzbekistan

В статье приведен опыт организации обучения и подготовки кадров для национальных гидрометеорологических служб региональной ассоциации II (Азия) в Ташкентском гидрометеорологическом профессиональном колледже, который имеет статус Регионального учебного центра Всемирной метеорологической организации (РУЦ ВМО) в Республике Узбекистан.

The article presents the experience of organizing education and training for the hydrometeorological services of the regional associations II (Asia) at the Tashkent Hydrometeorological Professional College, which has the status of the Regional Training Center of the World Meteorological Organization (WMO RTC) in the Republic of Uzbekistan.

Ташкентский гидрометеорологический профессиональный колледж (ТГМПК) был основан в 1948 году. С 1948 года по 2004 колледж именовался как Ташкентский гидрометеорологический техникум. Колледж является единственным в Центральной Азии учебным заведением, который обеспечивает обучение в области «метеорологии», «гидрологии», «связи и телекоммуникации в гидрометеорологии и технической эксплуатации наземных средств радио-инженерного обеспечения полетов».

Ташкентский гидрометеорологический профессиональный колледж входит в организационную структуру Узгидромета как подведомственная организация на основании Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № 183 от 14.04.2004 года «О совершенствовании гидрометеорологической службы Республики Узбекистан».

По Постановлению Президента Республики Узбекистан ID – 3336 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Центра гидрометеорологической службы при Кабинете Министров Республики Узбекистан» Ташкентский гидрометеорологический профессиональный колледж является Региональным Учебным Центром Всемирной метеорологической организации, и определен базовым учебным заведением по подготовке, переподготовке и повышению квалификации специалистов среднего звена в области гидрометеорологии, ответственным за разработку учебных программ по профессиональному образованию в области метеорологии, гидрологии, связи и телекоммуникации в гидрометеорологии.

Узгидромет координирует работу колледжа по методической части, и за счет грантов, международных проектов содействует улучшению учебной материально-технической базы колледжа.

Колледж рассчитан на 920 ученических мест, имеется общежитие на 100 мест, 2 учебных корпуса, спортивный зал, актовый зал. Имеются 2 компьютерных класса, лингафонный кабинет, информационно-ресурсный центр. В настоящее время в колледже обучается 164 студента.

В колледже функционируют 2 кафедры на которых работают 13 преподавателей, из них – 1 кандидат наук, 2 ведущих преподавателя 10 старших преподавателя которые по плану прошли курсы повышения квалификации и участвовали в международных семинарах в России, Финляндии, Малайзии, Индонезии. Преподаватели колледжа регулярно совершенствуют свои профессиональные навыки при прохождении обучения в Узгидромете, НИГМИ, ВУЗах, таких

как, например, Национальный университет Узбекистана, который заключил официальное соглашение о сотрудничестве с Узгидрометом.

Так как ТГМПК является РУЦ ВМО, в нем обучаются граждане других государств, таких как Россия, Казахстан, Таджикистан, Южная Корея. Выпускники колледжа имеют возможность продолжить свое обучение в ВУЗах и РУЦ ВМО других стран.

В рамках проекта «Модернизация гидрометеорологического обслуживания в Центральной Азии» Всемирного банка, улучшается система обучения, переобучения и повышения квалификации специалистов. В настоящее время в колледже установлено современное гидрометеорологическое учебное оборудование: учебная автоматическая цифровая метеорологическая станция, гидрологические стенды для обучения и повышения квалификации. Также в рамках данного проекта успешно реализуется система дистанционного обучения, позволяющая применять методы дистанционного обучения в 4 национальных гидрометеорологических службах Центральной Азии и России наряду с традиционными методами обучения.

На базе Узгидромета ежегодно на основании совместно утвержденных Узгидрометом и ТГМПК программ обучения проводится производственная и преддипломная практика. Изъявившие работать в Узгидромете выпускники трудоустраиваются. В 2019 году 16 выпускников колледжа были трудоустроены. Более 20 выпускников колледжа поступили в университеты Узбекистана, России, Латвии, Польши.

Большое внимание уделялось социальной поддержке и премированию сотрудников. Так в 2019 году 17 сотрудникам колледжа была оказана единовременная материальная помощь, 29 наиболее отличившихся сотрудников были премированы.

В апреле 2011 года исполнительный совет ВМО в лице уполномоченной группы экспертов признал соответствие Ташкентского гидрометеорологического профессионального колледжа статусу РУЦ ВМО до 2018 года «Резолюция 5.2/2 XVII – Конгресса Всемирной метеорологической организации «Признание и подтверждение Региональный Учебных Центров».

Очередная внешняя инспекция была проведена в 2019 году экспертами ВМО на предмет соответствия критериям по подтверждению статуса РУЦ ВМО на очередной 8-летний период. На основании совместно проведенной работы разработан стратегический план развития колледжа с целью занять позицию одной из ведущих организацией профессионального и технического образования в области гидрометеорологии в региональной ассоциации (Азия).

Важнейшими направлениями дальнейшего совершенствования деятельности РУЦ ВМО являются:

1. Развитие учебно-методической базы с учетом современных требований ВМО, внедрение инновационных педагогических технологий;
2. Укрепление материально-технической и учебно-лабораторной базы, оснащение современными приборами и оборудованием;
3. Внедрение в учебный процесс средств современных информационно-коммуникационных технологий, расширение доступа преподавателей и учащихся к мировым образовательным ресурсам, электронным каталогам, передовой учебной литературе и базам данных;
4. Неуклонное повышение профессионального мастерства и квалификации педагогических кадров, организация стажировок за рубежом и широкое привлечение в учебный процесс высококвалифицированных зарубежных специалистов.

Таким образом, в своей деятельности колледж основывается на развитии современной модели образования с учетом требований ВМО.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КОТЛОВИНЫ НА СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДОВ УРОВНЕЙ ОЗЁР

Е.В. Давыденко

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

INFLUENCE OF BASIN SHAPE ON STATISTICAL CHARACTERISTICS OF LAKE LEVEL SERIES

E.V. Davydenko

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

В статье приведены результаты обобщения статистических характеристик рядов уровней для групп озёр одинаковых по происхождению постах за период 1939-2017 гг.

The article presents the results of generalization of statistical characteristics of level series for groups of lakes of the same origin for the period 1939-2017 are presented.

При производстве инженерно-гидрометеорологических изысканий нередко возникает необходимость определения максимальных значений уровней воды неизученных озёр различной обеспеченности.

Данный расчет основывается на статистических характеристиках. Поэтому исследование этих характеристик, установление физических причин, обуславливающих закономерности их изменений, является актуальной задачей. К числу таких характеристик следует отнести основные параметры, определяющие кривую распределения: среднее квадратическое отклонение, асимметрию, среднее значение. Одновременно следует установить степень стационарности и случайности рассматриваемых совокупностей, оценить их амплитуды, определить тенденцию изменения уровней и др.

В нормативных документах [1] для ориентировочных расчетов наивысших уровней воды проточных озёр в зоне избыточного увлажнения при отсутствии данных наблюдений приводится зависимость:

$$\bar{\Delta}H = \beta(A/\Omega)^{0.5}, \quad (1)$$

где $\bar{\Delta}H$ - средний многолетний весенне-летний подъем уровня воды в озере над порогом стока, см;

A - площадь водосбора озера, км²;

Ω - площадь зеркала озера, км²;

β - коэффициент, определяемый по данным наблюдений на соседних озерах с близкими соотношениями морфометрических характеристик и режимом стока из водоема. Для Кольского полуострова и Карелии значение β принимают равным 20, для озёр северных и центральных областей европейской территории России $\beta=32$.

При этом переход от среднего многолетнего подъема уровня к подъему расчетной вероятности превышения производят по кривым обеспеченности. Но методики определения коэффициента асимметрии (C_s) и среднего квадратического отклонения (σ) не приводится, а рекомендуется принимать их по данным наблюдений на соседних, изученных и морфологически однотипных озерах, что не всегда является возможным.

В данной работе был проведен обобщающий анализ рядов уровней воды в озёрах одинаковых по происхождению.

В качестве объекта исследования были выбраны озёра, расположенные на территориях Карелии, Ленинградской, Новгородской и Псковской областей. Для анализа многолетних колебаний уровня исследуемых озёр использовались ряды среднегодовых, максимальных и минимальных годовых уровней воды за период с 1939 г. по 2017 г., также рассматривались ряды годовых амплитуд уровня воды и морфометрические характеристики озёр и их водосборов.

В работах А.М. Догановского [2], предполагается, что котловины одного и того же происхождения, примерно одинакового времени эволюции должны иметь близкие относительные размеры. Например, котловины тектонического происхождения более глубокие, чем котловины ледникового происхождения и т. п. при одинаковых площадях водного зеркала (Ω). Анализ полученных материалов позволил на территории Северо-Запада РФ установить четыре района, для каждого из которых свойственны достаточно тесные зависимости $V=f(\Omega)$ (где V – объем озера). Выделенные районы (рис.1) в основном соответствуют областям распространения котловин одинакового происхождения.

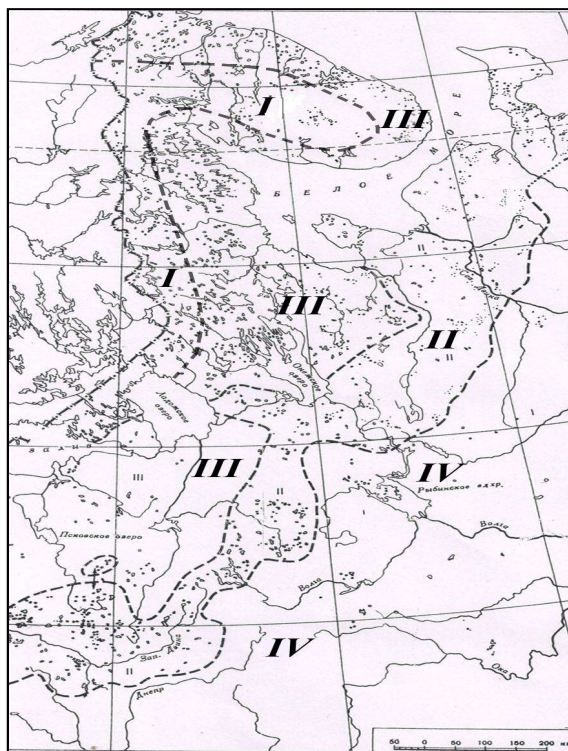


Рис. 1. Схема районов, выделенных А.М. Догановским

В ходе работы были построены и проанализированы хронологические графики характерных уровней воды и их амплитуды (рис. 2), а также интегральные кривые (рис. 3) для выявления дат нарушения условий формирования уровенного режима в результате природного или антропогенного влияния на водоёмы. На рисунках 2 и 3 приведены примеры графиков, построенных для озера Лексозеро.

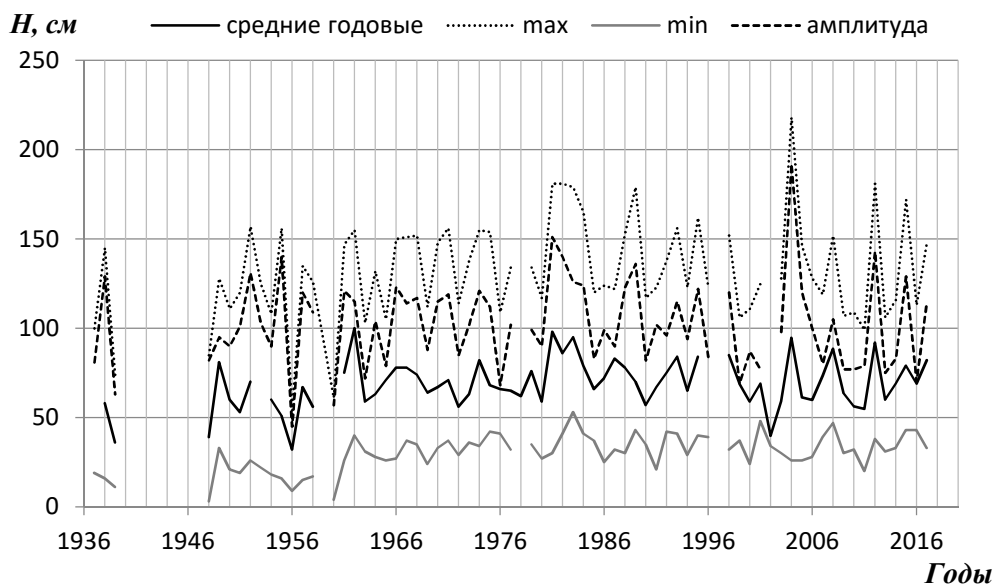


Рис. 2. Хронологические графики хода характерных уровней воды оз. Лексозеро – с. Реболы

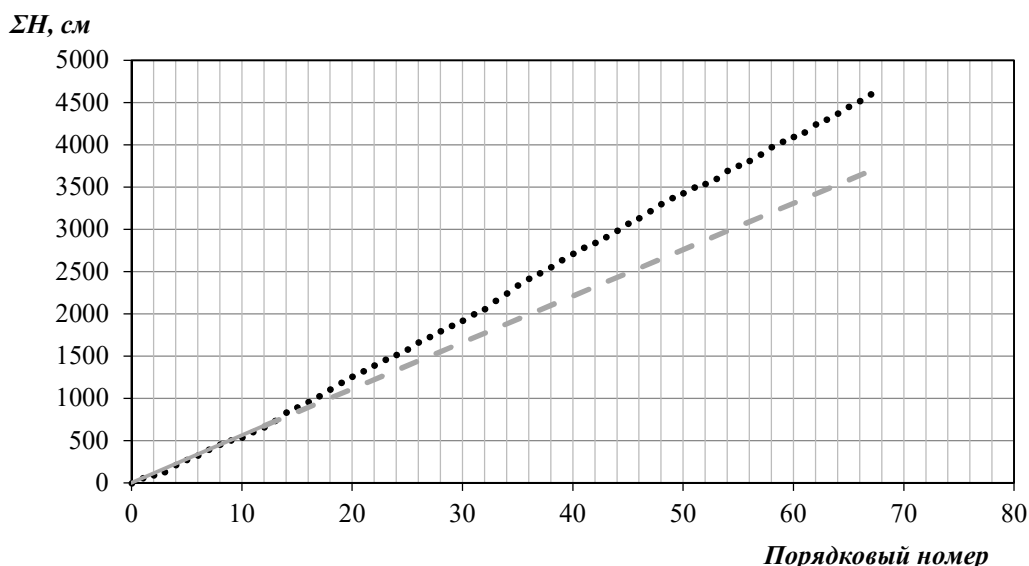


Рис. 3. Интегральная кривая средних уровней воды оз. Лексозеро

Все ряды были проверены на однородность, стационарность [3]. В результате чего было выявлено, что на некоторых озёрах теория об однородности по критерию Стьюдента или критерию Фишера опровергается, что свидетельствует о неоднородности рядов. Причиной этому служит отсутствие увязки высотных отметок водомерных постов и уровней воды на некоторых постах, а также климатическое и антропогенное влияние на водные объекты. На хронологических графиках это проявляется, как правило, наличием резких скачков и трендов.

После построения графиков и анализа результатов проверки на однородность были выделены периоды без нарушения условий формирования уровня режима, которые в дальнейшем и использовались в работе.

Для каждого из полученных рядов средних годовых, максимальных и минимальных уровней воды и их амплитуд рассчитывались статистические параметры C_s и σ .

Результаты расчетов показали, что для озер ледниково-тектонического происхождения, относящихся преимущественно к I району, $\sigma = 29$. Для озёр ледникового происхождения, которые относятся к III району, среднее квадратическое отклонение варьируется в пределах от 10 до 42. Причем, для групп озёр, у которых соотношение $\Omega / F_{водсб} > 20$, $\sigma = 42$; при $6 < \Omega / F_{водсб} < 20$, $\sigma = 17$; при $\Omega / F_{водсб} < 6$ $\sigma = 10$.

Ряды амплитуд уровней воды в озерах были нормированы после чего из них были составлены два ряда: для озёр ледниково-тектонического и для озёр ледникового происхождения. По полученным двум рядам были построены эмпирические кривые распределения и определены их коэффициенты асимметрии. Полученные результаты показали, что для озёр ледниково-тектонического происхождения $C_s = 0,40$; для ледникового при соотношении $\Omega / F_{водсб} > 20$ коэффициент $C_s = 0,60$; для ледникового при соотношении $6 < \Omega / F_{водсб} < 20$ коэффициент $C_s = 0,30$; для ледникового при соотношении $\Omega / F_{водсб} < 6$ коэффициент $C_s = 0,50$.

Полученные результаты показали, что статистические характеристики рядов уровней воды можно обобщать для морфологически однотипных озёр и в дальнейшем использовать их для построения кривых обеспеченности Пирсона III типа для групп озёр одинакового происхождения.

Литература

1. Свод правил по проектированию и строительству СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»
2. Догановский, А.М. Гидрология суши (общий курс) [текст]/А.М.Догановский. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – 524 с.
3. Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст]/А.В.Сикан. – СПб: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.

К ПРОБЛЕМЕ УВЕЛИЧЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ В ВОДЕ РЕК ЯНАО

Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С, Кондакова М.Ю.

ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону, Россия

TO THE PROBLEM OF THE MINERALIZATION AND SULFATE CONCENTRATIONS INCREASING IN THE WATER OF YAMAL RIVERS

Danilenko A.O., Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu.

FSBI «Hydrochemical Institute», Rostov-on-Don, Russia

Представлены результаты анализа многолетних данных о концентрациях сульфатов и минерализации воды участков крупных рек на территории ЯНАО за последние 30 лет наблюдений. Установлена выраженная многолетняя динамика увеличения этих показателей. Проблема приобретает региональный характер.

The results of the analysis data on sulphate concentrations and mineralization in large rivers located on the territory of Yamal-Nenets Autonomous district over the last 30 years of observations are presented. The expressed long-term dynamics of increase of these indicators is established. This problem is becoming regional.

Введение

Поверхностные воды Ямало-Ненецкого автономного округа стабильно характеризуются высоким уровнем загрязненности – 4 класс («грязная» вода). К критическим загрязняющим веществам, ухудшающим класс качества воды за счет существенного превышения нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК), здесь относят нефтепродукты, соединения железа, марганца, цинка [1]. В связи с таким подходом в фокусе экологических проблем оказываются вещества, концентрации которых могут быть сравнительно высокими в результате особенностей природного геохимического фона. В то же время ПДК главных ионов в разы превышают их природные уровни в маломинерализованных водах арктических участков западносибирских рек. Игнорирование естественных особенностей содержания главных ионов в замыкающих створах рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) привело к появлению хорошо заметных трендов концентраций сульфатов, в результате чего их содержание в речной воде значительно выросло в сравнении с периодом до 2000 года [2, 3].

Сульфаты считаются одними из самых распространенных ионов природных вод. На их солевой оборот в речных водах влияет множество природных и антропогенных факторов. Это и вымывание их из осадочных пород, выбросы соединений серы при вулканических извержениях, процессы отмирания и окисления веществ растительного и животного происхождения, привнос с дождевыми водами и мелкими распыленными брызгами морской воды. Из антропогенных факторов следует назвать промышленное сырье (сера, пирит), сульфидные составляющие металлических руд меди, свинца и цинка, которые при выплавке и очистке дают воздушные выбросы сернистого газа, уголь, нефть и газ, содержащие серу и нуждающиеся в сероочистке. Аэробные условия атмосферы, поверхностных вод и грунтовых вод активного водообмена стимулируют протекание окислительных превращений всех восстановленных форм серы до образования иона SO_4^{2-} [4]. В то же время выведение сульфат-ионов из солевого оборота поверхностных вод сравнительно невелико и обеспечивается химическими и биологическими механизмами [4], которые в холодных арктических пространствах замедлены.

Также в части водных объектов обнаруживаются возрастающие тренды минерализации, коррелирующие с наблюдаемой динамикой сульфат-ионов, что может свидетельствовать о риске техногенной метаморфизации местных ультрапресных поверхностных вод гидрокарбонатного класса группы кальция в сторону смешанного сульфатно-гидрокарбонатного или гидрокарбонатно-сульфатного класса [5].

Материалы и методы

Для исследования многолетней динамики содержания сульфатов и минерализации воды использованы данные режимных гидрохимических наблюдений, полученные Государственной наблюдательной сетью Росгидромета в период с 1970-1985 по 2017 годы. Данные обобщены для участков западносибирских рек, расположенных в пределах преимущественно тундровых и лесотундровых, реже северотаежных, ландшафтов ЯНАО. Для количественной оценки временной изменчивости гидрохимических показателей за выбранный период проведен регрессионный анализ. Чтобы уменьшить влияние несовпадений частоты отбора проб в разные годы и на разных реках, временные интервалы были укрупнены расчетом среднего арифметического значения концентраций растворенных химических веществ за год, а затем эти среднегодовые значения были использованы при построении двух видов функций. Здесь уравнения линейных трендов обсуждаются только при сравнении скоростей прироста среднегодовых значений концентраций в разных участках рек. Использование полученных уравнений для дальнейших прогнозов нецелесообразно, так как линейные регрессии информативны в тех случаях, когда направленность и темпы изменений остаются относительно неизменными на протяжении всего исследуемого периода. Однако выявленная динамика имеет значительно более сложный характер, для иллюстрации которого были проанализированы полиномиальные тренды более высоких порядков (как правило, 5-6 порядок).

Результаты и обсуждение

Регрессионный анализ среднегодовых концентраций сульфатов подтвердил формирование их многолетних трендов. Эта динамика в настоящее время обнаруживается во всех арктических участках рек бассейна Оби и Надым-Тазовского междуречья. Кроме того, выявленные изменения сопоставимы по силе (рис. 1, табл. 1), что свидетельствует о региональном характере явления. Примечательно, что не только линейная регрессия показывает сопоставимость происходящих изменений, но и полиномиальные тренды имеют сходную траекторию. Для всех водных объектов на линии тренда можно выявить участок «плато» (в большинстве случаев до середины 1990-х годов) с небольшой дисперсией среднегодовых значений, после которого начинается возрастающая ветвь графика. Следует обратить внимание, что большая часть этой ветви приходится на современный период с 2000 года, а также на заметное повышение рассеяния точек вокруг линии тренда.

В целом скорость прироста для всех включенных в исследование водных объектов за период с 1985 по 2017 гг. составила от 5,6 до 10,3 мг/дм³, однако очевидно, что эта скорость существенно увеличивается при переходе от «плато» к возрастающей ветви.

Таблица 1. Параметры уравнений линейных трендов среднегодовых концентраций сульфат-ионов, а также скорость увеличения этих концентраций и минерализации в арктических речных участках Западной Сибири

№ п/п	Река	Пункт	Уравнение линейного тренда среднегодовых концентраций сульфат-ионов с 1985 по 2017 гг.	Скорость прироста среднегодовых концентраций, мг/дм ³ в 10 лет:	
				SO ₄ ²⁻	Min*
1	Ныда	п. Ныда	$y = 0.60x - 1195.9$ при $r = 0.73$	6,0	20,0
2	Обь	г. Салехард	$y = 1.03x - 2047.2$ при $r = 0.69$	10,3	—
3	Таз	пгт. Тазовский	$y = 0.64x - 1267.5$ при $r = 0.68$	6,4	—
4	Седэ-Яха	г. Новый Уренгой	$y = 0.70x - 1393.1$ при $r = 0.71$	7,0	14,1
5	Пур	п. Самбург	$y = 0.56x - 1109.9$ при $r = 0.58$	5,6	24,4
6	Надым	г. Надым	$y = 0.60x - 1197.3$ при $r = 0.62$	6,0	25,2

Вслед за изменением содержания сульфатов в речных водах на территории Арктики Западной Сибири увеличивается и показатель их минерализации, что является неблагоприятным признаком. Речные воды на этой территории относят к «гидрокарбонатным класса кальция», и именно гидрокарбонаты должны определять многолетнюю динамику минерализации. Однако как показали сопутствующие исследования [3, 5], именно гидрокарбонаты в перечне главных ионов в наименьшей степени затронуты многолетними изменениями и практически не демонстрируют многолетних трендов.

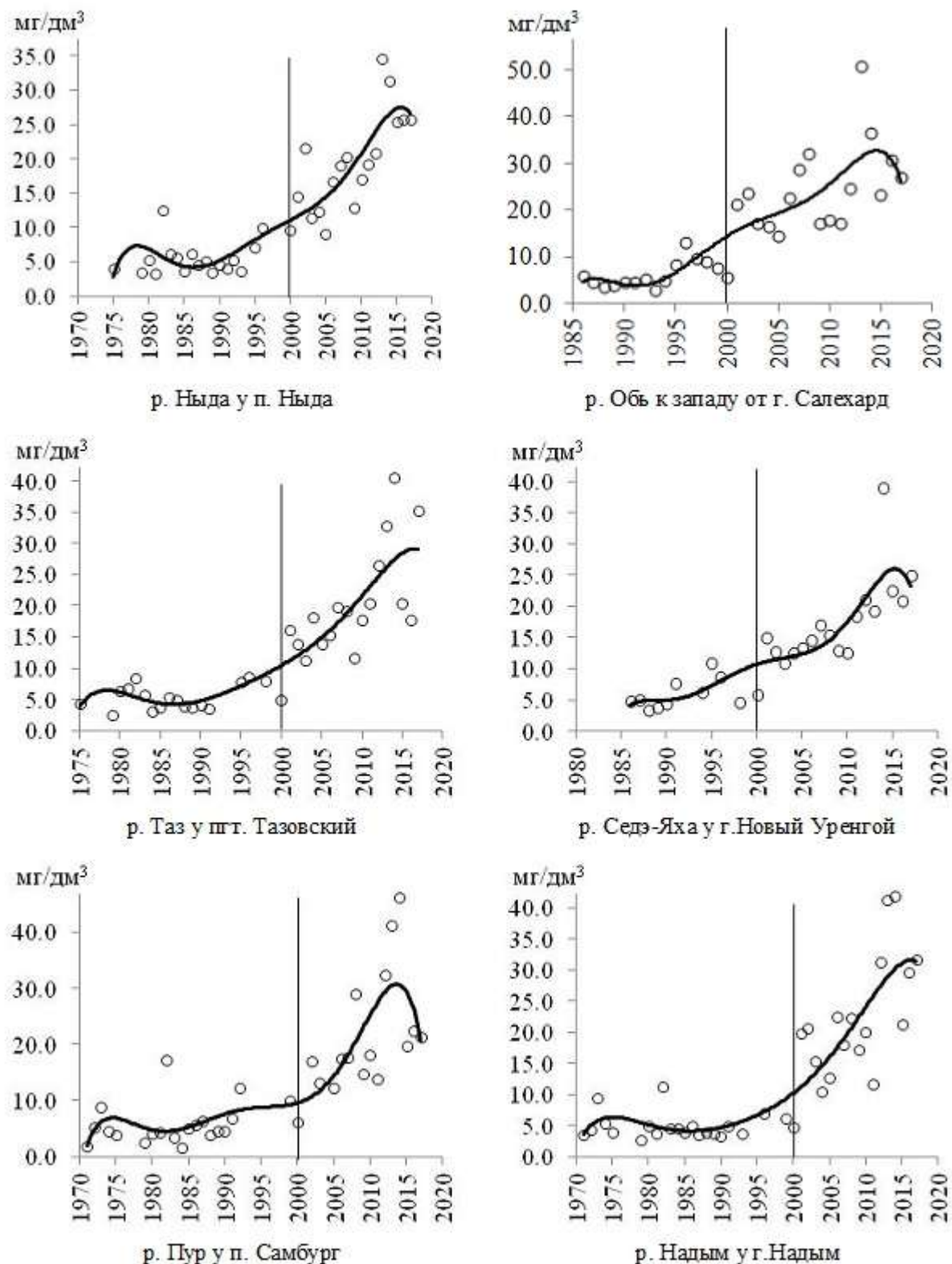


Рис. 1. Многолетние тренды среднегодовых концентраций сульфат-ионов в речных участках на территории ЯНО

Наблюдаемые процессы свидетельствуют, что для участков рек арктических пространств Западной Сибири формируются предпосылки для их техногенной метаморфизации. На примере пилотного объекта (р. Надым у г. Надым) проведена классификация воды по О.А. Алекину с

использованием среднемноголетних месячных концентраций в двух периодах, имеющих наиболее глубокую разницу между собой по соотношению главных ионов: с 1979 по 2001 г. и с 2002 по 2017 годы. Оценка химического состава воды р. Надым с учетом сезонности показала предпосылки к смене класса с характерной для данной природной зоны гидрокарбонатной группы кальция на смешанный сульфатно-гидрокарбонатный или гидрокарбонатно-сульфатный, а доминирующего катиона – на натрий.

Выводы

Вероятные причины наблюдаемого явления условно разделяются на антропогенные и природные. К первой группе можно отнести: (а) сброс неочищенных сточных вод, включая выпуски на рельеф; (б) расконсервацию захоронений минерализованных пластовых и нефтепромысловых вод, а также амбаров бурового шлама; (в) атмосферный перенос загрязняющих веществ с их последующим выпадением в составе осадков на водосбор и вынос в поверхностные водоемы и водотоки. Среди природных механизмов влияния на ионный состав следует отметить: (а) увеличение химического выветривания подстилающих пород и обмена минеральных солей с грунтовыми водами; (б) формирование сквозных таликов, дренирующих бессточные водоемы (в том числе и рассолы техногенного происхождения), которые прежде были изолированы от грунтовых вод слоем многолетней мерзлоты [6]; (в) увеличение роли живого вещества в трансформации природных вод, которое связано как с усилением и пролонгацией периода биологической активности, так и с возрастанием содержания в природных водах органического вещества, ранее законсервированного в толще многолетней мерзлоты и другое. Условность этого деления связана с тем, что невозможно исключить взаимовлияние природных и антропогенных факторов, в том числе и триггерный эффект глобального потепления на увеличение минерализации деятельного слоя за счет деградации естественной вечномерзлотной гидроизоляции шламовых амбаров, где захораниваются высокоминерализованные отходы бурения. Полученные результаты также подтверждают высказанные ранее предположения, что деградация вечной мерзлоты в Западной Сибири может повысить ионный сток в Карское море, что может негативно отразиться на его биопродуктивности [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.

Литература

1. Лобченко Е.Е., Ничипорова И.П., Комарова Е.В., Семка В.А. Оценка состояния, тенденции и динамики изменения загрязненности поверхностных вод на территории Арктической зоны Российской Федерации в 2018 г. – Ростов-на-Дону, 20189. – с. 410-423.
2. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Даниленко А.О. Реки материковой части Российской Арктики. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016 - 276с.
3. Решетняк О.С., Даниленко А.О., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Тенденции изменчивости химического состава речных вод Западно-Сибирской части Арктической зоны России // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки» – 2019.- №3 –С. 70-794.
4. Гнусин Н.П. Прогноз увеличения стока сульфатных ионов рек территории Советского Союза до 2000 г. : сб. науч. тр. ГХИ «Гидрохимические материалы. Методы химического анализа и процессы самоочищения природных вод». Т. LIII. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. С. 126.
5. Даниленко А.О., Косменко Л.С., Сонова Г.С., Решетняк О.С., Кондакова М.Ю. Основные тенденции изменчивости компонентного состава водной среды речных экосистем материковой части Российской Арктики за многолетний период: Ежегодник качества поверхностных вод Российской Федерации. – Ростов-на-Дону, 2019. – с. 394-404.
6. Woo M.-K. Permafrost Hydrology. – Berlin: Springer, 2012. - 563 p.
7. Frey K.E., Siegel D.I., Smith L.C. Geochemistry of west Siberian streams and their potential response to permafrost degradation // Water Resources Research. – 2007. – Vol..43, W03406, doi:10.1029/2006WR004902.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА СОСТОЯНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

А.В. Даньшина¹

¹ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

ESTIMATE OF THE EFFECT OF ICE COVER ON THE STATE OF HYDROPHYSICAL PARAMETERS OF THE ARCTIC REGION WATERS IN MODERN CLIMATE CONDITIONS BASED ON MODELING CALCULATIONS

A.V. Danshina¹

¹FSBI «Arctic and Antarctic Research Institute»

Это исследование построено на реконструированных термохалинных и ледовых полях, полученных на региональной конфигурации модели NEMO, адаптированной к условиям Арктики. Связь изменений ледяного покрова с гидрофизическими параметрами продемонстрирована на примере контрастных по ледовому режиму годов.

This study is based on the reconstructed termohaline and sea ice fields obtained on the basis of regional configuration of NEMO model adapted for the Arctic conditions. The relationship between sea ice cover changes and hydrophysical parameters was demonstrated by the example of contrast in opposite cold and warm ice condition years.

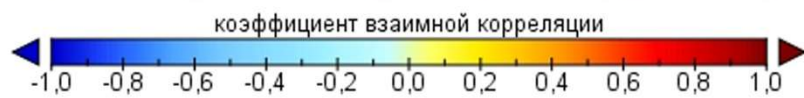
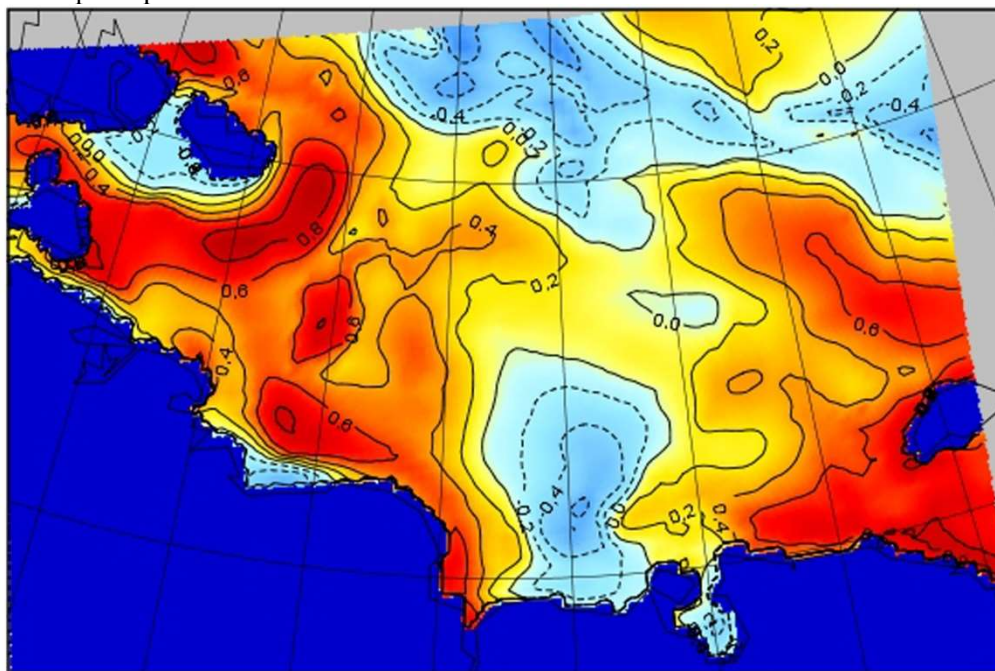
Цель этого исследования состояла в поиске взаимосвязей между изменениями, происходящими в состоянии ледяного покрова и изменениями, протекающими в гидрофизическом режиме вод Арктического бассейна в условиях современного потепления климата [1-3] на материале, полученном с помощью численного моделирования. Реконструкция ледовых и термохалинных полей осуществлялась на базе адаптированной к условиям Арктики региональной конфигурации модели NEMO (The Nucleus for European Modelling of the Ocean) с двумя открытыми границами [4].

На этих открытых участках расчетной области задавались граничные условия в основном путем интерполяции данных океанского реанализа MERCATOR (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>) в узлы границ расчетной сетки. Учет приливов осуществлялся заданием 13 приливных гармоник, рассчитанных по инверсионной приливной модели TPXO7.2 [5]. При проведении численных экспериментов использовалась криволинейная ортогональная сетка с максимальной детализацией 3 км в окраинных морях Российского сектора Северного Ледовитого океана. Потоки на границе раздела океан-атмосфера рассчитывались по балк-формулам CORE-II (англ. Common Ocean-Ice Reference Experiments) при интерполяции «на лету» [6] данных атмосферного реанализа ERA-interim Европейского центра среднесрочного прогноза погоды ECMWF (англ. European Centre for Medium Range Weather Forecast (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets>)).

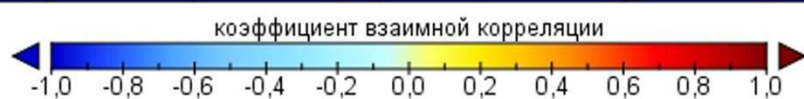
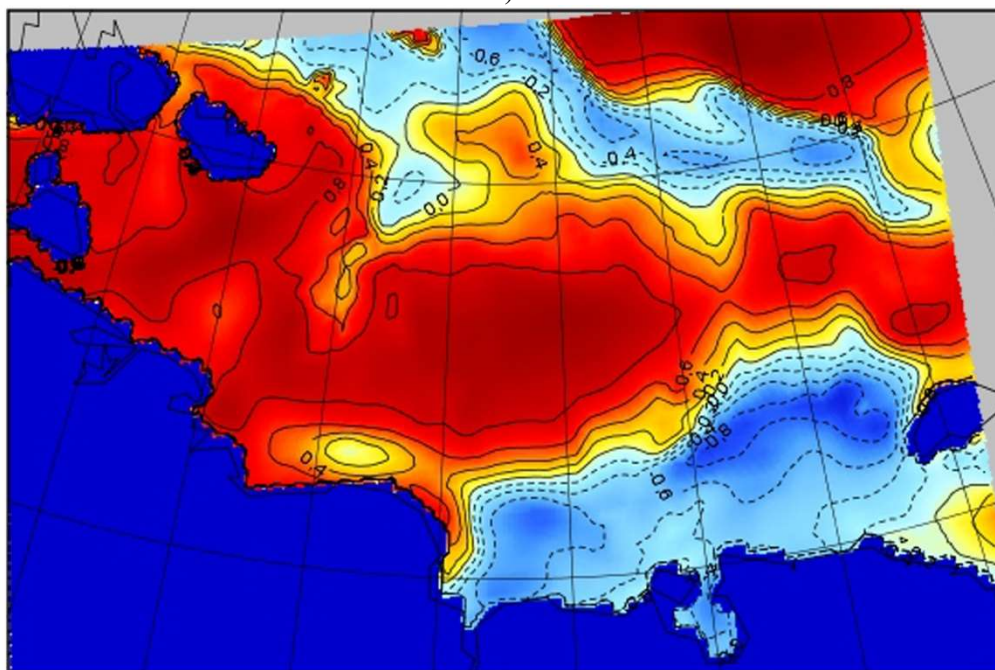
Данные численных экспериментов на региональной конфигурации модели NEMO были получены за период 2000-2017 гг. Анализ распределения гидрофизических параметров за эти годы выявил основные тенденции, наметившиеся в изменении гидрофизического режима Арктического бассейна в годы, когда происходило значительное сокращение ледяного покрова в летний период.

По восстановленным полям температуры и солености были также рассчитаны теплота верхнего слоя и солезапас вод окраинных морей Северного Ледовитого океана. Для выявления связей между состоянием ледяного покрова и изменениями параметров гидрофизического режима были рассчитаны коэффициенты взаимнокорреляционной функции со сдвигом по времени от 5 суток до 2 месяцев, как в [4], и проанализированы поля их распределения. Ниже в качестве примера рассмотрим оценку влияния изменения толщины ледяного покрова на солезапас Восточно-Сибирского моря в контрастные по ледовому режиму годы: 2004г –

«холодный», 2007 г. – «теплый». Следует отметить, что в данном случае положительный значимый коэффициент взаимнокорреляционной функции говорит о том, что солезапас моря зависит от состояния ледяного покрова в большей степени (рис. 1, 2). Отрицательные значения коэффициента взаимной корреляции можно связать с тем, что на изменчивость солености влияют иные факторы.



а)



б)

Рис. 1. Пространственное распределение коэффициентов взаимной корреляции между толщиной ледяного покрова и солезапасом Восточно-Сибирского моря при сдвиге по времени в 1 месяц в 2004 году (а) и в 2007 году (б)

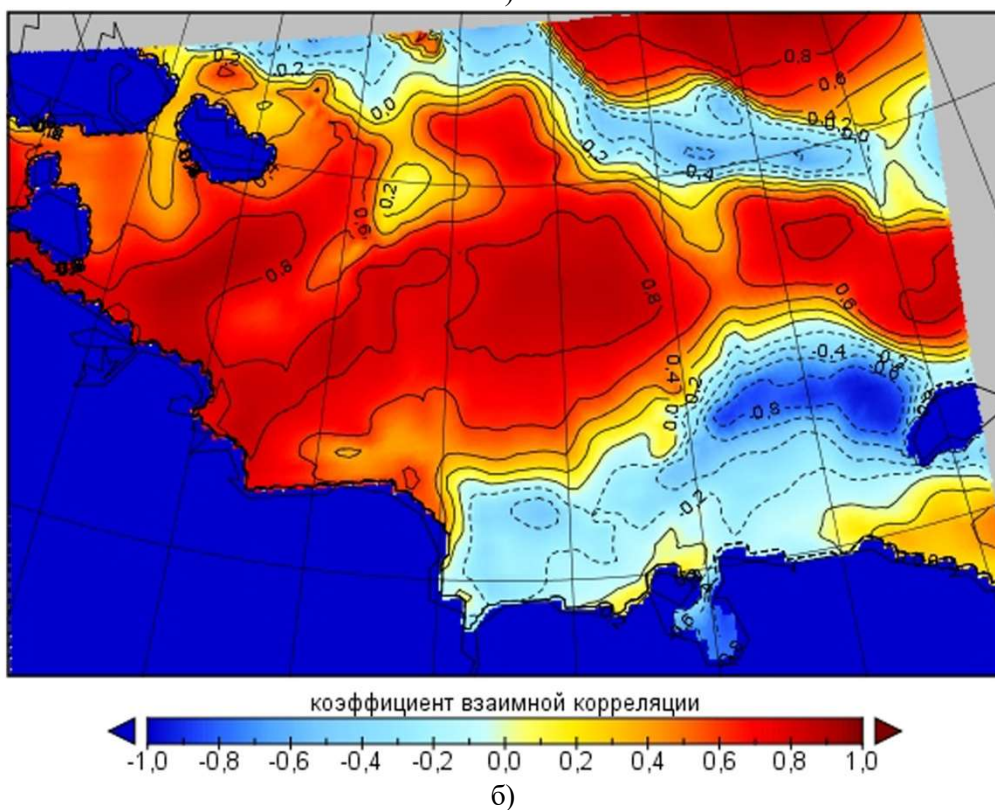
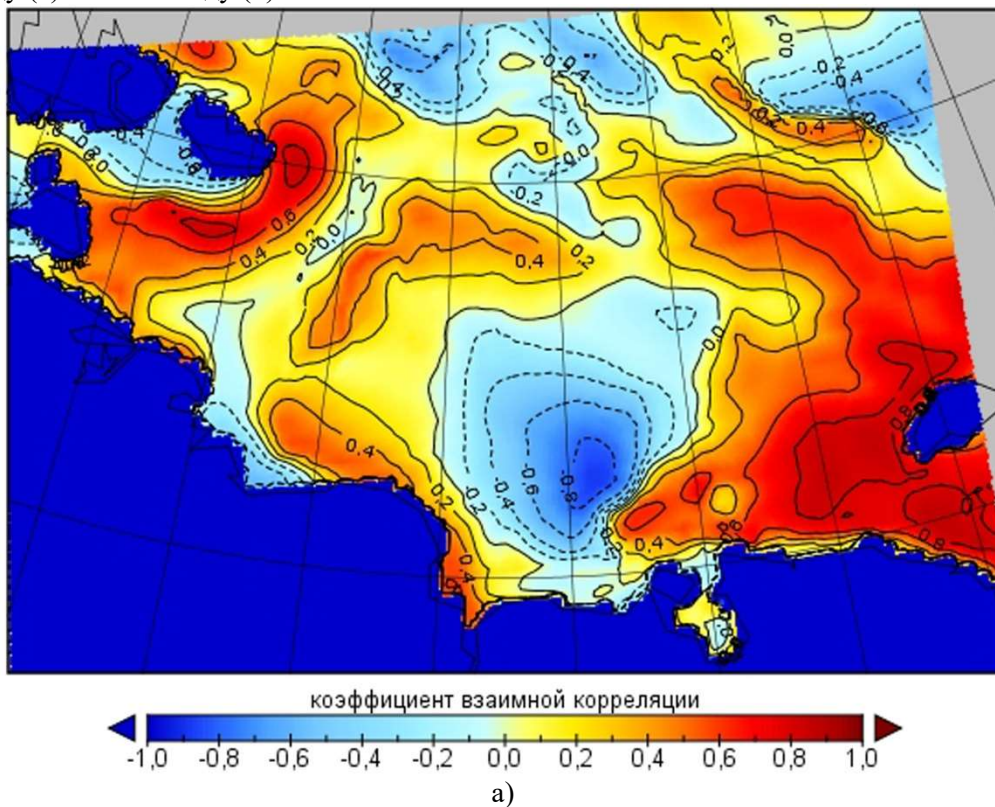


Рис. 2. Пространственное распределение коэффициентов взаимной корреляции между толщиной ледяного покрова и солезапасом Восточно-Сибирского моря при сдвиге по времени в 2 месяца в 2004 году (а) и в 2007 году (б)

Как видно из рисунков 1 и 2, влияние изменения толщины ледяного покрова на солевой баланс в «холодный» год меньше, чем в «теплый». В 2004 г. повышенная теснота связи между толщиной льда и солесодержанием отмечается на западе и востоке акватории Восточно-Сибирского моря при сдвиге по времени до 1 месяца (рис. 1а). С увеличением сдвига по времени до 2 месяцев происходит ослабление влияния изменения толщины льда на солезапас на западе моря и увеличение его влияния на востоке моря (рис. 2а).

В 2007 г. отмечается отсутствие взаимосвязи между рассматриваемыми параметрами вблизи северной границы Восточно-Сибирского моря и юго-востоке его акватории независимо от величины сдвига по времени между рядами данных. При сдвиге во времени 1 месяц проявляется наибольшая теснота связи между толщиной льда и солезапасом, охватывая большую площадь. При сдвиге в 2 месяца значимость связи ослабевает, но влияние изменения толщины ледяного покрова на солезапас сохраняется.

Анализ произведенных расчетов и оценок влияния состояния ледяного покрова на гидрофизические параметры вод Восточно-Сибирского моря показал наличие изменений гидрофизического режима, начавшихся в период современного потепления климата, а также выявил региональные особенности в распределении этого влияния на акватории исследуемого моря.

Литература

1. Океанография и морской лёд / Под ред. И. Е. Фролова. М.: Паулсен, 2011. 432 с.
2. Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всероссийской конференции с международным участием / Под ред. С. В. Рябченко. – Архангельск: ИД САФУ им. М.В. Ломоносова, 2014. 199 с.
3. Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Carmack E.C. Stability of the arctic halocline: a new indicator of arctic climate change // *Environmental Research Letters*. 2018. V 13. P 1-8.
4. Даньшина, А. В. Влияние теплозапаса деятельного слоя Восточно-Сибирского моря на эволюцию ледяного покрова // *Оригинальные исследования*. 2018. Т.8. № 5. С. 4–15.
5. Egbert, D. G. Efficient inverse modelling of barotropic ocean tides // *J. Ocean. Atmos. Technol.* 2002. V. 19. № 10. P. 182–204.
6. Madec, G. NEMO ocean engine, Version 3.6 stable // *Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France*. 2016. № 27. 396 pp.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор проекта - RFMEFI61617X0076).

The study was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (the project identifier is RFMEFI61617X0076).

ВЛИЯНИЕ СБРОСОВ ТЕПЛЫХ ВОД НА ТЕРМИЧЕСКИЙ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПЕРМСКОЙ ГРЭС (Г. ДОБРЯНКА)

Двинских С.А., Зиновьев Е.А., Китаев А.Б.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

THE INFLUENCE OF WARM WATER DISCHARGES ON THERMAL, HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL REGIMES OF KAMA RESERVOIR IN PERM HYDROELECTRIC POWER STATION AREA (DOBRYNKA)

Dvinskikh S. A., Zinoviev E. A., Kitaev A. B.

Perm State National Research University, Perm, Russia

В статье рассматриваются последствия теплового загрязнения для температурного режима района Камского водохранилища в районе действия Пермской ГРЭС. Анализируется его роль в изменении гидрохимии и гидробиологии водоема. Показано, что значительного изменения в концентрации загрязняющих компонентов не наблюдается. Состав, структура и состояние гидробионтов отвечает общей для водохранилища тенденции, но возможно появления ареала нового вида «интервентов» из рыб – американского сома.

The article considers the consequences of thermal pollution for the temperature regime of the Kama reservoir area in the area of operation of the Perm GRES. Its role in changing the hydrochemistry and Hydrobiology of the reservoir is analyzed. It is shown that there is no significant change in the concentration of polluting components. The composition, structure and condition of hydrobionts corresponds to the General trend for the reservoir, but it is possible that a new species of "interventionists" from fish – American catfish-will appear.

Пермская ГРЭС (мощность 2400 тыс. кВт) является источником теплового загрязнения Камского водохранилища. Режим течений водоема, испытывающего влияние сточных вод, довольно сложен. В русловой части преобладают проточные течения, направленные к плотине, повторяемость которых составляет 70%. Они постоянны и наблюдаются в течение всего года. Остальные 30% приходятся на ветровые течения. На левобережной затопленной пойме, примыкающей к отводящему каналу ГРЭС преобладают ветровые течения. Скоростной режим совместно со сбрасываемыми теплыми водами, не могут не влиять на экологическое состояние водохранилища. Нами были изучены последствия теплового загрязнения для температурного режима, химического состава воды и гидробионтов. Для наблюдений были выбраны периоды с максимальными (июль) и минимальными (октябрь) температурами воды в безледоставный период. Результаты наблюдений приводятся ниже.

1. Наблюдения за температурным режимом показали, что в июле при высоких температурах воздуха, державшихся несколько дней (+26⁰), а также благодаря слабым ветрам, фоновая температура воды поднялась до 23,0-25,0⁰С, что на 3,0-4,0⁰ С выше, чем среднемноголетняя. Анализ изменения температуры по глубине свидетельствует, что на всех исследуемых вертикалях четко выражена прямая температурная стратификация, отчетливо выделяется слой температурного скачка, мощностью около 5 м, начиная с глубины 10 м температура практически не менялась. Исключение составляет вертикаль, расположенная в русловой части. Площадь теплового влияния – 19,0 км² (табл. 1).

Таблица 1. Результаты наблюдений в зоне влияния Пермской ГРЭС (расход теплых вод 28,3 м³/с)

Дата	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Т ⁰ С забираемой воды	Т ⁰ С сбрасываемой воды	Площадь теплового загрязнения, км ²	Площадь теплового влияния, км ²
VII	ЮВ	3	25,0	29,2	7,0	19,0
X	СЗ	3	6,2	17,0	1,5	15,0

Температура воздуха в осенний период составляла 3⁰С, а температура воды изменялась от 6,0 до 7,0⁰С, выше среднесезонной более чем в 2 раза. Разница забираемой и сбрасываемой воды – 10,8⁰С. Площадь теплового загрязнения при наблюдаемом северо-западном направлении ветра ориентирована на юго-восток и составила 1,5 км² (табл.1). Площадь зоны теплового влияния – 15 км². Все это свидетельствует о изменении температурного режима на участке водохранилища, который испытывает влияние сброса теплых вод Пермской ГРЭС [2].

2. Показателем теплового загрязнения является изменение содержания кислорода. После создания Пермской ГРЭС отмечается уменьшение содержания кислорода на протяжении всего навигационного периода. В качестве индикатора теплового загрязнения были приняты значения его концентраций у дна. Результаты анализа показали, что наиболее ощутимо величина температуры у дна изменяется в мае-июне (почти 50%) и сентябре-октябре (54,3%). Содержание же кислорода изменяется не так заметно: в мае-июне на 2%, в сентябре-октябре на 15%. По содержанию кислорода у дна воды водохранилища в пределах рассматриваемого района воды соответствуют 2 классу качества (чистые). В зимний период содержание кислорода изменяется от 8,9 до 12,7 мг/дм³ и воды относятся тоже к 2 классу качества (чистые). По величине БПК₅ воды исследуемого района соответствует 1 классу качества (очень чистые). Следовательно, сброс теплых вод Пермской ГРЭС практически не повлиял на класс качества воды по кислороду и БПК [1].

По материалам полевых наблюдений во всех створах отмечается превышение ПДК по аммоний-иону в зимний и весенний периоды (до 1,95 доли ПДК). В августе отмечается высокое содержание БПК (1,75 доли) выше и ниже города Добрянки; что может быть вызвано работой ГРЭС выше города, а также сбросы предприятий ниже населенного пункта. В период начала весеннего наполнения концентрация нефтепродуктов достигает 2,5 долей ПДК, особенно высокое значение отмечается выше города. ХПК для всех проб превышала ПДК (за период наблюдений изменялась от 0,69 ПДК (пробы 28.09.06) до 3,17 ПДК (21.08.07). Концентрация фурфурола составляет менее 1 мг/л, при этом наблюдается уменьшение его содержания от верхнего створа к нижнему (с 0,7 до 0,4 мг/л), то есть источник его поступления находится выше г.Добрянки. Содержание сульфитов и тиосульфатов также является незначительным; причем они вещества быстро переходят в состав сульфатов, для которых ПДК составляет 300 мг/л. Следует отметить, что содержание в водной массе водоема фурфурола, сульфитов и тиосульфатов отмечено только в период летнего опробования. Из-за эпизодичности наблюдений (отсутствие мониторинга) сложно сказать, почему они не обнаружены в зимний и осенний периоды наблюдений. По результатам проведенных исследований качество воды в период летне-осенней стабилизации уровня воды в районе Добрянки можно считать удовлетворительным. В анализ в соответствии с техническим заданием не были включены наблюдения за тяжелыми металлами (железо, медь, марганец), содержание которых формирует 4 класс качества воды. Можно предположить, что их высокое содержание (по данным ГУ «Пермский ЦГМС») связано с естественным фоном. Расчеты возможного изменения содержания некоторых загрязняющих веществ в воде водоема в связи с предполагаемым сбросом сточных вод согласно нормативам, проведенные по программе «Зеркало», показали, что серьезного загрязнения исследуемого участка Камского водохранилища (р. Ломоватовка – Кам ГЭС) не произойдет. На расстоянии 500 м от берега и в пределах 20 километровой зоны по длине водоема допустимые концентрации не будут превышены [3].

3. Процесс формирования зоопланктона характеризуется увеличением его видового разнообразия (40-80 таксонов) и биомассы (1-4 г/м³). При этом биомасса планктона достаточна не только для прокормления молоди рыб всех видов, но и для многочисленных планктофагов (синец, уклея, чехонь), потребляющих этот корм в течение всей жизни. Состав планктона характеризуется доминированием ветвистоусых и веслоногих ракообразных, наиболее ценных в пищевом отношении для рыб. Бентофауна водоема в последние годы уменьшается по биомассе, заметно увеличившись по видовому разнообразию (до 140 таксонов). Наблюдаются значительные сезонные и годовые вариации средних значений продукции планктона и бентоса. В значительной мере это связано с особенностями гидрологического и гидрохимического режимов водохранилища.

В структуре ихтиоценоза происходят изменения относительной роли видов в промысле и в экосистеме. Численность леща резко возросла, а плотвы и, особенно, язя упала. Из группы

равноценных по промысловой роли произошло выделение лидера – леща, дающего от 50 до 75% годового вылова. В районе г. Добрянки язь и елец, которые были массовыми, исчезли. У всех рыб наблюдается увеличение темпа роста, упитанности, жирности. Период нереста, что связано с изменением гидрологического и термического режимов, несколько сдвинулся ближе к лету. Массовые миграции из водохранилища характерны для леща, язи, жереха, плотвы, окуня, чехони, судака.

Промысловая рыбопродуктивность за 25 период существования водохранилища не превышала 2-4 кг/га ((в речных условиях – 5-10 кг/га), а к настоящему времени снизилась до 0,5-1,0 кг/га). Основные причины: переработка берегов и грунтов, запесчанивание их, выщелачивание грунтов, обеднение водоема биогеонами, резкое сокращение площади нерестилищ, оптимальных по глубине, субстрату и защищенности от ветров, уменьшение кормовой базы (планктона и бентоса), продолжающееся загрязнение, неблагоприятный уровень, термический, химический и газовый режим и др. Текущий тридцатилетний период существования водохранилища ознаменован двумя глубокими депрессиями в численности и уловах рыб, хотя таких провалов в биомассе планктона и бентоса не зарегистрировано. В гидрофауне продолжают происходить непрерывные изменения в соотношении многих массовых видов. Общее биоразнообразие явственно возрастает, однако количественные показатели всех трех ценозов (планктон, бентос, рыба) снижаются. Общая рыбопродуктивность по промысловым данным падает до уровня 0,5 кг/га и ниже. Помимо указанных выше специфических черт, в изучаемом районе появляются рыбы – «интервенты» (тюлька, сом, головешка-ротан, бычок-кругляк, игла-рыба) и беспозвоночные «интервенты», к примеру дрейссена, расселившаяся даже в зонах загрязнения.

Особенности нижнего участка камского водохранилища в районе г. Добрянки пока исследованы недостаточно, особенно роль теплового загрязнения и причины замедленного роста плотвы и леща. Возможно, к специфике этого участка вскоре придется относить наличие еще одного вида – «интервентов» из рыб – американского сома (*Ictaluridae*), ушедшего из садков и живущего несколько лет в отводящем канале. Популяция этой рыбы растет и вполне вероятно расширение пока небольшого ареала. Пока нет данных, может ли он размножаться в наших водах вне тепловой зоны.

Выводы: Сброс сточных вод Пермской ГРЭС значительно изменяет температурный режим Камского водохранилища в месте их приема. При этом зона влияния и теплового загрязнения в значительной мере зависит от условий внешней среды. Так в осенний период зона теплового загрязнения почти в четыре раза меньше, чем в летний, но изменение температуры наоборот, в осенний период больше. Изучение гидрохимического и гидробиологического режимов изучаемого участка показало, что при изменении сбросов сточных вод через городской коллектор, при соблюдении регламента его работы, значительного изменения в концентрации загрязняющих компонентов (превышение ПДК) не произойдет. Основную роль в формировании химического состава воды по-прежнему играют поступающие сверху водные массы. Состояние гидробионтов отвечает общей для водохранилища тенденции, за исключением возможного появления ареала нового вида «интервентов» из рыб – американского сома.

Литература

1. Зиновьев Е.А., Китаев А.Б., Носков В.М. Влияние теплового и химического загрязнения на состояние экосистемы приплотинной части Камского водохранилища // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: мат. Всерос. научно-практ. конф. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2010 (Дружининские чтения. Вып. 4). С.69-73.
2. Китаев А.Б., Носков В.М. Формирование температурного режима приплотинной части Камского водохранилища под влиянием теплового загрязнения Пермской ГРЭС // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. Всерос. науч. конф. с международным участием. Барнаул, 2012. Т.1. С.61-66.
3. Китаев А.Б., Рочев А.В. Гидрохимический режим приплотинной части Камского водохранилища // Географический вестник. Пермь, 2008. №2(8). С.123-138.

ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

К.С. Двоглазова, В.А. Шелутко, Н.И. Горошкова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

EVALUATION OF THE THERMAL AND ICE REGIMES OF THE NORTHERN DVINA BASIN RIVERS

K.S. Dvoeglazova, V.A. Shelutko, N.I. Goroshkova

Russian State Hydrometeorological University

Доклад посвящен оценке изменений термического режима стока в бассейне реки Северная Двина. Анализ данных по температуре воды и продолжительности ледостава выявил неоднородность изменений этих характеристик во времени, в большой степени согласованную с известными климатическими изменениями.

The report is devoted to the assessment of changes in the thermal regime of runoff in the Northern Dvina river basin. Analysis of data on water temperature and duration of freezing revealed heterogeneity of changes in these characteristics over time, largely consistent with known climatic changes.

Введение

Изменение климата, в соответствии с преобладающей точкой зрения, выражается в его потеплении. Часто выделяют 3 интервала изменения климата: потепление 1910-1945 гг., слабое похолодание 1946-1975 гг. и наиболее интенсивное потепление после 1976 года [1].

В первую очередь изменения климата оцениваются по данным о приповерхностной температуре. На территории России потепление происходит во все сезоны, но наиболее заметно в зимний период [2]. За 1976-2016 гг. повышение температуры в России составило 1,88° С [3].

Целью данной работы является анализ временной динамики изменений термических процессов рек бассейна Северной Двины.

В работе были использованы данные, предоставленные ФГБУ «Государственный гидрологический институт». База использованных данных включает в себя наблюдения по 10 гидрологическим постам и 4 метеостанциям. Гидрологические данные представлены средней температурой воды за период открытого русла с 1950 по 2016 гг. и продолжительностью ледостава с 1950 по 2016 гг. (для 4 створов с 1936 г.); метеорологические – среднегодовой температурой воздуха с 1950 по 2016 гг.

Определить изменения климата можно с помощью разности между климатическими переменными за конечный и начальный периоды, или тенденции изменений климатических переменных в течение рассматриваемого периода времени. Основным методом выявления изменения климата является статистический анализ рядов наблюдений за весь возможный период наблюдений [1].

Общая характеристика временных изменений термического и ледового режима

С 1950 года по 2016 год средняя температура воды за период открытого русла по реке Северная Двина увеличилась по сравнению с предшествующим периодом за отдельные месяцы на 1-3° С.

На рис.1 представлены графики средних месячных температур воды в пунктах наблюдений на р. Северная Двина, осредненных за периоды с 1950 по 1980 и с 1981 по 2016 годы. Во всех представленных случаях средние многолетние температуры воды за период с 1980 по 2016 годы намного превышают значения за предшествующий период.

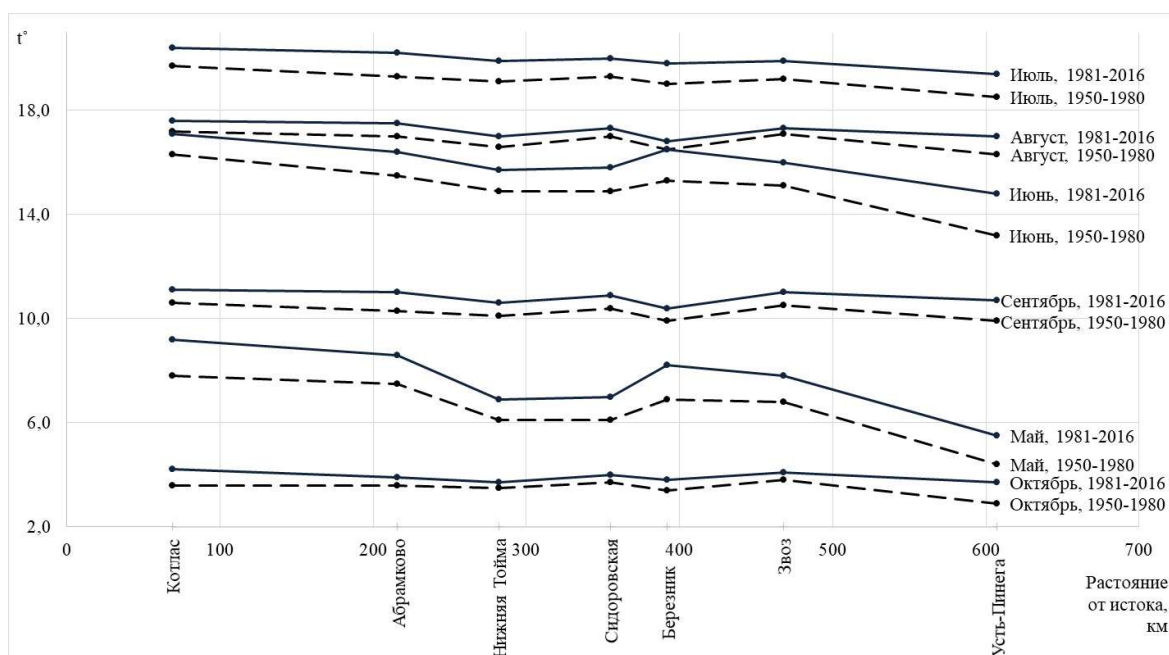


Рис 1. Изменение среднемесячной температуры воды по длине реки Северная Двина за периоды: 1950-1980 гг. (----) и 1981-2016 гг. (—).

Средняя продолжительность ледостава колеблется от 150 дней у истока до 170 дней у устья за 1950-1980 годы и от 140 до 160 дней за 1981-2015 годы. На рис.2 представлены графики средней продолжительности ледостава в пунктах наблюдений на р. Северная Двина, осредненных за периоды с 1950 по 1981 и с 1982 по 2017 годы. Снижение количества дней ледостава объясняется более поздним началом замерзания рек и их более ранним вскрытием.

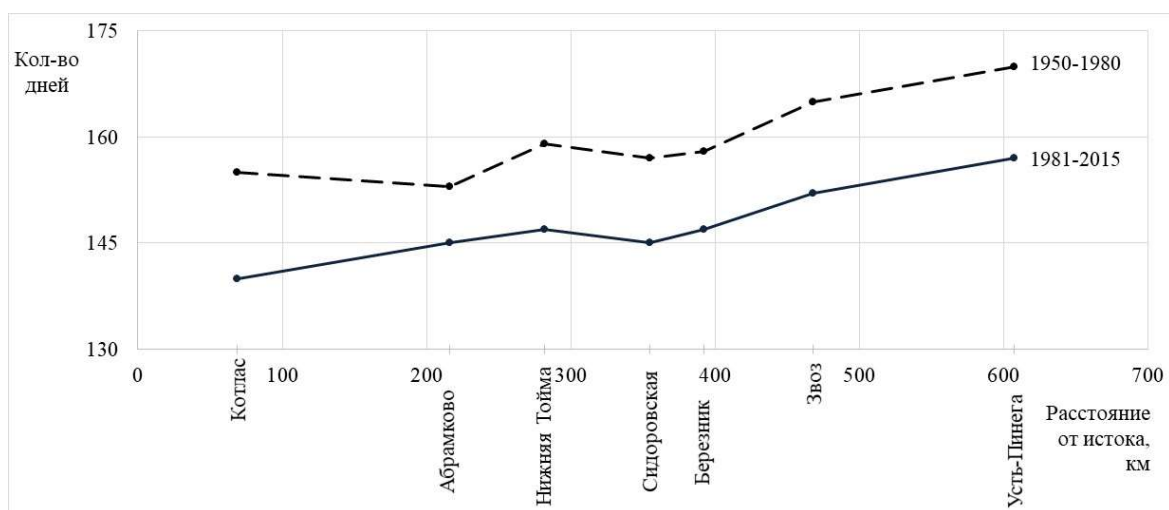


Рис. 2. Изменение средней продолжительности ледостава по всей длине реки Северная Двина за периоды: 1950-1980 гг. (----) и 1981-2015 гг. (—).

Стационарность рядов наблюдений

Возникает вопрос: не могут ли описанные расхождения средних месячных температур воды и продолжительности ледостава быть следствием случайных колебаний или в развитии этих характеристик имеется достаточно выраженный тренд. В таблице 1 представлены результаты проверки этой гипотезы по совокупности двух оценок (по коэффициенту корреляции и критерию

Спирмена). Стационарным считается тот ряд, для которого по оценке коэффициента корреляции и критерия Спирмена тренды не значимы.

Таблица 1. Сводная таблица проверки гипотезы стационарности.

Створ	Температура воды	Продолжительность ледостава
г. Котлас	Расхождение значимо	Расхождение значимо
д. Абрамково	Расхождение значимо	Расхождение значимо
д. Нижняя Тойма	Расхождение значимо	Расхождение значимо
д. Сидоровская	Не значим	Расхождение значимо
р. п. Березник	Расхождение значимо	Расхождение значимо
д. Звоз	Расхождение значимо	Расхождение значимо
с. Усть-Пинега	Расхождение значимо	Расхождение значимо
д. Каликино	Расхождение значимо	Расхождение значимо
г. Великий Устюг	Расхождение значимо	Расхождение значимо
д. Федяково	Расхождение значимо	Расхождение значимо

Из таблицы 1 видно, что расхождение термических характеристик стока Северной Двины за описанные два периода не значимо только в одном створе наблюдений и только для температуры воды. Во всех остальных случаях гипотеза об отсутствии тренда опровергается.

Однородность рядов наблюдений

Результаты проверки однородности рядов наблюдений по температуре воды и продолжительности ледостава представлены в таблице 2. Однородным считается тот ряд, для которого по обоим критериям (Стьюдента и Фишера) нулевые гипотезы не опровергаются.

Таблица 2. Сводная таблица по проверке гипотез однородности.

Створ	Температура воды	Продолжительность ледостава
г. Котлас	Не опровергается	Опровергается
д. Абрамково	Опровергается	Опровергается
д. Нижняя Тойма	Не опровергается	Опровергается
д. Сидоровская	Не опровергается	Опровергается
р. п. Березник	Опровергается	Опровергается
д. Звоз	Опровергается	Опровергается
с. Усть-Пинега	Не опровергается	Опровергается
д. Каликино	Опровергается	Опровергается
г. Великий Устюг	Опровергается	Опровергается
д. Федяково	Опровергается	Опровергается

Расчеты показали, что для 80% рядов наблюдений гипотеза однородности, то есть равенства действительных средних значений, за рассматриваемые периоды опровергается. По остальным рядам гипотеза не опровергается, но судя по статистике t она скорее тоже не верна.

Заключение

Влияние изменения климата четко прослеживаются в изменении термических характеристик стока реки Северная Двина. Как показали оценки исходных рядов, практически все значения меняются во времени и у большинства отмечаются изменения, обусловленные заметным потеплением климата, которое началось в 1980-х годах.

Изменение температуры воды (повышение до 2°) является прямым следствием потепления климата, которое оценивается по приповерхностной температуре. Так, годом начала интенсивного потепления атмосферного воздуха считается 1976, а увеличение температуры воды стало происходить только в начале 1980-х годов.

Потепление на территории России происходит наиболее заметно в зимний сезон, а также при переходах с осени и на весну. Это является причиной переносов сроков ледообразования на более поздние даты и ледоразрушения на более ранние даты. За счет этих сокращений и происходит уменьшение продолжительности ледостава.

Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха // Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – 194 с.
2. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек России // Гидрологические последствия изменений климата: Труды Британско-Российской конференции / Изд-во ООО «Пять плюс», г. Барнаул. – 2009. – С. 143-151.
3. Доклад об особенностях климата территории Российской Федерации за 2018 год. – Москва, 2019. – 79 с.
4. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии // Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 238 с.

О МЕТОДОЛОГИИ ПОЗНАНИЯ И ТВОРЧЕСТВА ИЛИ «ТЫ, УЧЁНЫЙ, САМ С УСАМ?»

В.С. Девятков

ФГБОУ ВО «РГГМУ», Санкт-Петербург, Россия

ABOUT COGNITIVE METHODOLOGIES AND CREATIVITY OR “HEY, YOU! ARE YOU, SCIENTIST, DO IT ONLY BY YOURSELF?”

V.S. Deviatov

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Если бы учёные впервые увидели гусеницу и описали её поведение, все алгоритмы её действий, всю статистику ситуаций, создали бы модели и кривые связи характеристик, то смогли бы они предсказать то, во что гусеница превратится после окукливания? Описать модели, по которым можно будет описывать поведение бабочки?

If scientists saw a caterpillar first time and try to describe its behavior, all its algorithms, all possible statistics and situations, created models and curves that connect all of its characteristics, would they be able to predict what will happen after pupation with that caterpillar? Can they create models by which it will be possible to describe the behavior of a butterfly?

Что такое методология познания и творчества. Познавательный-творческий процесс представляет собой: постановку определённых по смыслу вопросов и нахождение определённых по смыслу ответов на каждый из вопросов. При этом элементарные звенья процесса, представляющие собой пару «вопрос — ответ» могут образовывать последовательности «вопросов — ответов», а могут — многомерные «сети» из последовательностей. При этом сами вопросы могут оставаться где-то в глубине бессознательного (личностного или коллективного) и не формулироваться ни в прямой, ни в опосредованной форме на уровне сознания личности.

В сказанном нет ничего принципиально нового. Так «Советский энциклопедический словарь» (1987 г.) в статье, посвященной Сократу (древнегреческий философ, годы жизни: около 470 — 399 гг. до н.э.), характеризует его следующими словами:

«один из родоначальников диалектики, как метода отыскания истины путём постановки наводящих вопросов» [1].

Все пары «это — не это» в мировоззрении индивида возникают как результат попадания в психику первичной информации. То есть информации, которой в его мировоззрении до того не было.

Попадает она туда в результате озарения Различением, когда в осознанном восприятии индивида Мир предстаёт как пара «это» на фоне «не это». Эту пару надо осмыслить в познавательном-творческом процессе во взаимосвязи её компонент с компонентами таких же пар, данных человеку в Различение ранее.

Познавательный-творческий процесс опирается на мировоззрение и миропонимание индивида — такие, каковы они есть, и первым результатом познания является совершенствование мировоззрения и миропонимания. В процессе этой деятельности совершенствуется и сама личностная культура познания и творчества.

В силу этих обстоятельств:

- прочитывать, запомнить — и даже понять — описание методологии познания и творчества (в том числе и со сдачей некоего «зачёта» квалификационной комиссии) — это одно,
- а освоить её и действовать на основе адекватной окружающей действительности и направленности течения процессов в ней осмысленно выработанной в себе самом личностной познавательной-творческой культуры — это совершенно другое.

Понятие о первичной информации подводит нас к вопросу, который можно назвать исходным вопросом психологии как науки:

«Самодостаточен ли человек в способности к выборке из потока событий Жизни информации, и прежде всего — первичной информации, либо же нет?»

Или в иной формулировке:

«Чем обусловлена способность человека выделить «сигнал», несущий ту или иную информацию, из потока событий Жизни?»

Ты сам с усам или тебе помогают? Как уже было сказано, способность индивида разграничить в своём восприятии Жизни разнокачественности — в общем случае можно назвать «различением». Безусловно, что отчасти способность к различению обусловлена биологией организма человека и развитостью на этой биологической основе его личностной культуры чувств:

- Так все мы на биологической основе, соответственно генетической запрограммированности наших способностей к мировосприятию, различаем цвета в пределах спектра, высоту звуков и многое другое.
- А на основе этого генетически запрограммированного потенциала развивается культура общества, включающая и воспроизводящая в преемственности поколений личностную культуру психической деятельности каждого человека, в том числе и культуру чувств (культуру мировосприятия).

В результате специфического развития культуры в языках северных народов существует до сотни слов, которыми обозначаются оттенки цвета «белого» снега, которые различают их представители. Не воспринимаемые различия не могут закрепиться в языке как устойчивые понятия, само собой разумеющиеся подавляющим большинством представителей соответствующей культуры.

Это касается и названий оттенков цветов, но касается и прочих понятий, которыми оперируют люди, например: нравственность (нравы одного индивида), нравы (нравы, признаваемые в обществе, как некая норма), совесть (невольная любовь к добру и к истине; прирожденная правда, в различной степени развития [4]), — хотя некоторые люди не могут внятно описать различия между этими явлениями в своей психике, но в обществе выработались и закрепились разные понятия для обозначения различных явлений.

Обилие проявлений способности к различению, обусловленных биологией и исторически сложившейся культурой, создаёт ощущение, что индивид действительно самодостаточен в способности к выборке информации из потока событий.

Соответственно этому обстоятельству исходный вопрос психологии как науки часто и не встаёт, поскольку ответ на него — в смысле самодостаточности человека — представляется «само собой» разумеющимся до, как кажется, «неоспоримой» очевидности и безальтернативности.

Однако наряду с такого рода, как кажется, «гарантированной» выборкой информации из потока событий — по жизни почти каждому известны ситуации, характеризующиеся оборотами речи типа: «в упор не видит», «смотрит, но не видит», «слушает, но не слышит». Часть из такого рода ситуаций действительно может быть объяснена тем, что внимание индивида, его сознание в целом в период развития ситуаций были заняты чем-то другими.

Однако во множестве ситуаций, характеризующихся приведёнными выше фразеологизмами, можно выделить подмножество ситуаций (статистически значимое), когда внимание и сознание в целом как раз и были заняты целенаправленными поисками или ожиданиями именно того, чего «в упор не видели», что желали услышать, но «не слышали» и т. п., вопреки тому, что необходимая информация объективно была в пределах их восприятия, обусловленного и биологически, и культурой, какой факт часто подтверждается другими участниками тех же событий, которые смогли воспринять ту же самую информацию.

Некоторая часть таких ситуаций тоже может быть объяснена неким «парадоксальным состоянием» психики индивида — её перенапряжением, какой-то закрепощённостью, «зацикленностью», воздействием каких-то полей на него и т. п. субъективными причинами, вследствие которых и утрачивается способность к восприятию информации.

Хотя психика людей действительно может пребывать в такого рода «парадоксальных состояниях», но всё равно остаётся некоторое множество ситуаций (как, минимум, статистически значимое), которые необъяснимы «парадоксальными состояниями». В самой рассматриваемой ситуации некую прочую информацию он получал, а его «слепота» и «глухота» носила какой-то специфически избирательный характер.

Т.е. остаётся некоторое, пусть и малое, количество ситуаций, необъяснимых с позиций убеждённости в самодостаточности индивида в деле выборки информации в потоке событий, т.е. в деле разграничения сигнала, несущего информацию, и фона, на котором сигнал должен быть выделен.

Два класса теорий психологии и первичная информация. В Коране об источнике озарений и об их обусловленности как не подвластными человеку факторами, так и его собственным субъективизмом, говорится прямо:

«О те, которые уверовали! Если вы будете благоговеть перед Богом (т. е. будете остерегаться вызвать неодобрение Божие — пояснение контекста при цитировании), Он даст вам Различение и очистит вас от ваших злых деяний и простит вам. Поистине, Бог — обладатель великой милости!» [2].

Если перевести это с богословского языка на язык достаточно общей теории управления [3], то управление с объемлющих уровней в одном из своих аспектов представляет собой целесообразное распределение среди субъектов и объектов в Мироздании информационно-алгоритмического обеспечения, соответствующего целям объемлющих уровней управления, вплоть до наивысшего объемлющего уровня управления Мирозданием в целом.

Одной из важнейших особенностей этого процесса поступления первичной информации, которая и обуславливает его адресность, является зависимость от информационно-алгоритмических качеств индивида.

- Во-первых, от его системы отношений к различным явлениям Мироздания (то есть — нравственности), от которой зависит выбор линии поведения.
- Во-вторых, от вектора целей индивида и глубины его идентичности с векторами целей объемлющих систем, если говорить о человеческом виде, то речь идёт о жизненных интересах и намерениях на будущее.
- В-третьих, от вектора состояния индивида, то есть от фактической его деятельности.
- В-четвёртых, зависит от генетически обусловленного потенциала (о чём речь шла уже выше), который задаёт как минимум того возможного, чего может достичь индивид, так и максимум возможного, когда потенциал полностью освоен, что в терминологии теории вероятностей обозначается наиболее оптимальной вероятностью реализации процесса «индивид» при его текущих качества (мистики это называют судьбой).

Проще говоря, первичная информация, поступающая в психику в озарениях, зависит от качеств, намерений, жизненных интересов, фактической деятельности и от перспективных возможных состояний индивида эту психику несущего.

Если с объемлющих уровней управления последовал отказ в предоставлении в озарениях Различением первичной информации и намёков-подсказок по жизни, то это фактически обращает всякого индивида в человекообразный автомат, который не способен выйти во взаимодействие с Жизнью за пределы множества вариаций комбинаторики того информационно-алгоритмического обеспечения, которое уже наличествует в его психике.

Собственно так сдерживается и уводится на тупиковые и самоубийственные для них пути вседозволенность «демонического» склада психики, лейтмотивом поведения которой является принцип «что хочу, то и ворочу» (никак не соотносясь с тем, что происходит вокруг). Вследствие чего они при всех своих притязаниях на неподконтрольность и неподотчётность действий несвободны так же, как несвободны и те, кто отдаёт предпочтение инстинктивным, рефлекторным и стереотипным поведенческим алгоритмам. Хотя ограниченность такого рода «воротил» (в сопоставлении с прочими) обусловлена иным неподвластным им фактором несамодостаточности индивида в выборке первичной информации и отсутствием власти над Различением.

Теории познания, в которых ответом на основной вопрос психологии служит ответ: «человек самодостаточен в выборке первичной информации», — в общем-то обосновывают принцип «что хочу, то и ворочу», делая его наивысшим возможным принципом взаимодействия индивида и Мироздания, при котором ограничения проистекают только из особенностей самого индивида: его личностных качеств, генетики, целеустремлённости.

А потому такие теории познания по своей сути являются фундаментом для фашистских и нацистских политических идеологий и являются обоснованием толпо-«элитарного» устройства общества [5], в котором те, кто научились подниматься над своими инстинктами, рефлексам и привычками и могут «прокачивать» свои личностные и генетические параметры (о, копаться в генетическом коде нашего вида с целью селекции «сверхчеловека», вожделеют многие «воротилы»), «рулят» этим «быдлом» так, как считают нужным, выбирая наиболее важную информацию из потока жизни и передавая по системам посвящений навыки работы с первичной информацией (в представлении их психологических школ). Именно поэтому вопрос, который был назван выше исходным вопросом психологии как науки, в исторически сложившихся традициях психологии Запада и Востока обходится молчанием и, соответственно, прямой ответ на него не даётся.

Однако, практика жизни показывает несостоятельность такого рода теорий, поскольку во множестве исторических примеров разнообразные «демонические» личности (в указанном выше смысле — живущие по принципу «что хочу, то и ворочу») сталкивались с непреодолимыми обстоятельствами жизни, которые ограничивали им возможности воздействия на процессы Мироздания, вплоть до неожиданных, а часто и нелепых смертей, пресекающих их несправедливое поведение.

Если вы желаете развивать такого рода общественные системы, а особенно их научное обеспечение, то развивайте теории, отвечающие на основной вопрос психологии в том смысле, что «человек самодостаточен в выборке первичной информации», но будьте готовы к последствиям использования этих моделей познания и поведения.

Если не хотите, то следует признать, что есть нечто для нас инфинитное (предельно неизвестное), но выполняющее по отношению к нам роль наивысшего объемлющего управления с прямыми и обратными связями, взаимодействие с чем можно описывать этически, то есть как некоторые взаимоотношения.

То какие у нас выстроены отношения (этика) с этим нечто и определяет то, какую науку мы формируем и то, в каком мире в конечном итоге живём. Так выражает себя действительная этика науки и общественной жизни в целом.

Литература

1. Советский энциклопедический словарь. Москва, «Советская энциклопедия», 1987 г. 1560 стр.
2. Коран, Сура 8, Аль-Анфаль (Трофеи), аят 29.
3. Достаточно общая теория управления // Постановочные материалы учебного курса факультета прикладной математики — процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета (1997 — 2003 гг.), Редакция с испр. и доп. 2004, 2011 гг., СПб, 2011 г., 228 с.
4. Даль В. И. Толковый словарь живого великорусского языка: В 4 ч., 3-е изд., испр. и доп. / Под ред. И. А. Бодуэна де Куртенэ. — СПб.: Товарищество М.О. Вольфа, 1903—1909.
5. Gustave Le Bon. "The Crowd: A study of the popular mind" — New York, The Macmillan Co., 1896. URL: <http://archive.org/stream/crowdastudypopu00bongooog#page/n5/mode/2up>.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАКРОПРИЛИВНЫХ ЭСТУАРИЕВ МЕЗЕНИ И КУЛОЯ

Н.А.Демиденко¹, Е.Д.Панченко², А.А.Попрядухин²

¹ФГБУ «Государственный океанографический институт им.Н.Н.Зубова,

(ФГБУ «ГОИН»), г. Москва, Россия, demidenko_nikola@mail.ru,

²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,

географический факультет, panchenko.zhe@yandex.ru; gidroartem@mail.ru

THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE MACROTIDAL ESTUARIES MEZEN AND KULOY

N.A.Demidenko¹, A.M.Alabyan², E.D.Panchenko²

¹State Oceanographical Institute named by N.N.Zubov (SOI), Moscow, Russia, demidenko_nikola@mail.ru,

²Moscow State University by M.V.Lomonosov, Russia, panchenko.zhe@yandex.ru; gidroartem@mail.ru

Исследование гидрологического режима эстуариев Мезени и Кулоя проводилось на базе обобщения результатов сетевых наблюдений и специализированных экспедиционных исследований для целей проектирования приливной электростанции, перераспределения водных ресурсов, изучения динамики берегов залива и эстуариев, улучшения судоходных условий. В последние годы исследования проводятся с целью гидродинамического моделирования динамики уровней, течений, солей, взвешенных наносов.

This paper overviews presented of the specifics of today's the hydrological regime of the estuaries Mezen and Kuloy on the basis of stationary network observations and also specialized expeditionary studies for different purposes – design of Mezen Tidal Power Plant, basin redistribution of the water discharge, study of the coastal dynamics of the estuaries, improvement in the navigable conditions. The last years the investigation for the hydrodynamics simulation of natural processes - water, salt and suspended sediment dynamics are estimated.

Гидрологические процессы, происходящие в эстуариях Мезени и Кулоя, почти полностью подчиняются воздействию приливной волны. Условия хозяйственного использования устьевой области р. Мезени также зависят в значительной степени от приливов. Так, например, морское судоходство в устьях Мезени и Кулоя может осуществляться лишь в период, близкий к полной воде. Эксплуатация водных путей в устье Мезени требует тщательного учета приливных деформаций русла и динамики фарватера за приливные периоды. Большая величина прилива (до 8,5 м) и значительные скорости течений (до 3 м/сек) открывают перспективу сооружения здесь приливных электростанций, которые могут эффективно использоваться для покрытия пиковых нагрузок в энергосети.

Устьевая область рек Мезени и Кулоя занимает юго-восточную часть Мезенского залива и относится к эстуарному типу с сильным воздействием приливной волны. За морской створ эстуария Мезени принимается условная линия от м.Масляный до м.Рябинов, где ширина эстуария составляет 9 км (рис. 1). Вершина эстуария располагается в 40 км выше морского створа, где средняя величина прилива составляет не более 1 м. Общая площадь водной поверхности эстуария – 162,5 км², объем приливной призмы эстуария – 1 км³ [1]. Вершина устья р.Кулой располагается в районе д. Карьеполье, в 100 км от устьевого створа. За устьевой створ этой реки принимается створ по направлению м.Карговский – м.Харин Нос.



Рис.1. Схема Мезенского залива и устьевой области Мезени и Кулоя

- 1 – граница устьевого взморья: м.Абрамовский – р.Мгла;
- 2 – устьевой створ р. Мезень; 3 – устьевой створ р. Кулой;
- 4 – граница проникновения морской воды в эстуарий Мезень;
- 5 – вершина эстуария Мезень – м.Белый Нос;
- 6 – граница проникновения морской воды в эстуарий Кулой.

Средний многолетний годовой сток р.Мезень составляет $850 \text{ м}^3/\text{с}$ (или $26,4 \text{ км}^3/\text{год}$). Средний годовой расход наносов, поступающих в эстуарий Мезени, составляет около $20 \text{ кг}/\text{с}$, что соответствует стоку $0,8 \text{ млн т}/\text{год}$. Средняя мутность воды в вершине устьевого участка Мезени – $30 \text{ г}/\text{м}^3$, в половодье мутность увеличивается до $100 \text{ г}/\text{м}^3$. Средний годовой расход воды составляет $214 \text{ м}^3/\text{с}$, объем стока воды р.Кулоя – $6,76 \text{ км}^3$. Максимальный расход $Q_{1\%}$ составляет $1500 \text{ м}^3/\text{с}$, минимальный – $Q_{99\%}=50$. В вершине устьевой области сток взвешенных наносов равен $0,21 \text{ млн.т}/\text{год}$ [2].

Основными факторами, определяющими уровень режим устьевой области рр. Мезени и Кулоя, являются приливно-отливные колебания уровня, сгонно-нагонные явления и сток речных вод. Средний уровень воды, зафиксированный на ГМС Семжа, составил 350 см над местным нулем или -26 см над «0» Кронштадского футштока. Многолетний размах колебаний уровня воды составил на ГМС Семжа 1003 см . Максимальный уровень воды на ГМС Семжа зафиксирован в июле 1956 г. и составил 920 см над нулем поста (или 544 см над нулем БС). Минимальный уровень воды на ГМС Семжа был зафиксирован в июне 1964 г. и составил -83 см над нулем поста (или -459 см БС) [2].

Приливно-отливные колебания уровня воды в устье р.Мезени являются следствием проникновения сюда из Воронки Белого моря через Мезенский залив приливных волн. При прохождении приливной волны в устье и продвижении ее вверх по реке происходит трансформация параметров приливной волны (величина прилива, времени роста и падения и т.д.). По мере распространения приливной волны в направлении вершины Мезенского залива возрастает величина прилива. В районе м.Конушина величина сизигийного прилива достигает 6 м , а квадратурного прилива – 4 м ; в районе р.Семжи величина прилива соответственно достигает $8,5$ и $6,5 \text{ м}$ [3].

Режим течений в устьевой области р.Мезени имеет сложный характер, связанный с влиянием приливной волны, ветра и речного стока. При проникновении приливной волны возникают сильные приливо-отливные течения со скоростями 1,5–2,5 м/с. Скорости приливного течения в траверзе м.Толстик – устье р.Пыи достигают наибольших во всем эстуарии Мезени величин – 2,9–3,0 м/с. В районе д. Окулово – п.Морозилка скорости приливного течения достигают 1,8 м/с, а отливного –1,6 м/с. В районе Мезенского порта (п.Каменка) максимальные приливные течения колеблются от 1,6 м/с на поверхности и 1,0 м/с в придонном горизонте. В вершине эстуария Мезени в створе м.Белый Нос скорости приливного течения достигают 1,5 м/с, а отливного – 1,2 м/с [3].

В период сизигийных приливов в августе 2018 г. максимальные приливные расходы в верхней части эстуария Мезени створе пос.Морозилка достигали 12000 м³/с, максимальные отливные расходы – 6000 м³/с. Соотношение максимальных приливных к максимальным отливным расходам составило 2:1. В створе пос.Каменка максимальные приливные расходы достигали 6000 м³/с, максимальные отливные – 4000 м³/с. Соотношение максимальных приливных к максимальным отливным расходам составило 1,5:1. В вершине эстуария Мезени в створе м.Белый Нос максимальные приливные расходы достигали 4000 м³/с, максимальные отливные –3000 м³/с. Соотношение максимальных приливных к отливным расходам составило 1,3:1. Максимальный приливный расход, измеренный в период сизигийных приливов в августе 2015 г. на устьевом створе м.Масляный–м.Рябинов эстуария Мезени достигал 90000 м³/с. Повышенные скорости течений приводят к тому, что приливные и отливные расходы воды многократно превосходят речные расходы воды во время половодья [4].

Эрозионно-аккумулятивные процессы в прибрежной зоне и эстуарии Мезени обусловлены приливо-отливными течениями, речными расходами воды и стоком наносов, ветровым волнением и вдольбереговым потоком наносов за счет абразии морских берегов [5]. В эстуарии Мезени миграция зоны максимума мутности за приливный цикл составляет 20–25 км. Течения перемещают наносы различной крупности и создают зону высокой мутности в эстуарии – «пробку мути» с максимальной концентрацией взмученных в прилив наносов.

У д.Пыя величина мутности в придонном горизонте колеблется от 0,5 до 8,5 кг/м³ (средняя – 3,5 кг/м³), а у д.Семжа от 0,35 до 13 кг/м³ [5]. В период наблюдения на суточной станции в августе 2015 г. на фарватере эстуария Мезени по траверзу д.Семжа при квадратурных приливах мутность воды в поверхностном горизонте изменялась от 128 г/м³ в ПВ до 1,3 кг/м³ в МВ. В придонном горизонте мутность воды изменялась в значительном диапазоне от 150 г/м³ в ПВ до 56 кг/м³ в МВ при подходе «пробки мутности».

Уровенный режим устьевого участка р.Кулой зависит от морских приливов. Приливная волна обеспечивает повышение уровня воды в эстуарии Кулой на 8–9 м. Выше по течению (с. Долгощелье) оно уменьшается в два раза. При подходе приливной волны к эстуарию Кулоя величина прилива возрастает до 7,9 м в сизигию и 5,8 в квадратуру [6]. Величина перемещения водной массы во время приливного цикла вверх и вниз по эстуарию Кулоя составляет в среднем 10 км.

Течения перемещают наносы различной крупности и создают зону высокой мутности в эстуарии – «пробку мути» [5,6] с максимальной концентрацией взмученных в прилив наносов до 10 кг/м³, ядро которой располагается в 10–12 км от устьевого створа. Так, например, в створе м.Лиственичный величина мутности в придонном горизонте колеблется от 0,5 до 3,5 кг/м³, а у с. Долгощелье от 0,15 до 5 кг/м³.

На регулярные полусуточные и двухнедельные сизигийно-квадратурные изменения мутности накладываются сезонные и годовые изменения концентрации взвешенных наносов. Эти изменения обусловлены климатическими и гидрологическими факторами, поскольку они определяют вынос в залив продуктов эрозии из речных бассейнов. Высокая мутность воды и транспорт наносов во всем Мезенском заливе и эстуариях Мезен и Кулоя активно влияют на переформирование донных форм рельефа и морфологии всей устьевой области и береговой зоны залива [2].

В приливных морях и эстуариях главной причиной изменения потока наносов является абразия морских берегов. В Мезенском заливе ее темпы могут достигать 10 м/год. На участке устье р.Семжа–м.Рябинов за последние 5 лет берег эстуария Мезени отступил на 15 м. В среднем скорость отступления высокого и обрывистого берега около 1,5 м/год. Интенсивная абразия восточного берега эстуария Мезени вблизи устья р.Семжа привела к разрушению жилой застройки. Количество обломочного материала, поступающего в водную толщу от абразии берегов Мезенского залива достигает 20 млн.т/год. В сравнении с этим объемом сток речных наносов, равный 0,7–0,9 млн.т/год, оказывается пренебрежимо малым [2].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 16-05-01018; 19-35-90032, и 18-05-60021 (экспедиционные исследования).

Литература

1. Римский-Корсаков Н.А., Кортаев В.Н., Иванов В.В., Пронин А.А., Демиденко Н.А. Гидрологический режим и литодинамические процессы в эстуарии Мезени // *Океанология*. 2018. Том 58. № 4. — С. 640–648.
2. Демиденко Н.А. Гидрологический режим Мезенского залива и эстуариев Мезени и Кулоя. Монография Система Белого моря. Том II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. – М.: Научный мир, 2012. — С. 411–432.
3. Алабян А. М. Приливные устья – уникальная природная лаборатория для исследования неустановившегося движения воды // *Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование: MARESEDU - 2017"*. — ПолиПРЕСС, Тверь, 2017. — С. 62–66.
4. Алабян А. М., Панченко Е. Д., Алексеева А. А. Особенности динамики вод в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. — 2018. — № 4. — С. 39–48.
5. Демиденко Н. А., Зиновьев А. Т., Алабян А. М., Панченко Е.Д., Фингерт Е.А., Льюменс М. Исследование и моделирование параметров гидрологического режима и динамики взвешенных наносов в Мезенском заливе и эстуариях Мезени и Кулоя // *Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. — Т. 3 *Геология морей и океанов*. — ГЕОС, Москва, 2015. — С. 175–179.
6. Демиденко Н. А., Алабян А. М. Гидрологические исследования в макроприливном устье реки Кулой // *Инженерные изыскания в строительстве. Материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций*. — Т. 1. Москва, 2018. — С. 215–221.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЁТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

В.А. Демчук, Н.О. Моисеева

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, СПб, Россия

PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL SUPPORT OF AIRCRAFT FLIGHTS IN THE ARCTIC AREAS

V.A. Demchuk, N.O. Moiseeva

St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia

Рассмотрены климатические и погодные особенности Арктического региона, специфика выполнения полётов в Арктике, современное состояние и перспективные направления развития метеообеспечения полётов воздушных судов в Арктике.

The climatic and weather features of the Arctic region, the specifics of flying in the Arctic, the current state and future directions of the development of meteorological support for aircraft flights in the Arctic are considered.

В настоящее время Арктика является перспективным регионом, который активно осваивается, ведутся работы по поиску и разработке месторождений полезных ископаемых. Также Арктика представляет интерес с точки зрения развития туристической отрасли, поскольку обладает уникальными флорой, фауной, ландшафтами и специфическим климатом. Все это определяет необходимость развития воздушного сообщения в рассматриваемом регионе.

В свою очередь безопасность и экономичность воздушных перевозок в большой степени зависит от метеорологических условий выполнения полетов. Следует отметить, что в интересах обеспечения безопасности воздушного движения требуются климатические данные, а также в оперативном плане метеообеспечения полётов требуется фактическая и прогностическая метеорологическая информация о нескольких десятках метеорологических явлений и процессах по району полётов. Среди информации о природных явлениях, характеризующих метеорологические условия по маршрутам полетов воздушных судов (ВС) и аэродромам вылета и посадки, в первую очередь, требуются данные об отдельных опасных и неблагоприятных природных явлениях и их комплексах.

Выбранное направление исследований актуально в связи с важной ролью воздушного сообщения в арктических районах, так как воздушный транспорт обеспечивает оперативную доставку пассажиров и грузов в отдалённые, труднодоступные пункты в арктическом регионе, в том числе выполнение срочных санзаданий по оказанию неотложной медицинской помощи населению районов, а также выполняет аварийно-спасительные работы в максимально короткие сроки.

Арктический регион в настоящее время имеет редкую сеть полярных метеорологических станций, из-за чего освещённость метеорологической информацией в данном регионе крайне мала, поэтому определение погодных условий и распределения параметров атмосферы в арктическом регионе представляется весьма сложной задачей. Тем не менее, её решение представляет значительный интерес для метеорологического обеспечения полётов авиации [1,2].

Целью настоящего исследования является выявление особенностей метеорологических условий, их повторяемости и пространственного распределения, анализ существующих методов их прогнозирования в районах аэропортов взлёта, посадки и по маршрутам полётов в арктических районах и определение перспективных направлений развития метеообеспечения полётов с целью повышения безопасности, регулярности и экономической эффективности работы авиации.

Для достижения поставленной цели при изучении особенностей метеорологических условий арктической зоны, их повторяемости и пространственного распределения в арктическом регионе авторами использовался архив метеорологических данных, включающий в себя данные наблюдения на авиаметеорологической станции (АМСГ) «Диксон» (остров Диксон, Таймырский муниципальный район, Красноярский край) из журналов фактической погоды АВ-6 за период с 1983 года по 2015 год включительно в период регламента работы аэропорта «Диксон», а также

данные наблюдений с сети полярных метеорологических станций района метеообеспечения АМСГ Диксон [3,4]; и снимки ИСЗ в инфракрасном и телевизионном диапазонах спектра.

Анализ архивных метеорологических данных показал, что из всего комплекса метеорологических факторов, влияющих на полёт ВС, ветер является одним из наиболее важных. Целесообразно использовать сильный ветер, если он попутный, а при наличии зоны встречного ветра, наоборот, обойти эту зону, чтобы избежать значительного увеличения продолжительности полета и, соответственно, большего расхода топлива.

Так же авторами были сделаны выводы о том, основными факторами, определяющими степень сложности метеорологических условий, являются низкие облака и ограниченная видимость, которые и составляют в совокупности минимум погоды. При полетах в арктических условиях устанавливаются следующие минимумы: в открытом море видимость не менее 2000 м, высота нижней границы облачности (ВНГО) - не менее 150 м; вблизи береговой линии материка, островов и архипелагов видимость не менее 5000 м при отсутствии стоковых ветров, ВНГО - не менее 200 м.

В высоких широтах грозы почти не наблюдаются, но туманы и низкая облачность отмечаются часто. Высокая прозрачность атмосферы обуславливает хорошую видимость. Однако приземные инверсии и скопление под ними мельчайших ледяных кристаллов и капелек воды создают условия для возникновения световых столбов и других оптических явлений гало [5,6]. Кроме того, при низкой температуре в условиях штилевой погоды после взлета самолета на взлётно-посадочной полосе может образоваться туман (иногда туман образуется за автомашиной, передвигающейся по аэродрому), эволюцию которого предсказать практически невозможно.

Для метеорологического обеспечения безопасности полетов большое значение имеет информация о низких облаках (высотой менее 200 м).

Для арктических районов характерен максимум повторяемости низких облаков летом. Таяние снега и льда летом, увеличение площади разводий в арктических морях приводит к повышению влажности воздуха и как следствие увеличению повторяемости низких облаков.

Пространственная изменчивость высоты облаков существенно зависит от синоптической обстановки, особенно при смене внутримассовых облаков фронтальными. Высокая изменчивость нижней границы облаков создает значительные затруднения при взлете - посадке воздушных судов.

Формирование арктического воздуха происходит в высоких широтах зимой практически над всей территорией за Полярным кругом; а летом - преимущественно надо льдами Арктики.

Низкая температура воздуха, довольно высока его сухость, снежная и ледяная подстилающая поверхность обуславливает хорошую видимость в арктическом воздухе. При безоблачной погоде при ярко-голубом небе можно видеть объекты на большом расстоянии.

В морском арктическом воздухе видимость несколько лучше, чем в континентальном. При отсутствии осадков, тумана и дымки воздух Арктики очень чист и прозрачен. В арктическом воздухе иногда могут возникать локальные области ухудшенной видимости за счет облачности. Туманы образуются в тех местах, где возникают трещины во льдах и появляется открытая вода. Температура водной поверхности всегда выше температуры воздуха, и это приводит к появлению в данном месте тумана испарения. Более обширные области туманов возникают в период полярного дня.

Дни с осадками и дымкой в восточном секторе Арктики составили в среднем 36%. Меньше всего снегопадов и дождей встречается в июле (16%) и в сентябре (15%). Продолжительность туманов 4-9 ч составляет 83%. Плотные туманы (видимостью менее 200 м) отмечаются довольно редко. В 81% случаев видимость в туманах составляет 400 - 1000 м.

Таким образом, за счёт географического расположения, в Арктике наблюдается специфический годовой и сезонный ход метеорологических величин, очень короткое лето и продолжительная зима.

В летний период отмечается большая повторяемость таких опасных и неблагоприятных для авиации явлений:

- низкой облачности,
- туманов, дымок,
- выпадения переохлаждённых осадков.

В зимний период отмечается большая повторяемость:

- ветров,
- явлений, ухудшающих видимость (снегопады, метели),
- низкие температуры (особенно при повышенной влажности).

Велико влияние полярного дня/ночи на радиационный баланс и соответственно суточный и годовой ходы метеорологических параметров. При обеспечении работы воздушного транспорта необходим учёт вышеописанных факторов, а также специфики выполнения полётов в Арктике.

При подготовке и выполнении полётов в арктических районах необходимо учитывать специфику полётов ВС в данном регионе, которая состоит в следующем:

- однообразная и безориентирная местность,
- неустойчивость метеорологической обстановки, низкие температуры, большая повторяемость опасных для авиации явлений погоды;
- наличие полярных дня и ночи – особенность естественного освещения;
- большое магнитное склонение с резким его изменением на малых расстояниях, наличие магнитных аномалий и магнитных бурь;
- неустойчивость распространения радиоволн – плохое прохождение радиосвязи [7].

Наличие больших пространств над северными морями и Северным ледовитым океаном обуславливает перемещение барических образований с большими скоростями по причине отсутствия значительных орографических препятствий. Это приводит к быстрой смене погоды. Большое магнитное склонение в арктических районах обусловлено расположением магнитного полюса в районе Гренландии, севера Канадского архипелага в отличие от расположения истинного географического Северного полюса Земли, за счёт значительного расстояния между этими полюсами магнитное склонение в арктических районах может достигать больших значений порядка 30-40 градусов и более.

Особенности наблюдательной сети и сети станций слежения за погодой (ГМС, АЭ, АМСГ, РЛС):

- чрезвычайно редкая сеть гидрометеорологических станций (ГМС),
- ещё более редкая сеть станций аэрологического зондирования атмосферы (АЭ),
- радиолокационные станции (РЛС) тоже единичны,
- АМСГ также редки из-за малого количества аэродромов в Арктике (расположены на больших расстояниях друг от друга).

Учитывая специфику проводимых наблюдений и передачи метеоинформации, стоит отметить, что данные поступают только каждые 3 часа, не чаще; данные АЭ зондирования атмосферы – только 2 раза в сутки.

Очевидно, что имеющихся метеорологических данных явно недостаточно для надёжного прогнозирования метеорологических условий.

В тёплый период года опасные явления туман и низкая облачность представляют наибольшую опасность для полётов авиации, так как имеют наибольшую повторяемость, поскольку наибольшее количество полётов осуществляется в летнюю навигацию, то прогнозирование этих метеопараметров представляет наибольший интерес.

Таким образом, при метеорологическом обеспечении полетов в арктических районах также необходимо тщательно анализировать данные бортовой погоды от экипажей ВС, находящихся в воздухе, и данные МРЛ и МИСЗ. Кроме того, необходим детальный анализ штормовой информации, поступающей на АМСГ. Обязательным является изучение и учёт местных особенностей возникновения опасных для авиации явлений погоды.

Перспективными направлениями развития метеорологического обеспечения полётов воздушных судов в арктических районах являются:

- совместное использование всех, имеющиеся в наличии данных с сети наземных метеорологических станций и спутниковой информации;
- применение методов физико-статистической и синоптической интерпретации результатов гидродинамических моделей атмосферы для прогнозирования опасных и неблагоприятных для авиации явлений погоды.

Следует отметить, что использование гидродинамических прогнозов погоды обеспечивает: значительную объективность прогноза, облегчение труда синоптика; большую заблаговременность, возможность совершенствования методов прогноза на основе новых теоретических знаний о динамике и физике атмосферы с использованием новых информационных технологий.

В настоящее время на основе применения численных методов прогнозирования полей метеорологических величин возможно осуществлять с достаточной степенью точности оперативное кратко- и среднесрочное прогнозирование полей давления, геопотенциальных высот, вертикальных токов и траекторий воздушных частиц. Поэтому авторы считают целесообразным для решения задач прогнозирования элементов погоды, применять совместно как методы статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей атмосферы, так методы синоптической климатологии.

Использование разработанных авторами методов при организации метеорологического обеспечения полётов воздушных судов в Арктике позволит повысить безопасность и экономичность авиаперевозок.

Литература

1. Баранов, А.М. *Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полётов*. М. Транспорт, 1993 г.
2. Астапенко П.Д. *Авиационная метеорология*. М. Транспорт, 1985 г.
3. *Климатические особенности зоны метеообеспечения АМСГ «Диксон»*. о-в Диксон. 1986 г.
4. *Физико-географическое и синоптико-климатическое описание зоны метеообеспечения авиаметстанции Челюскин Диксонского УГКС*. Диксон. 1984 г.
5. Наровлянский Г.Я. *Основные вопросы теории климатической обработки метеорологических наблюдений*. ЛКВВИА им. Можайского. Л. 1987 г.
6. Наровлянский Г.Я. *Авиационная климатология*. Л. Гидрометиздат. - 1968 г.
7. *Особенности самолетовождения в Арктике и Антарктике*. М. 2009 г.

КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ И ПРИЛЕГАЮЩИЕ МОРСКИЕ АКВАТОРИИ КАК ПРЕДМЕТ ГЕОКАРКАСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ И СУХОПУТНЫМИ ООПТ СУБАРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

В.В. Денисов¹, М.В. Светлова²

¹ Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия

² Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск, Россия

KOLA PENINSULA AND ADJACENT MARINE WATERS AS A MATTER GEOCARCASS MODELING IN THE INTERESTS OF RATIONAL MANAGEMENT OF MARINE AND TERRESTRIAL PROTECTED NATURAL AREAS SUB-ARCTIC REGION

V.V. Denisov¹, M.V. Svetlova²

¹ Murmansk marine biological institute of the Kola scientific center of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

² Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

Представлена общая схема экологического каркаса Мурманской области с прилегающими прибрежными зонами. Оценены возможности информационного обеспечения и реализации геокаркасного моделирования акватерриториального объекта.

The General scheme of the ecological framework of the Murmansk region with adjacent coastal zones is presented. The possibilities of information provision and the implementation of geomarketing modeling akvaterrariuma object.

Мурманская область - одна из наиболее крупных и экономически развитых территорий субарктического региона России. Выгодное географическое положение в относительной близости к промышленно развитым регионам России, возможность круглогодичной навигации с прямыми выходами на международные морские торговые пути в сочетании с особым геополитическим положением и уникальной по составу и запасам минерально-сырьевой (включая шельфовую зону) и рыбопромысловой базой обусловили формирование на территории области крупного индустриально-хозяйственного комплекса.

Активное промышленное освоение Мурманской области и прибрежно-морских зон омывающих ее морей наряду со слабой устойчивостью природных комплексов к антропогенной нагрузке в силу молодости (около 10 тыс. лет назад территория была покрыта ледником) и особенностей природно-климатических условий (дефицита тепла, колебаний продолжительности светового дня от 0 до 24 часов в течение года и т.д.) обуславливают необходимость поиска баланса между эксплуатационными и природоохранными задачами и функциями.

С целью охраны окружающей среды и рационального природопользования в Мурманской области создана и поддерживается сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ), в настоящее время состоящая из 74 единиц [1], общей площадью 1912,5 тыс. га (включая морские

акватории), среди которых Лапландский государственный биосферный заповедник, государственный природный заповедник «Пасвик», Кандалакшский государственный природный заповедник. Последний относится к морским ООПТ (74,2% площади приходится на морскую акваторию), баренцевоморские прибрежные и островные участки которого являются резерватом мест обитания морских, водоплавающих и околоводных птиц, в первую очередь, гаги.

Особенности территориально-акваториального устройства мурманского региона, обусловленные в соответствии с Конституцией РФ различиями административной подведомственности его частей (сухопутная часть находится в региональном ведении, морская – в федеральном), предопределяют применение нетривиальных подходов для решения задач рационального природопользования и управления морскими и сухопутными ООПТ [2]. Одним из таких решений может являться геокаркасное моделирование сложного акваториального объекта с помощью функционала ArcGIS.

Понятие «экологический каркас территории» не имеет общепринятой однозначной трактовки в геоэкологии. В обобщенном виде под экологическим каркасом территории понимается совокупность взаимосвязанных природных комплексов, образующих единую систему пространственных элементов особой экологической ответственности (узлов, транзитных коридоров и буферных зон), обеспечивающую экологическую стабильность территории. Экологический каркас как инструмент сохранения функциональной целостности территориальной системы способствует достижению стратегического баланса между деятельностью человека и поддержанием воспроизводящих возможностей биосферы, являющегося одним из важнейших критериев устойчивого развития [3].

Алгоритм построения экологического каркаса в качестве предварительных шагов может включать эколого-функциональное зонирование всей акваториальной области [4] и ее разделение на два сегмента – эксплуатируемый (промышленный) и охраняемый. Для мурманского региона удельный вес территорий данных сегментов в общей площади области составляет 23,29 % и 13,3 %, соответственно.

В рамках геокаркасного моделирования нами выделены пространственные элементы экологического каркаса мурманского региона:

- узлы каркаса - заповедники, участки прибрежной зоны Баренцева и Белого морей с ареалами концентрации редких и исчезающих видов животных, рыб и птиц, занесенных в Красные книги различных рангов (кильдинской трески, обыкновенной гаги, моржа атлантического и других видов) [5], и др.;
- транзитные коридоры - озерно-речная система области, пути миграции некоторых видов животных, морских и проходных рыб и др.);
- буферные территории - тундровые ландшафты и лесные массивы вокруг узлов и транзитных коридоров каркаса и др.

Ряд элементов экологического каркаса мурманского региона представлен на карте (рис. 1).

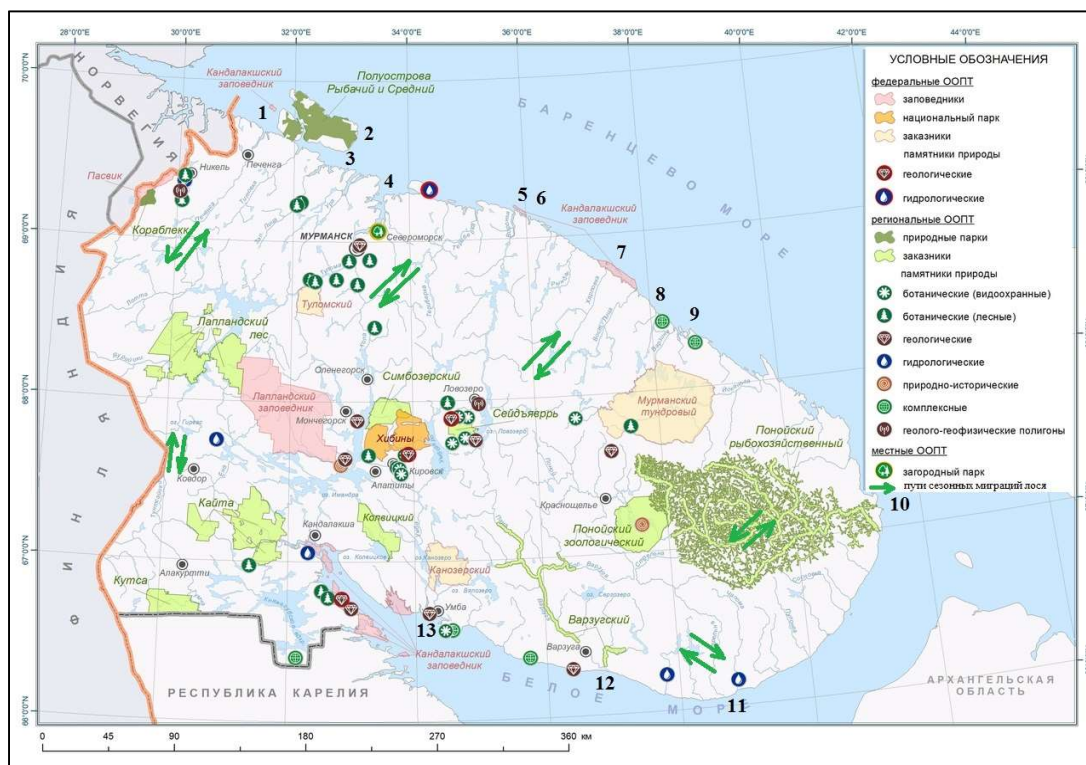


Рис. 1. Элементы экологического каркаса Мурманской области и прибрежно-морских зон Баренцева и Белого морей

На карте цифрами обозначены зоны особой чувствительности в прибрежье Кольского полуострова [5]: архипелаг Айновы острова (1), мыс Городецкий (2), акватория Мотовского залива (3), Кольский залив (4), устьевая зона реки Вороньей (5), архипелаг Гавриловские острова (6), архипелаг Семь островов (7), берег губы Дворовой и мыс Дворовой (8), губы Ивановская и Дроздовка (9), устьевая зона реки Поной и прилегающее побережье (10), устьевая зона реки Стрельна (11), устьевая зона реки Варзуга (12) и Кандалакшский залив (13). Ряд зон особой чувствительности входит в состав заповедных ООПТ.

Для идентификации элементов экологического каркаса были использованы карты ООПТ [6], охотничье-промысловых зверей и птиц, растительности, распространения зверей и птиц по зонам, рыб внутренних водоемов, миграций лососевых рыб и районов обитания и морского зверя, распространения сельди и другие. Данные тематические карты использовались для создания редактируемых слоев, посредством оверлея которых осуществлялось моделирование экологического каркаса.

Экологический каркас рассматриваемой географической области может стать неотъемлемой частью современных представлений о системе «природа – общество», которая функционирует и развивается во взаимосвязи в пространственно-временном континууме. Развитие понятия «геоэкологический каркас» имеет важное значение для решения вопросов пространственного планирования в прибрежно-морских пространствах Арктической (субарктической) и Тихоокеанской России [7]. Предложенная структура экологического каркаса Мурманской области и прибрежно-морских зон Баренцева и Белого морей может быть успешно использована в интересах рационального управления морскими и сухопутными особо охраняемыми природными территориями.

Литература

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2018 году [Электронный ресурс] / Официальный портал Правительства Мурманской области. – Режим доступа: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/>
2. Светлова, М.В. Комплексная оценка эколого-географического положения приморских территорий (на примере Мурманской области) [Текст]: дис ... канд. геогр. наук: 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле): утв. 10.02.2015 / Светлова Марина Всеволодовна. – Мурманск, 2014. – 169 с.
3. Нарбут, Н.А. Устойчивое развитие территории: роль экологического каркаса // Вестник ДВО РАН. – 2019. – № 1. – С. 90 – 96.
4. Светлова М.В. Экологические функции территории Мурманской области // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Часть II: Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды; Актуальные проблемы информатизации науки и производства. 14 – 17 апреля 2011 г., Тольятти. Тольятти: Волжский университет им. Татищева. - 2011. - С. 135 – 142.
5. Денисов В.В., Ильин Г.В. Подходы к обеспечению экологической безопасности Баренцево-Карского региона при развитии морской нефтегазодобычи // Мурманшельфинфо. - Март, 2009. - № 1. - С. 17 – 22.
6. Правительство Мурманской области. Официальный сайт. – Режим доступа: <https://mpr.gov-murman.ru/activities/okhrana-okrzhayushchey-sredy/09.oopt/index.php>
7. Бакланов П.Я. Морское пространственное планирование: теоретические аспекты // Балтийский регион. - 2018. - Т. 10. - №2. - С. 76 - 85.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СТОК С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ КАМЫ

Р.Г. Джамалов¹, О.С. Решетняк^{1,2}, Т.И. Сафронова¹, К.Г. Власов¹, К.Г. Галагур¹

¹ФГБУН «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Россия

²ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону, Россия

HYDROCHEMICAL RUNOFF AND POLLUTION DEGREE IN THE KAMA BASIN

R. G. Dzhamalov¹, O. S. Reshetnyak^{1,2}, T. I. Safronova¹, K. G. Vlasov¹, K. G. Galagur¹

¹Water Problems Institute of RAS, Moscow, Russia

²Hydrochemical Institute, Rostov-on-don, Russia

Аннотация. Выполнен анализ пространственно-временной изменчивости водных ресурсов и стока рек в бассейне Камы и проведено районирование водосборной территории по значениям модуля стока химических веществ и выделены наиболее напряженные водосборы малых и средних рек.

Annotation. The analysis of spatio-temporal variability of water resources and river flow in the Kama basin was carried out, the catchment area was zoned according to the values of the chemical flow modulus and the most stressed catchments of small and medium-sized rivers were identified.

Введение. Бассейн Камы расположен на востоке Европейской части России в пределах Восточно-Европейской равнины и Уральской горной страны. В его пределах полностью или частично находятся территории 11 субъектов Российской Федерации [1].

Природные условия, под воздействием которых формируется химический состав воды рек бассейна р. Кама, достаточно разнообразны. В частности, для почвенного покрова характерно большое распространение подзолистых и дерново-подзолистых почв. В верховьях рек значительную часть водосборных площадей слагают горно-таежные и горно-луговые почвы совместно с горными черноземами.

На территории многих бассейнов широко распространены карстовые массивы, а в руслах отдельных рек выходят крупные карстовые родники. В полосе известняков и доломитов развиты карстовые воронки, особенно в верхней части бассейнов рр. Вишера, Косьва, Белая и вдоль берегов рр. Чусовая, Уфа, Ай, Юрюзань, Чермасан, Дема, Уршак.

Режим стока рек бассейна Камы. Практически полностью бассейн р. Кама расположен в зоне избыточного увлажнения и отличается высокой водоносностью рек. Кама в верховье сравнительно маловодна и становится полноводной после впадения в нее р. Вишера и крупнейших левобережных притоков Колва, Яйва, Сытва, Чусовая, Белая, Уфа и др. Водный режим большинства рек характеризуется длительной устойчивой зимней меженью, хорошо выраженным весенним половодьем и летне-осенними дождевыми паводками. Формирующиеся в этих природных условиях поверхностные воды бассейна р. Кама в основном характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом и минерализацией около 400 мг/л [2].

Для изучения пространственно-временной изменчивости водных ресурсов и стока рек использованы данные с 68 гидрометрических постов с периодом наблюдений 1946-2015 гг. и площадью водосбора от 2000 до 50 000 км², относительно равномерно распределенных в пределах бассейна.

Изменения среднего многолетнего годового стока за 1978-2015 гг. по сравнению с 1946-1977 гг. составили около 10–15% для большей части бассейна Камы. При этом различия в условиях формирования стока рек в лесной и лесостепной зонах бассейна проявляются в разной интенсивности изменения стока рек под влиянием климатических вариаций [3].

Внутригодовое распределение стока рек бассейна определяется в основном климатическими особенностями территории, а также составом и водными свойствами пород зоны аэрации, режимом и величиной подземного стока. Для большей части бассейна Камы рек максимум весеннего половодья приходится на середину апреля, а межень продолжительная и низкая по водности [4]. Наименьший сток наблюдается зимой, когда реки переходят на подземное питание. Зимний сток меньше летне-осеннего и изменяется от 10-15 мм на юго-

востоке до 35-40 мм на северо-западе. Увеличение доли зимнего стока за последние тридцать лет составляет 40-60%.

Гидрохимический сток и его изменчивость в бассейне Камы. Антропогенная нагрузка в бассейне реки Кама связана в основном со сточными водами. Наибольшее количество сточных вод сбрасывается в бассейн Волги и составляет свыше 18000 млн. м³/год, что составляет около 30 % от объема сточных вод, образующихся на всей территории России. Основную нагрузку сточными водами испытывают реки Ока (16,1 %), сама Волга (7,1 %) и Кама (3,6 %) [5].

По стоку хлоридов отмечается повышенные значения модуля стока для левых горных притоков Камы – рр. Косьва, Яйва, Колва и Вишера, а также для бассейна реки Белая. Повышенные значения модуля стока сульфатов характерны для водотоков южной части водосборного бассейна Камы – притоков Белой.

Сток биогенных веществ определяется изменчивостью минеральных форм азота (нитраты, нитриты и ионы аммония). Достаточно равномерно изменяется гидрохимический сток азота аммонийного и нитритного, повышенные значения модуля их притока приурочены к отдельным малым водосборам в бассейне р. Белая. В тоже время максимальный сток нитратов характерен для всего бассейна Белой.

Сток органических веществ характеризуется пространственной неоднородностью в изучаемом бассейне. Так, повышенный сток легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) характерен для р. Нугуш; трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) – рр. Яйва, Язьва и Вишера, а также для рр. Уфа и Юрзань. Наибольшие значения модуля стока нефтепродуктов в бассейне Камы характерны для притоков р. Белая (рр. Ай, Нугуш, Уфа и Юрзань), что вероятнее всего обусловлено высокой антропогенной нагрузкой в бассейне и высокой долей техногенной составляющей стока.

Для соединений железа наибольший сток приходится на притоки восточной части бассейна Камы. Выявленные высокие значения стока железа вероятнее всего имеют природный характер за счет вымывания солей железа из подстилающих пород, особенно в горной части водосбора. Сток соединений меди в бассейне реки отличается достаточной однородностью, за исключением истока реки Белая и её притока р. Нугуш (самые высокие значения в бассейне более 1,5 тонн/год с км²).

Оценка изменчивости химического состава и степени загрязненности воды в бассейне Камы проведена, в том числе, с использованием интегрального показателя – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) [6].

Обобщение многолетних данных позволило заключить, что в целом качество речных вод в бассейне реки Кама характеризуется 3-м («ЗА» и «ЗБ» – «загрязненная» и «очень загрязненная») и 4-м классами качества вод («4А» - «грязная»). Выделяются три группы речных участков, для которых характерны разные тенденции изменения качества воды.

Первая группа рек характеризуется 3-м классом качества категории «А» и «Б», вода которых имеет наименьшую степень загрязненности за многолетний период («загрязненная» и/или «очень загрязненная») – это участки притоков Камы рр. Вишера, Колва, Язьва, Вятка и Иньва. Эта группа включает речные участки в бассейне Камы, которые имеют не только наименьшую степень загрязненности воды, но и небольшое количество загрязняющих веществ, выходящих в разряд КПЗ – марганец и железо. В единичных случаях в разряд критических показателей загрязнения на этих участках выходили нефтепродукты и фенолы.

Вторая группа рек или их участков имеет стабильно высокую степень загрязненности воды, соответствующую 4-му классу качества («грязная»), и включает следующие участки рек: малые притоки Камы – р. Меша (с. Пестрецы), р. Иж (ниже г. Ижевск), р. Берсут (с. Урманчеево) и р. Степной Зай (г. Альметьевск). Также большая часть участков реки Белая в пунктах наблюдений г. Белорецк, Салават, Стиерлитамак, Уфа, Дюртюли и р.п. Прибельский, и р. Быстрый Танып у д. Алтаево. Речные воды этой группы характеризуются широким перечнем критических показателей загрязненности – это соединения железа, марганца, меди и нефтепродукты, которые чаще всего являлись КПЗ; азот аммонийный, нитритный, органические вещества, фенолы и соединения цинка периодически выходили в разряд КПЗ для этих участков рек.

Качество воды в третьей группе, включающей половину из исследуемых участков рек бассейна Камы (49 %), характеризуется переходной степенью загрязненности воды от «очень

загрязненной» к «грязной» или наоборот, а класс качества воды соответственно варьирует между 3-им и 4-ым. Критическими показателями загрязненности, высокие концентрации которых ухудшали качество воды, были марганец, железо, нефтепродукты, реже медь, фенолы и ОВ. Самым распространенным КПЗ для этих участков рек являются соединения марганца и аномально высокие концентрации железа, что обусловлено сочетанием природного и техногенного факторов.

Выводы. Бассейн р. Кама характеризуется хорошей обеспеченностью водными ресурсами и достаточно равномерным их размещением по территории и практически полностью расположен в зоне избыточного увлажнения. Формирующиеся в этих природных условиях поверхностные воды бассейна в основном характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом и минерализацией около 400 мг/л. Широкое распространение карстовых массивов обуславливает формирование в отдельных частях бассейна вод сульфатного типа.

Водный режим большинства рек характеризуется длительной устойчивой зимней меженью, хорошо выраженным весенним половодьем и летне-осенними дождевыми паводками. Реки бассейна имеют преимущественно снеговое питание, и для них характерно крайне неравномерное внутригодовое распределение стока (от 50 до 70% приходится на весенний период).

Гидрохимический сток рек отличается пространственной неоднородностью. Повышенные значения модуля стока характерны для левых горных притоков Камы и для бассейна реки Белая по хлоридам, сульфатам, биогенным и органическим веществам, нефтепродуктам, соединениям железа и меди.

В целом для речных вод бассейна Камы характерна высокая степень загрязненности воды (от 3-го «загрязненная и очень загрязненная» до 4-го класса качества «грязная и очень грязная»), которая обусловлена целым комплексом загрязняющих веществ, особенно критическими показателями загрязненности (КПЗ) – марганцем, железом, нефтепродуктами, органическими веществами, реже сульфатами, соединениями меди и цинка, фенолами.

Бассейн реки Кама относится к наиболее загрязненным водосборам в пределах Волжского бассейна. В последние годы в бассейне реки Кама отмечается снижение уровня антропогенной нагрузки. Но, несмотря на это, улучшения качества поверхностных вод не наблюдается. Во временной динамике качества воды на участках рек в бассейне Камы выявлено две основные направленности. Первая – это тенденция улучшения качества воды с 4-го класса на 3-й на большинстве исследуемых участков реки Кама и её притоков (кроме бассейна реки Белая) и вторая – это стабилизация качества воды на уровне 4-го класса качества в большинстве пунктов наблюдения на р. Белая и её притоке р. Быстрый Танып.

Благодарность. Работа проводилась в рамках научной программы Института водных проблем, проект № АААА-А18-118022090056-0.

Литература

1. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / под редакцией Георгиевского В.Ю. - Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015.
2. Качество поверхностных вод Российской Федерации // Ежегодник 2016 г. Ростов-на-Дону, 2017. 556 с.
3. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: формирование, распределение, использование / Под ред.: Р.Г. Джамалова, Н.Л. Фроловой // М.: «ГЕОС», 2015. – 320 с.
4. Малые реки волжского бассейна /Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Географический ф-т МГУ, 1998. 234 с.
5. Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.5, №2, 2003. С. 268-277.
6. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям; введ. 2002-12-03.–СПб.: Гидрометеоздат, 2003. – 49 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ ВОДНОГО ОБЪЕКТА: АКСИОЛОГИЯ И ОЦЕНКА

В.В. Дмитриев¹, Н.В. Зуева², А.Н. Огурцов¹, Е.А. Примак²

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет». Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

ECOLOGICAL STATUS AND ENVIRONMENTAL WELL-BEING OF A WATER OBJECT: AXIOLOGY AND ASSESSMENT

V.V. Dmitriev¹, N.V. Zueva², A.N. Ogurtsov¹, E.A. Primak²

¹St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Рассматриваются теоретико-методологическое обоснование, математический аппарат и модели интегральной оценки экологического статуса и экологического благополучия водных объектов

Theoretical and methodological substantiation, mathematical apparatus and models for the integrated assessment of the ecological status and ecological well-being of water bodies are considered

Введение. Исследование посвящено разработке теории, методологии, методов интегральной оценки экологического статуса и экологического благополучия сложных систем в природе и обществе [1]. Актуальность исследований для водной проблематики обусловлена необходимостью принятия, доработки и адаптации Директивы Европейского парламента и Совета по установлению рамок действий Сообщества в области водной политики (Directive of the European Parliament and of the Council on setting the framework for Community action in the field of water policy). Основная цель Директивы в ЕС представляется, как достижение экологического благополучия или высокого экологического статуса для всех водных систем [2].

Для РФ тема не менее актуальна в связи с принятием Распоряжения Правительства РФ от 27.08.2009 N 1235-р (ред. от 17.04.2012) "Об утверждении "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года", разработкой "Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642"; систематизацией знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами в связи с развитием цифровизации в науках о Земле, природе, обществе. В перечень «Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации» входят «науки о жизни» и «рациональное природопользование», а в «Перечень критических технологий Российской Федерации» вошли «технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения». Эти исследования, как и в странах ЕС, касаются создания или развития гидрологического и гидроэкологического (водно-экологического) инжиниринга под которыми понимается систематизация знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами в системе «водный объект – человек (общество)» (антропоцентризм) или проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами в системе «водный объект – организмы-гидробионты» (биоцентризм) или их экосистемами [3].

Для водной проблематики обозначенные в названии статьи исследования нацелены на разработку теории, методологии, математического аппарата и моделей интегральной оценки экологического статуса и экологического благополучия водных объектов для оценки их современного и перспективного состояния, выделения гидроэкорегиионов в геопространстве и оценки степени антропогенной трансформации водных объектов и их экосистем. Содержанием начального этапа исследований являются: 1- обоснование теоретико-методологических положений интегральной оценки экологического (геоэкологического) статуса и экологического благополучия водных объектов для оценки их современного и перспективного состояния с учетом неопределенности задания критериев и приоритетов оценивания; 2 - разработка и апробация моделей интегральной оценки трофического статуса (продукционного потенциала),

качества и токсического загрязнения воды (и донных отложений), потенциальной устойчивости (устойчивости к изменению параметров естественного режима); экологического благополучия водных объектов; 3 - разработка математического аппарата и моделей (моделей-классификаций) интегральной оценки экологического статуса и экологического благополучия разномасштабных водных объектов для оценки их современного и перспективного состояния или оценки тенденций и перспектив их изменения [4].

Материалы и методы. Под экологическим статусом (ЭС) нами понимается эмерджентное (интегративное) свойство водного объекта, характеризующее сочетание его способности продуцировать органическое вещество (продукционный потенциал), качества и токсического загрязнения воды, потенциальную устойчивость (устойчивость к изменению параметров естественного режима). Под геоэкологическим статусом (ГЭС) понимается сочетание способности антропогенно трансформированного водного объекта продуцировать органическое вещество (продукционный потенциал), качества и токсического загрязнения его воды и донных отложений, потенциальной устойчивости (устойчивость к изменению параметров естественного режима). Таким образом, ЭС водоема оценивается по следующим группам (блокам) характеристик: 1-трофический статус; 2-качество и токсическое загрязнение воды; 3-потенциальная устойчивость водоема (устойчивость 1-го типа или адаптационная устойчивость).

ГЭС водоема предлагается оценивать по следующим группам (блокам) характеристик: 1-трофический статус; 2-качество и токсическое загрязнение воды; 3-токсическое загрязнение донных отложений; 4-потенциальная устойчивость водоема (устойчивость 1-го типа или адаптационная устойчивость). Возможен учет ЭС по более сложной схеме для системы «водоем + водосбор». Тогда количество блоков пропорционально возрастет за счет учета одноименных блоков для водосбора.

Для водотоков или систем «река-водосбор» оценке подлежат: 1-продукционный потенциал водотока и водосбора, 2-качество воды, донных отложений в водотоке и качество почвы на водосборной территории, 3-токсическое загрязнение воды, донных отложений в водотоке и почвы на водосборе, 4-потенциальная устойчивость (устойчивость 2-го типа или регенерационная устойчивость) для водотока и потенциальная устойчивость ландшафта (на водосборе). Для оценки ГЭС возможно введение дополнительных блоков, отражающих предысторию воздействия на объект, масштаб и характер воздействия, темпы и пространственные особенности антропогенного воздействия на водоем или водосбор, а также риски (мультириски) наступления ОГЯ или ОПЯ или опасность их наступления для водотока и водосбора [2].

Экологический и геоэкологический статус выражаются величинами интегральных показателей ИПЭС и ИПГС и представляют собой одновременно многокритериальные и многоуровневые оценки отмеченных свойств (качеств) водоема, водотока, систем «водоем + водосбор», «водоток + водосбор». Такая оценка ориентирована на 5 классов: 1 класс – «высокий статус», 5 класс – «низкий статус», и промежуточные классы, которые в зависимости от предпочтений авторов могут иметь разные названия, например, 2 – «статус выше среднего», 3 – «средний статус», 4 – «статус ниже среднего».

Для термина экологическое благополучие (ЭБ) нами предлагались различные определения [2-8]. Например, под экологически благополучной природной системой понималась система, способная продуцировать органическое вещество в соответствии с исторической фазой развития, выполнять социально-экономические функции и функции жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводство), являющаяся разнообразной по составу биоты и абиотической среды, чистой (по химическому составу воды и гидробиологическим критериям качества воды), устойчивой к изменению параметров естественного (и антропогенного) режимов, способной к самоочищению, обладающей низкой скоростью загрязнения, ацидификации и способная сохранять названные свойства и функции достаточно долго в изменяющихся условиях среды и жизни организмов. В данном определении сделана попытка объединить био- и антропоцентризм в подходе к исследованию ЭБ. Понятно, что разная аксиология ЭБ будет обуславливать и разную аксиометрию, на основе которой можно создавать разные модели (модели-классификации) для интегральной оценки ЭБ.

В био- и экоцентристском подходе ЭС и ЭБ акцентируется использование водного объекта для жизни организмов-гидробионтов или для сохранения экосистемы в целом, в

антропоцентристском подходе – способность объекта выполнять социально-экономические функции без нарушения функций жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства).

В основе построения интегральных показателей ЭС и ЭБ лежат авторские разработки анализа и синтеза показателей в условиях информационного дефицита [9,10]. Алгоритм построения интегрального показателя эмерджентного свойства сложной системы (в нашем случае водного объекта) приводится нами, например, в [3], а обсуждение некоторых результатов исследований в [3,4,6-8] и в докладах С.А. Седовой и Д.Р. Амаро Медина, заявленных на данную конференцию. Ниже остановимся на некоторых важных выводах, полученных при обсуждении полученных результатов.

Обсуждение результатов. Как показали первые модели построения ЭС и ЭБ для водных объектов [5,7] и работа с ними, наличие многокритериальности и многоуровневости является необходимым условием выполнения оценочных исследований. Многокритериальность сопровождается выделением необходимых и достаточных критериев оценки, а многоуровневость отражает эмерджентный характер самого процесса оценивания интегративного свойства, контринтуитивность исследователя при попытке оценить эмерджентное свойство сложной системы на основе покомпонентного оценивания или сохранение минимального набора факторов, влияющих на интегративное свойство сложной системы, участвующее в создании «статусного портрета» системы.

Построение оценочных шкал (аксиометрия, экологическая квалиметрия) является важнейшим этапом выполнения исследований. Претензия на «глобальность» или универсальность шкал, на первый взгляд, обуславливает универсальность самих моделей, но в региональном смысле, избыточна, поскольку результаты выполнения экспериментов с увеличением нагрузок на такой модели приведут к тому, что система не будет после оказанного воздействия переходить в другой класс (иллюзия устойчивости к воздействию), но на самом деле это происходит потому, что в модель заложены достаточно большие диапазоны изменения характеристик внутри классов. Логичнее, поэтому предлагать модель-классификацию в соответствии с масштабом системы и ее региональными особенностями и не использовать модель-классификацию для других (бóльших) масштабов и региональных особенностей.

Задание весовых множителей внутри блоков и между блоками при свертке показателей на основе учета «*ннн*-информации» (неполная, неточная, нечисловая информация) дает исследователю возможность задать приоритет одного параметра над другим (другими), или одного блока над другим (другими) и выявить важность задания приоритетов в получении итогового результата. Этим же приемом задается изменение приоритетов в природопользовании или социальной и экономической сфере, которое отразится на статусном образе системы (объекта).

Результаты интегральной оценки ЭС и ЭБ целесообразно выполнять для длительно временных рядов наблюдений, выявляя тенденцию их изменения. При этом, в соответствие с нашим подходом, допускается, что одно эмерджентное свойство может влиять на другое с определенным весом, который может быть изменен при изменении приоритетов регионального развития. Например, высокая устойчивость объекта может повышать его экологический статус, а повышение экологического статуса объекта может отражать тенденцию на рост его экологического благополучия или повышать его стоимость при монетарной оценке природного ресурса. Представляет интерес сравнение «статусных портретов», полученных в разных исследованиях. При этом надо контролировать алгоритм выполнения оценки для того, чтобы не допустить дублирования учета факторов, свойств, блоков. Например, если логика оценочного исследования построена на учете экологического статуса, как составной части ЭБ, то учет устойчивости объекта достаточно выполнить один раз, выделив блок устойчивости из оценки ЭС, или сохранив его в перечне блоков ЭС, но не оценивать повторно при расчете ИПЭБ. Также представляет интерес сравнение результатов интегральной оценки ЭС и ГЭС для обоснования вклада антропогенных эффектов в естественный режим функционирования исследуемой системы. Для этого необходимо разработать алгоритм многопараметрической интегральной оценки состояния антропогенно-трансформированных геосистем, обеспечивающего существование конкретных сообществ живых организмов и человека (общества), с целью выделения антропогенной составляющей и последствий этих изменений на фоне изменения природных процессов.

Заключение. Рассмотрены теоретико-методологические положения интегральной оценки экологического (геоэкологического) статуса водного объекта. Оценка выполняется на основе метода сводных показателей или рандомизированных сводных показателей и их современных версий АСПИД и APIS [10] с учетом использования *ннн*-информации о параметрах и приоритетах внутри оценочных групп (блоков) и между ними. Основу оценивания составляют два основных этапа: 1-экологическая регламентация (экологическая диагностика) и 2-экологическое нормирование воздействий на объект (систему). В первом случае исследуется состояние системы, предшествующее воздействию, интервалы естественного изменения исследуемых свойств и показателей, во втором случае – ответная реакция системы на внешнее воздействие и состояние системы после воздействия.

Для ключевых объектов на примере гипотетических сценариев и экспериментов с имитационной моделью водной экосистемы [11] показано, что интегральные оценки ЭС и ЭБ с позиции биоцентризма являются более строгими и по величинам ИПЭС и ИПЭБ дают сдвиг примерно на пол класса в сторону ухудшения ЭС и ЭБ по сравнению с другими сценариями.

Исследования выполнялись при поддержке РФФИ, гранты 19-05-00683-а, 18-05-60291-а.

Литература

- [1] Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Устойчивость сложных систем в природе и обществе: методология, оценка, результаты. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 48. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2017: 72-84.
- [2] Амаро Медина Д.Р., Дмитриев В.В. (2019). Интегральная оценка экологического благополучия речных систем. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 64 (2), 162–184. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.201>
- [3] Дмитриев В.В., Пряхина Г.В., Огурцов А.Н., Примак Е.А., Амаро Медина Д.Р. Оценка эмерджентных свойств водных объектов: трофический статус, устойчивость, экологическое благополучие. Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова. Санкт-Петербург, 28-30 марта 2018 г. Под редакцией О.М. Макаревой. *Издательство «Научное знание»*, Санкт-Петербург, 2018. С. 347-354.
- [4] Дмитриев В.В., Четверова А.А., Огурцов А.Н., Амаро Медина Д.Р., Седова С.А., Вакула Е.Н., Кузнецова М.Р., Колупаева А.Д. Экологический статус водоема: аксиология, аксиометрия, оценка. Международная конференция «Озера Евразии: проблемы и пути их решения». Материалы 2-й Международной конференции». Казань, 19-24 МАЯ 2019 г. 2019, с.66-70/
- [5] Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Мьякишева Н.В., Огурцов А.Н., Третьяков Н.В., Хованов Н.В. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. Под ред. В.В. Дмитриева и Н.В. Хованова. Деп. ВИНТИ 01.09.2000, № деп.2342В00, 275 с.
- [6] Дмитриев В.В., Амаро Медина Д.Р., Огурцов А.Н., Добрынина А.С. Оценка экологического статуса системы «река-водосбор»: подходы, методика, результаты. Экология речных бассейнов: Труды 9-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. проф. Т.А. Трифионовой; Владим. гос. ун-т. им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, 2018. С. 46-52.
- [7] Примак Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов. Автореф. канд. дисс. по спец. 25.00.36 - Геоэкология, РГГМУ, СПб, 2009, 24 с.
- [8] Зуева Н.В., Примак Е.А., Урусова Е.С., Зуев Ю.А., Бабин А.В. Оценка экологического благополучия малых рек Ленинградской области // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – СПб, РГГМУ, 2019. – С. 374-375.
- [9] Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996: 196 с.
- [10] Hovanov N., Hovanov K., Yudaeva M. Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert nonnumeric, non-exact and non-complete knowledge. *European Journal of Operational Research*. 2009. 195(3), pp 857-863.
- [11] Tretyakov V.Yu., Dmitriev V.V., Sergeev Yu.N., & Kulesh V.P. Monitoring of an aquatic ecosystem ecological status and assessment of its resistance to anthropogenic impacts by results of simulation 6 July 2019, 19th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2019/Conference Proceedings. Ecology, economics, education and legislation. Ecology and environmental protection. 5.1 ред. Albena, Bulgaria, V. 19. pp. 485-492.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ЭВТРОФИРОВАНИЯ ОХТИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ю.А. Долгобородова, Д.К. Алексеев

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
Санкт-Петербург, Россия

POLLUTION AND TROPHIC STATUS ASSESSMENT OF THE OKHTA RESERVOIR

Yu.A. Dolgoborodova, D.K. Alexeev

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Существуют различные показатели для оценки трофического состояния поверхностных вод, но они, как правило, характеризуются сложностью и высокой стоимостью. В этой статье представлены результаты оценки на основе нового метода мониторинга трофического уровня с использованием численного показателя ITS (Index of Trophic Status). Данный индекс разработан с учетом основных функциональных характеристик любой экосистемы - состояние биотического баланса - и может быть рассчитан с помощью измерения типичных гидрохимических характеристик вод.

There are various indicators for assessing the trophic state of surface waters, but they are usually characterized by complexity and high cost. This article presents the results based on a new method for assessing trophic level using the Index of Trophic Status (ITS). This index is designed taking into account the basic functional characteristics of any ecosystem - the state of biotic balance - and can be calculated by measuring typical hydrochemical characteristics of waters.

Рациональное использование и охрана водных ресурсов от загрязнения и истощения были и остаются одной из важнейших экологических задач [1]. Одной из широко известных проблем является эвтрофикация. Практически это неизбежный и непрерывный процесс, который влияет на водные экосистемы. Основной причиной антропогенной эвтрофикации является чрезмерное поступления биогенных веществ в водоем. Концентрация питательных веществ, в основном азота и фосфора, в воде является основным показателем эвтрофикации. Развитие процесса эвтрофикации является следствием повышения концентрации питательных веществ и зависит от многих абиотических факторов: в основном гидрологических, термических, морфологических и других. Наиболее уязвимы к неблагоприятным последствиям эвтрофикации пресноводные озера и водохранилища; но, в результате интенсивной экономической активности в последние десятилетия, это явление становится все более распространенным в морских водах и проточных водах [2]. Отслеживание процессов эвтрофикации и оценка состояния трофического статуса в воде является чрезвычайно важной задачей с точки зрения исследований и практической значимости.

В основе трофической типизации водных экосистем лежит оценка уровня биопродуктивности, которая является главной функциональной характеристикой водоема. основоположниками биологической классификации озер по уровню их продуктивности стали А.Тинеман и Е. Науман, которые еще в 20-30-х годах XX века показали, что уровень биологической продуктивности имеет тесную взаимосвязь с основными характеристиками водоема.

К числу биохимических показателей трофического статуса водоема относят величину его первичной продукции. основоположником системы классифицирования водоемов по величине первичной продукции является Г.Г. Винберг. Среди биологических показателей трофности водоема выделяется значение величины первичной продукции. В качестве критериев оценки величины первичной продукции выделяют биомассу фитопланктона, содержание хлорофилла в планктоне, содержание органического углерода в воде [3].

Для мониторинга уровня трофности водоемов используется ряд подходов, среди которых учет биологических и биохимических показателей, определение концентрации биогенных веществ, значения растворенного кислорода, водородного показателя и т.д. В мировой литературе описаны многочисленные методы оценки трофического состояния вод. Самыми популярными и применяемыми индексами остаются Trophic State Index (TSI) от Р.Е. Карлсона и Trophic Index (TRIX) от Р.А. Волленвейдера.

Несмотря на тот факт, что сегодня нет недостатка в различных показателях трофности водоема, точная оценка трофического уровня остается весьма сложной проблемой современной гидробиологии. Это связано прежде всего с тем, что оценка одного и того же водоема по различным показателям может дать разный результат. Это привело к необходимости разработки различных интегральных индексов, к числу которых относится индекс ITS (Index of Trophic Status). Таким образом не вызывает сомнений необходимость постоянного мониторинга трофического статуса водоемов, в том числе и Охтинского водохранилища и важность разработки, внедрения и регулярного использования различных систем оценки уровня эвтрофикации.

Охтинское водохранилище находится на территории Ленинградского района на северо-западе Европейской части России. Водоохранилище было образовано в результате подпора уровня воды от плотины, возведенной в русле реки Охта в 9,2 км от устья в 1716 году (по другим данным в 1771 году) для промышленного водоснабжения порохового завода. К 1964 году плотину реконструировали. На сегодняшний день площадь водосбора водохранилища составляет 14,6 км², площадь зеркала водохранилища – 1,08 км², средняя глубина – 2,7 м, максимальная – 6 м. Объем воды, который сосредоточен в водохранилище, равен 2,91 млн.м³ [4].

Основой для работы послужили данные собранные во время прохождения производственной практики студентами РГГМУ на базе кафедры прикладной и системной экологии. Исследования проводились на 3 станциях, расположенных на различных участках Охтинского водохранилища по следующим координатам: 59°58'12,95" С.Ш. и 30° 28'53,43" В.Д., 59°58'20,85"С.Ш. и 30° 29' 19,28" В.Д., 59°58'51,95" С.Ш. и 30° 29' 43,53" В.Д. Во время полевых работ в различные периоды с 2006 по 2019 год проводились комплексные исследования водохранилища по гидрохимическим и гидрологическим показателям.

Оценка экологического состояния водохранилища производилась с помощью индекса трофического состояния (ITS), который рассчитывался по двум основным гидрохимическим показателям (1): величине водородного показателя и содержания растворенного кислорода [5].

$$ITS = \frac{\sum_{i=1}^n pH_i}{n} + a \left(100 - \frac{\sum_{i=1}^n [O_2]_i}{n} \right), \quad (1)$$

где pH_i - величина водородного показателя, измеренная за определённый период,

O_2 – содержание кислорода, выраженное в процентах насыщения,

n – количество измерений,

a – эмпирический коэффициент.

Указанный индекс характеризует состояние продукционно-деструкционного баланса водоема, являющегося важнейшей функциональной характеристикой любых, в том числе и водной, экосистем. Индекс основан на установленной эмпирической зависимости величины водородного показателя рН воды от насыщения ее кислородом, возникающей при эвтрофировании. В упрощенном виде механизм изменения водородного показателя описывается следующим образом: при увеличении скорости фотосинтеза концентрация CO₂ уменьшается, а рН воды, соответственно, увеличивается. Одновременно увеличивается насыщение воды кислородом, и при «цветении» может достигать до 200% и более. Величина рН, рассчитанная по найденным зависимостям для нормального 100%-ного насыщения воды кислородом, тем больше, чем выше трофический статус водоема, и может служить интегральным показателем его трофического состояния, т.е. состояния его биотического баланса [5].

В результате расчетов, полученные значения индекса сравниваются со стандартными, что позволяет делать выводы о трофическом состоянии водоема. Трофический статус водного объекта определяется по следующей шкале: ITS<6 – дистрофное, ITS=6-6,7 – ультраолиготрофное, ITS=6,7-7,3 – олиготрофное, ITS=7,3-8,0 – мезотрофное, ITS>8,0 – эвтрофное.

Основные гидрохимические показатели не позволяют выделить отчетливой тенденции в сторону улучшения, либо ухудшения ситуации с загрязненностью водоема в течение периода

наблюдения. Часть показателей (таких как кислотность, температура воды), обладают относительно ровным значением с пиком в отдельные годы. Существенной, но нестабильной изменчивостью отличаются показатели концентрации кислорода, которые могут варьировать от очень низкого до высокого и значительно отличаются в разных точках отбора проб.

Воды Охтинского водохранилища по таким показателям как концентрация кислорода, БПК₅, концентрация фосфатов относятся к числу умеренно загрязненных и очень грязных. По показателю концентрации нитритов и хлоридов – чистыми. Исходя из интегральной оценки показателей трофности Охтинского водохранилища посредством индекса ITS, водоем является эвтрофным. Используемый индекс во многом упрощает решение различных прикладных задач: экспресс-мониторинг поверхностных вод, ретроспективный анализ и эвтрофикаципрогноз процесса, установление региональных экологических стандартов биогенного вещества, решение инженерных задач, а также в целях математического моделирования.

Литература

1. Алексеев Д.К., Зуева Н.В., Розенкова И.В., Урусова Е.С., Шелутко В.А. Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: новые горизонты. Метеорологический вестник. 2017. Т. 9. № 2. С. 1-8.
2. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России в условиях антропогенной нагрузки// Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Сборник трудов. 2004. С. 43-48.
3. Трифонова И.С. Оценка трофического статуса водоемов по содержанию хлорофилла «а» в планктоне// Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – С. 158–166.
4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. В 6 книгах. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна реки Нева. – СПб.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2010. – 189 с.
5. Neverova-Dziopak E. Podstawy zarzadzania procesem eutrofizacji antropogenicznej / E. Neverova-Dziopak. AGH. – Krakow, 2010. – 131s.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИОДА НАВИГАЦИИ НА РЕКЕ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

М.С. Дрегваль

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE TO THE DURATION OF THE TERM OF NAVIGATION ON THE RIVER NORTH DVINA

M. Dregval

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

В последние десятилетия изменение климата оказывает существенное влияние на различные виды деятельности. В данной статье проводится оценка связи изменения климатических условий и продолжительности навигационного периода.

Over the recent decades the climate change makes a significant influence on various activities. This article in particular focuses on assessing the connection between the climate change and duration of the term of navigation on the river North Dvina

Продолжительность навигации определяет эксплуатационный период работы флота и портовых комплексов и соответственно, влияет на экономическую эффективность работы водного транспорта. Протяженность внутренних водных путей, используемых для судоходства в Российской Федерации, в настоящее время, составляет около 100 тыс. км. [1]

На речном транспорте навигационный период находится в тесной зависимости от природно-климатических условий и гидрологического режима водных путей. К примеру, в нижнем течении Волги продолжительность навигации достигает 10 мес., а на Северной Двине и на реках Крайнего Севера- менее 4-6 мес.[2]

Навигационный период (продолжительность навигации) - период, когда водный путь свободен ото льда и с учетом гидрологических условий может быть использован для движения транспортных средств.

За начало и конец физической навигации принимаются даты полного очищения участков пути ото льда и появления шуги.

Для расчетов в данной работе, в качестве исследуемого объекта была выбрана одна из крупнейших судоходных рек России – Северная Двина. Для выявления изменений навигационного периода по всей реке использовались ежедневные данные наблюдений за уровнями воды по 8 постам с 1978 по 2015 год. Расчетный период выбирается с апреля по октябрь и составляет от 170 до 190 дней. Чтобы оценить влияние климатических характеристик на изменение навигационного периода на реке, использовались ежемесячные данные наблюдений за температурой воздуха по метеопостам Котлас и Архангельск.

Как показал анализ, во всех створах имеется значимый тренд на повышение. При этом, наиболее интенсивный рост наблюдается с 2002 года. Основным выводом из расчетов является то, что за последние 20 лет продолжительность навигации выросла на 7-9 суток в зависимости от участка реки. В качестве примера использованы данные по посту Котлас. Результаты исследования видны на рисунках 1 и 2.

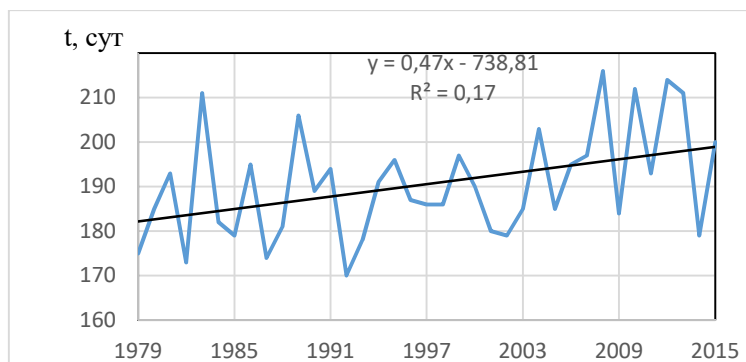


Рис. 1. Хронологический график продолжительности навигационного периода на реке Северная Двина – п.Котлас

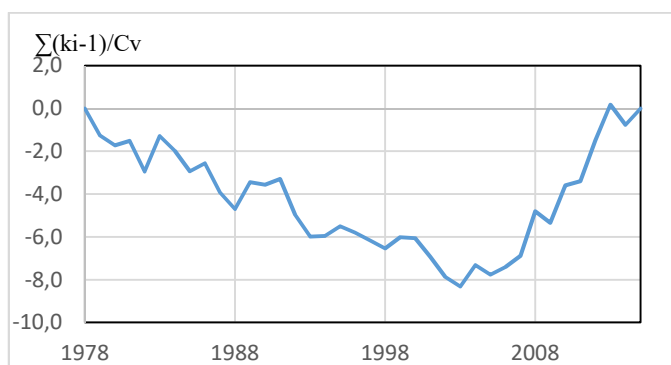


Рис. 2. Разностная интегральная кривая продолжительности периода навигации на реке Северная Двина – п.Котлас

Как показали расчеты и дальнейший анализ, на всем протяжении реки за период с 1979 по 2015 год, стандартное отклонение для продолжительности навигации меняется в узком диапазоне от 10,7 до 12,4.[3]

Анализ метеорологических характеристик по п. Котлас показал, что за рассматриваемый период прослеживается значимый тренд в рядах среднегодовых температур воздуха.[4]

Для всех полученных рядов наблюдений были проведены статистические расчеты среднего значения, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии. Анализ имеющихся данных показывает, что средняя продолжительность навигационного периода р. Северная Двина в исследуемом районе имеет тенденцию на повышение. Поэтому следующим этапом была оценка значимости трендов. Результаты расчетов показали, что тренды статистически значимы. Также была проведена проверка на однородность, показывающая что полученные ряды в подавляющем большинстве не однородны и по среднему значению, и однородны по дисперсии.

Подобная картина наблюдается и в анализе метеорологических данных.

Литература

1. Гладков Г. Л. Обеспечение условий судоходства на внутренних водных путях. – Журнал Транспорт РФ. Наука и транспорт. Морской и речной транспорт. – СПб.: ПремиумПресс, 2014. – №1. – с. 8-14.
2. Тоняев В. И. География внутренних водных путей СССР. Учебник для училищ и техникумов речн. Трансп. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Транспорт, 1984. – 238 с.

3. Винокуров И.О., Коротыгина У.Е. Современные изменения внутригодового распределения стока реки северная двина. - Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра материалы III Международной научной конференции. 2017. С. 38-41.
4. Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст]/А.В. Сикан. – СПб: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ НИЖНЕЙ ВОЛГИ, КАЗАХСТАНА И СРЕДНЕЙ АЗИИ

В.В. Дроздов, З. Мобараккызы

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия
vladidroz dov@yandex.ru

CLIMATIC CHANGES AND THEIR ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES IN RIVER BASINS OF LOWER VOLGA, KAZAKHSTAN AND CENTRAL ASIA

V.V. Drozdov, Z. Mobarakkyza

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia
vladidroz dov@yandex.ru

Обобщены материалы и данные о формировании региональных экологических кризисов в бассейне Нижней Волги, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана. Разработаны практические рекомендации по рациональному природопользованию и обеспечению экологической безопасности при ведении сельского хозяйства и использовании водных ресурсов с учетом климатических изменений.

The materials and data on the formation of regional environmental crises in the Lower Volga basin, Kazakhstan, Uzbekistan and Tajikistan are summarized. Practical recommendations have been developed on environmental management and safety in agriculture and water management, taking into account climate change.

Экологический кризис – процесс устойчивой деградации экосистем под влиянием природных или антропогенных факторов, сопровождающийся значительными изменениями в их структуре и продуктивности, способный привести к их исчезновению. Климатические изменения, на фоне нерационального природопользования, способны привести к усугублению кризисных ситуаций.

Целью данной работы является разработка научно-практических рекомендаций по обеспечению экологической безопасности и рациональному природопользованию на территориях бассейна Нижней Волги, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана на основе комплексного изучения экологических последствий климатических изменений.

Использованы методы корреляционного, регрессионного, спектрального и кластерного анализа многолетних данных – температуры воздуха, показателей крупномасштабной атмосферной циркуляции, речного стока.

К сожалению, в ряде регионов бассейна Нижней Волги [1–5], Казахстана [6 – 8] и республик Средней Азии [9–12] складывается кризисная экологическая ситуация, на фоне естественных природных изменений и нерациональной антропогенной деятельности. Происходит засоление почв, опустынивание территорий, изменения гидрологического режима поверхностных водных объектов и подземных вод, возникают проблемы обеспечения функционирования сельского хозяйства [1 – 9].

Казахстан – 9-я по площади страна мира с территорией 2,72 млн. км² – обладает уникальным набором ландшафтных комплексов: от пустынь до высокогорий и экосистем внутренних морей. При этом засушливые и субгумидные земли занимают более 75% территории страны. Площадь засоленных почв в Казахстане, в том числе солонцеватых, щелочных почв и сочетаний с другими почвами составляет 111,55 млн. гектаров, или 41% от всей территории страны [13–16]. На большей части этих площадей отмечается естественная минерализация из-за присутствия морских отложений. В Казахстане около 242 тыс. га (11%) орошаемых земель в 1993 г. были отнесены к классу засоленных по центральноазиатским стандартам (превышение токсичных ионов 0,5% от

общего веса почвы). Засоленные площади в основном расположены на юге страны. Это сказывается на распределении и воспроизводстве биологических ресурсов [17].

Площадь засоленных почв в Узбекистане оценивается в 20,8 млн. гектаров, или 46,5% территории страны. Интенсивное развитие новых орошаемых земель в период 1960-1980-х гг. вызвало засоление и заболачивание земель, их деградацию и привело к увеличению сброса сильнозасоленных дренажных вод в р. Амударью. Заболачиванием и засолением уже охвачено 50% орошаемых площадей. Общая площадь засоленных в результате орошения земель в 1994 г. составила 2,141 млн. га [9–11].

В Таджикистане, основными проблемами качества земель являются засоление и заболачивание почв по причине высокого уровня грунтовых вод. Засоление орошаемых земель в низменных районах увеличилось из-за недостаточно развитых дренажных систем и неэффективных систем орошения, приводящих к высоким потерям воды. В результате орошения почвы оказались засоленными на площади 23,235 тыс. га, заболоченными – на площади 25,742 тыс. га [12].

Засоленные почвы снижают способность культур принимать воду и доступные питательные микроэлементы. Кроме того, они концентрируют токсичные для растений ионы и имеют плохую структуру. Последовательное ежегодное накопление солей ухудшает качество почв и делает их непродуктивными. Неиспользуемые земли превращаются в испарители грунтовых вод, что вызывает усиленное их засоление. В течение 10 – 15 лет они могут превратиться в солончаки, мелиорация которых сопряжена с большими затратами.

Усыхание Аральского моря явилось одним из самых крупных экологических кризисов второй половины XX века. В 1960 году оно было четвертым по величине озером в мире. С 1965 года Аральское море потеряло 75% своего объема и береговая линия отодвинулась более чем на 100 километров. На рисунке представлены графики изменчивости уровня Аральского моря согласно палеорекострукции [Трофимов, 2006] за несколько столетий (а) и за период с начала 1990-х по 2015 гг. (б) по данным спутниковых наблюдений. Отмечается наличие цикличности различных периодов, обусловленная во многом климатическими изменениями. Необходимо отметить, что в период 1–4 веков н.э. уровень в Аральском море также резко снизился. На современном дне обнаружены руины древних поселений.

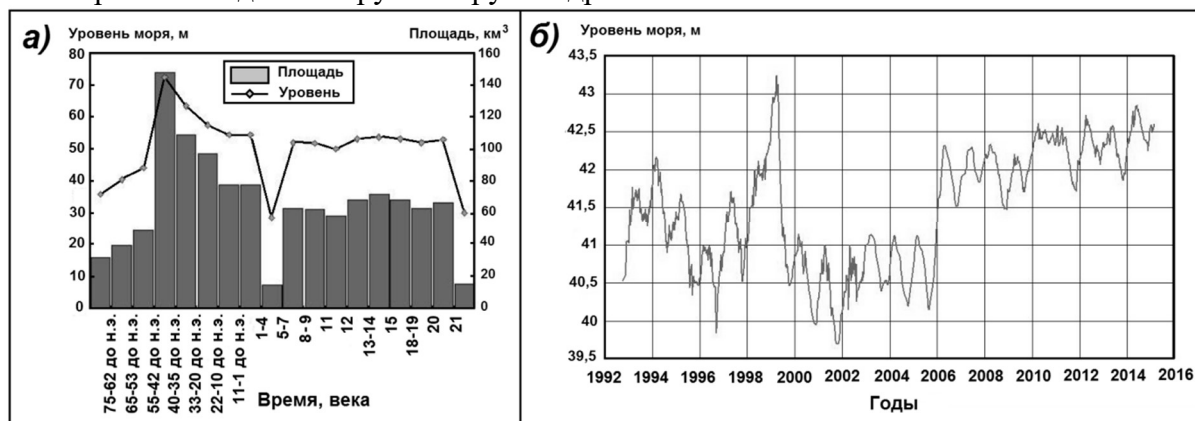


Рис.1 – Долговременная динамика уровня Аральского моря
а) – на основе палеорекострукций за несколько столетий; б) – на основе спутниковых альтиметрических данных. По данным [18] и др.

В настоящее время море разделено на две части и, если усыхание продолжится, то оно неизбежно превратится в несколько мелких соленых озер. Это крупная международная экологическая проблема, решение которой пытаются достичь ученые и

практики Казахстана, Узбекистана и России. В период с 2010 по 2015 г. была реализована вторая фаза проекта «Регулирование русла реки Сырдарья и Северного Аральского моря» РРССАМ-2, ведётся интенсивная работа по подготовке дальнейших проектов [18–20]. При этом весьма важная роль принадлежит климатическим среднесрочным и долгосрочным прогнозам.

Установлены основные причины экологических кризисов и дана характеристика неблагоприятных последствий климатических изменений для состояния экосистем и природопользования на территориях бассейна Нижней Волги, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана. Обоснованы пути и способы обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования, с учетом естественных природных изменений температурного и водного режимов. Сформулированы регионально-ориентированные практические рекомендации.

Литература

1. Борликов Г.М., Харин Н.Г., Бананова В.А., Татеиши Р. Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2000. – 97с.
2. Борликов Г.М., Бакинова Т.И., Зеленская Е.А. Почвенно-земельные ресурсы аридных территорий. Состояние, использование, оценка. Элиста: Изд-во КГУ, 2009. – 200 с.
3. Борликов Г.М., Бакинова Т.И., Зеленский А.Г. Эколого-экономические проблемы аграрного землепользования в республике Калмыкия // Сельскохозяйственная экология. 2015 – Том 10. – N. 2. – С. 146 – 156.
4. Экологические проблемы сельского хозяйства и научно-практические пути их решения: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, 5-6 июня 2017 г. – Махачкала: ФГБОУ ВО «Дагестанский ГАУ», 2017. – 252 стр.
5. Сафронова И.Н. Еще раз к вопросу о границе между степной и пустынной зонами в Нижнем Поволжье // Поволжский экологический журнал. 2008. – № 4. – С. 334 – 343.
6. Карта растительности Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области). М 1 : 2 500 000. М.: ТОО «Экор», 1995. 3 л.
7. Клебанович Н.В., Ефимова И.А., Прокопович С.Н. Почвы и земельные ресурсы Казахстана– Минск : БГУ, 2016. – 46 с.
8. Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017 – 2021 годы. Астана, 2018. – 124 с.
9. Сельское хозяйство Узбекистана. Статистический сборник. – Т., 2011. – С.190.
10. Статистический сборник. Основные тенденции показатели экономического и социального развития республики Узбекистан за годы независимости (1990–2010) и прогноз на 2011–2015 гг. – Ташкент: «Узбекистан», 2011. – С.138.
11. Соколов В.И. Водное хозяйство Узбекистана: прошлое, настоящее и будущее. Вып. 1. – Ташкент . 2015 – 56 с.
12. Управление водными ресурсами в сельскохозяйственной секторе Таджикистана. Роль водопользователей в совершенствовании водноэнергетической взаимосвязи. Технический отчет Душанбе, Таджикистан. – 2017. – 57 стр.
13. Карта растительности Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области). М 1 : 2 500 000. М.: ТОО «Экор», 1995. 3 л.
14. Клебанович Н.В., Ефимова И.А., Прокопович С.Н. Почвы и земельные ресурсы Казахстана– Минск : БГУ, 2016. – 46 с.
15. Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. Степи Евразии. Л., 1991. – 143 с.
16. Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017 – 2021 годы. Астана, 2018. – 124 с.
17. Шестой Национальный Доклада Республики Казахстан о биологическом разнообразии . Астана. 2018. – 255 с.
18. Аладин Н.В., Чида Т., Крето Ж.-Ф., Ермаханов З.К., Жоллибеков Б., Миклин Ф., Плотников И.С., Егоров А.Н.. Современные проблемы и возможное будущее Аральского моря // Ученые записки РГГМУ. 2017. – № 48. – С. 41 – 54.
19. Micklin P. The Future Aral Sea: hope and despair // Environmental Earth Science, 2016. 75 (9). – P. 1–15.
20. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря СССР». Т. VII: Аральское море / под ред. В.Н. Бортника, С.П. Чистяевой. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 196 с.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

К.А. Дубровская

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

ASSESSMENT OF THERMAL REGIME CHANGES IN LAKES OF OB-IRNYSH REGION

K.A. Dubrovskaya

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

Исследование изменения температуры воды озер Обь-Иртышского междуречья по многолетним рядам значений средней за сезон май-октябрь выявило наличие положительных трендов за весь период наблюдения. Однако в рядах среднемесячной температуры воды отмечены разнонаправленные тенденции. Наблюдается так же изменение в сроках перехода температуры воды через 4°C и 10°C весной и осенью и увеличение продолжительности «биологического лета».

The study of lakes water temperature changes in the Ob-Irtysh region (long-term series of May-October season average) revealed the presence of positive trends for the entire observation period. However, in the average monthly water temperatures multidirectional trends were noted. There is also a change in the transition through 4°C and 10°C time for water temperature in spring and autumn and an increase in the duration of the “biological summer”.

В работе использованы результаты многолетних наблюдений на сети постов Росгидромета за температурой воды у берега на 10 озерах Обь-Иртышского междуречья. В качестве исходной информации использованы ряды среднемесячной температуры воды у берега с мая по октябрь, даты перехода через заданные границы (4°C и 10°C) весной и осенью и наибольшая температура воды за год с начала наблюдений по 2016г. Для анализа изменений температуры воды озер так же использованы средние ее значения за сезон май-октябрь.

Для оценки изменения температуры воды использован линейный тренд. В ходе работы были построены хронологические графики температуры поверхности воды за май-октябрь. Было выявлено, что за весь период наблюдения температура воды повышается на всех озерах в среднем с интенсивность 0,23°C/10 лет, но при этом более заметное ее повышение наблюдается с середины 1980-х годов (рисунок 1).

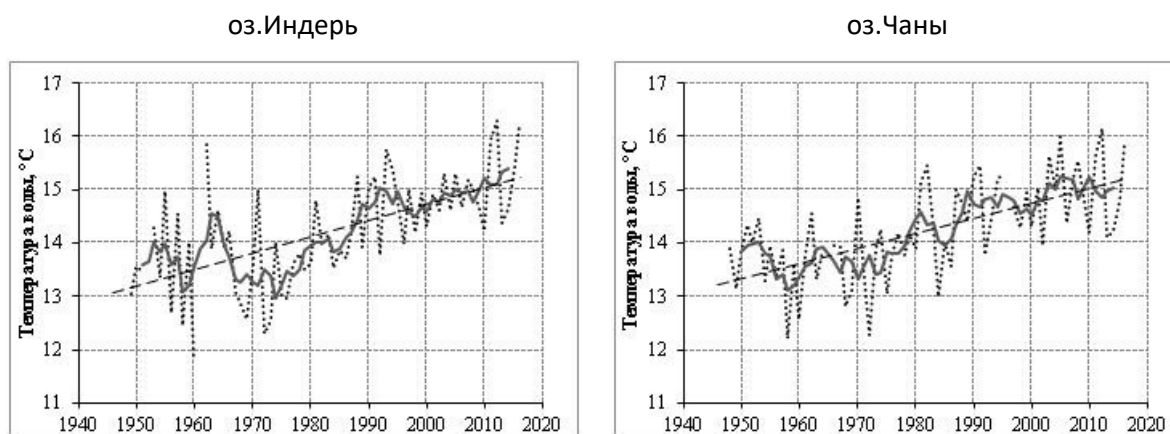


Рис. 1 Средние за май-октябрь температура воды у берега за многолетний период, 5-летние скользящие средние и линейные тренды для периодов 1946-2016гг. и 1986-2016гг.

В период 1986-2016гг. повышение температуры воды за сезон май-октябрь в среднем по озерам происходит с интенсивность $0,31^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом изменение температуры воды по месяцам различается. Так, в данном регионе в июле в среднем она уменьшается на $0,27^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Наибольшее увеличение температуры воды происходит в июне на всех озерах ($0,78^{\circ}\text{C}/10$ лет), при крайних значениях $0,27-1,48^{\circ}\text{C}/10$ лет, при этом тренды для 7 озер значимы на 5% уровне, а для 2 озер - на 1% уровне. Увеличение среднемесячной температуры воды в мае происходит с интенсивностью $0,52^{\circ}\text{C}/10$ лет при крайних значениях $0,07-1,3^{\circ}\text{C}/10$ лет. Тренды в этот месяц по всем озерам кроме одного незначимы. В сентябре интенсивность увеличения температуры составила $0,53^{\circ}\text{C}/10$ лет, при этом тренды для 4 озер значимы на 5% уровне.

Средние значения температуры по двум периодам (1946-1985гг. и 1986-2016гг.) для озер с достаточно длинными рядами наблюдений различаются в сторону увеличения температуры воды во все месяцы с мая по октябрь в среднем на $0,9^{\circ}\text{C}$, с крайними значениями с $0,2^{\circ}\text{C}$ в сентябре до $2,4^{\circ}\text{C}$ в мае (рисунок 2).

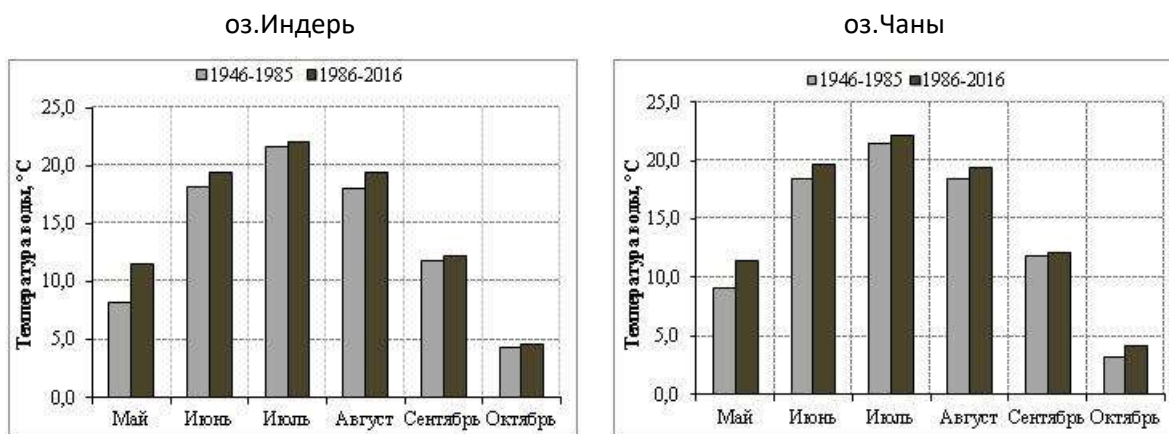
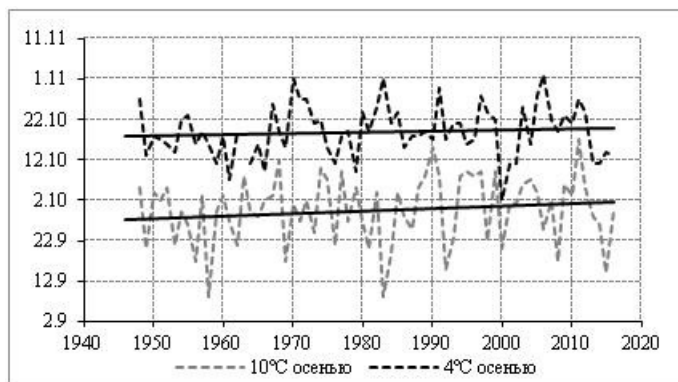


Рис. 2 Изменение среднемесячной температуры воды озер за периоды до и после 1985 года

В тоже время происходит изменение дат перехода температуры воды через 4°C и 10°C весной и осенью (рисунок 3). Так весной за весь период наблюдений 1946-2016гг. даты перехода температуры воды через 4°C сдвигались к более ранним срокам на $1,1-2,1$ сут/10 лет, через 10°C – на $0,2-1,9$ сут/10 лет, а осенью через 4 и 10°C к более поздним срокам на $0,3-0,8$ сут/10 лет. Изменения в период 1986-2016гг. происходят с большей скоростью: переход температуры воды через 4 и 10°C весной наступает раньше на $1,4-5,2$ сут/10 лет, а осенью – позже на $0,3-2,5$ сут/10 лет. При этом тренд изменения дат перехода температуры воды через 4°C весной за весь период наблюдения значим при 1% уровне для всех озер в отличие от периода 1986-2016гг., когда тренд значим на 1% уровне только для 2 озер. Тренд изменения дат перехода температуры воды через 4°C и 10°C осенью незначим.



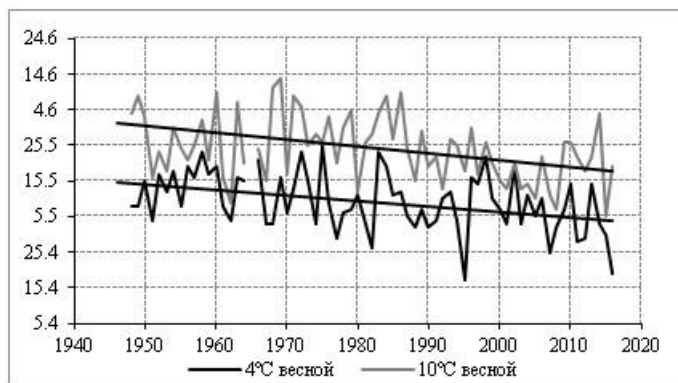


Рис. 3– Изменение сроков перехода температуры воды через заданные границы на оз.Чаны-д.Квашино

Средние даты перехода через заданные границы температуры воды для 2 периодов для 7 озер с достаточным длинным рядом наблюдений заметно различаются: в период 1986-2016гг. даты перехода весной через 4°C происходят на 4-7 дней раньше, чем в предыдущий период, а через 10°C – на 3-5 дней. Осенью даты наступления этих температур происходят позже на 0-3 дня.

Наибольшая температура воды за год за 1946-2016гг. в среднем по озерам региона практически не меняется ($0,1^{\circ}\text{C}/10$ лет). Но если рассматривать период 1986-2016гг. то на части озер тренд отрицательный, и в этот период тренд изменяется от $-1,24^{\circ}\text{C}/10$ лет до $1,21^{\circ}\text{C}/10$ лет, при этом значимы только тренды на 3 озерах (1 отрицательный и 2 положительных). Сравнивая средние значения наибольшей температуры воды по 2 периодам для 7 озер, получили что в период 1986-2016гг. только по 3 озерам изменение положительное, и изменяется от $-1,04^{\circ}\text{C}$ до $1,72^{\circ}\text{C}$.

Выполненный анализ термического режима озер Обь-Иртышского междуречья показал, что в среднем за сезон май-октябрь в период 1946-2016гг. температура поверхности воды увеличивается. В тоже время изменение среднемесячной температуры воды не так однозначны. В период 1986-2016гг. средняя температура воды в июле вообще уменьшается. Так же уменьшается наибольшая температура воды за год на ряде озер. Происходит изменение сроков перехода температуры воды через 4 и 10°C весной и осенью: весной на более ранние сроки, осенью на более поздние, что ведет к увеличению «биологического лета», определяемого количеством дней с температурой воды больше 10°C.

Исследование выполнено в рамках работы по плану НИОКР Росгидромета по теме № 1.1.8.2

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛОТНОСТИ РАЗРЫВОВ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ПРИАТЛАНТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Л.Н. Дымент, С.М. Лосев

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

SPATIAL FEATURES OF THE DENSITY OF DISCONTINUITIES IN THE ICE COVER OF THE SUB-ATLANTIC PART OF THE ARCTIC BASIN

L.N. Dymment, S.M. Losev

Arctic and Antarctic Research Institute, St.Petersburg, Russian Federation

По данным спутниковых снимков за 2006–2017 гг. рассчитаны поля удельной длины разрывов и выделены устойчивые во времени зоны ее повышенных значений. Предложена гипотеза причины их возникновения.

According to satellite images for 2006-2017, the fields of the specific length of discontinuities were calculated and the time-stable zones of its increased values were identified. The hypothesis of the cause of their occurrence is proposed.

Нарушения сплошности морского льда (НСЛ) образуются в холодное время года под влиянием динамических факторов в виде трещин и каналов, именуемых также разрывами. Внимание к изучению характеристик разрывов в дрейфующем льду обусловлено прежде всего большой их практической значимостью. В Арктическом бассейне и в арктических морях при сложных ледовых условиях НСЛ используются для проводки судов ледоколами. В истории мореплавания известны также случаи, когда экспедиционные суда с учетом разрывов следовали в дрейфующем льду без ледокольной поддержки.

Удельная длина разрывов является одной из основных их характеристик. Она представляет собой плотность НСЛ в пространстве и численно равна суммарной протяженности разрывов на площади в 1 км².

Значения преобладающей ориентации разрывов и их удельной длины, осредненные за месяц намеченной операции по данным за все годы с наблюдениями, позволяют определить ориентировочный вариант маршрута, в зоне которого преобладающая климатическая ориентация разрывов наиболее близка к генеральному направлению следования [1].

Основным источником информации о разрывах в ледяном покрове служат снимки ИСЗ. По спутниковым снимкам малого разрешения, которые в видимом и ИК-диапазонах поступают с ИСЗ NOAA в режиме непосредственной передачи, проводилось дешифрирование и оцифровка зафиксированных разрывов. При этом координаты их отрезков заносились в электронный архив. На момент выполнения исследования исходные данные о разрывах в ледяном покрове приатлантической части Арктического бассейна были получены за период с октября 2005 г. по июнь 2017 г. включительно. За ледовый цикл в арктических морях принято считать промежуток времени с октября предыдущего года по сентябрь последующего. Таким образом, исходные данные имелись за 12 неполных годовых ледовых циклов. В июле–сентябре в связи с интенсивным таянием льда и увеличением его раздробленности элементы НСЛ сначала быстро изменяются, а в конце июля – первой половине августа разрывы нередко практически перестают существовать. По этой причине указанное время года не рассматривалось.

Расчет значений удельной длины проводился по сетке квадратов 100×100 км, охватывающей западную часть Арктического бассейна. Квадрат считался обеспеченным исходными данными, если удельная длина разрывов в нем превышала 5 м/км², что равнозначно суммарной протяженности НСЛ в квадрате равной 50 км.

Из рассчитанных полей удельной длины разрывов следует, что пространственные изменения плотности разрывов весьма существенны. Временная ее изменчивость от периода к периоду, напротив, не столь велика. В полях удельной длины разрывов, осредненных за

двухмесячные интервалы, присутствует обширная область повышенных ее значений, расположенная вдоль материкового склона и простирающаяся от моря Линкольна до архипелага Земля Франца-Иосифа (рис.1). В этой зоне значения удельной длины повсеместно превышают 24 м/км². Исключение составляет период май–июнь, когда абсолютные значения удельной длины разрывов принимают наименьшие значения. Наибольший градиент удельной длины наблюдается помимо прибрежных областей в районах, прилегающих к центрам локальных зон максимальных значений. По мере продвижения на север, к центральной части Арктического бассейна плотность разрывов понижается. Уменьшаются также и значения градиента. Наименьшие значения удельной длины разрывов на протяжении всего года наблюдаются в приполюсном и прибрежных районах.

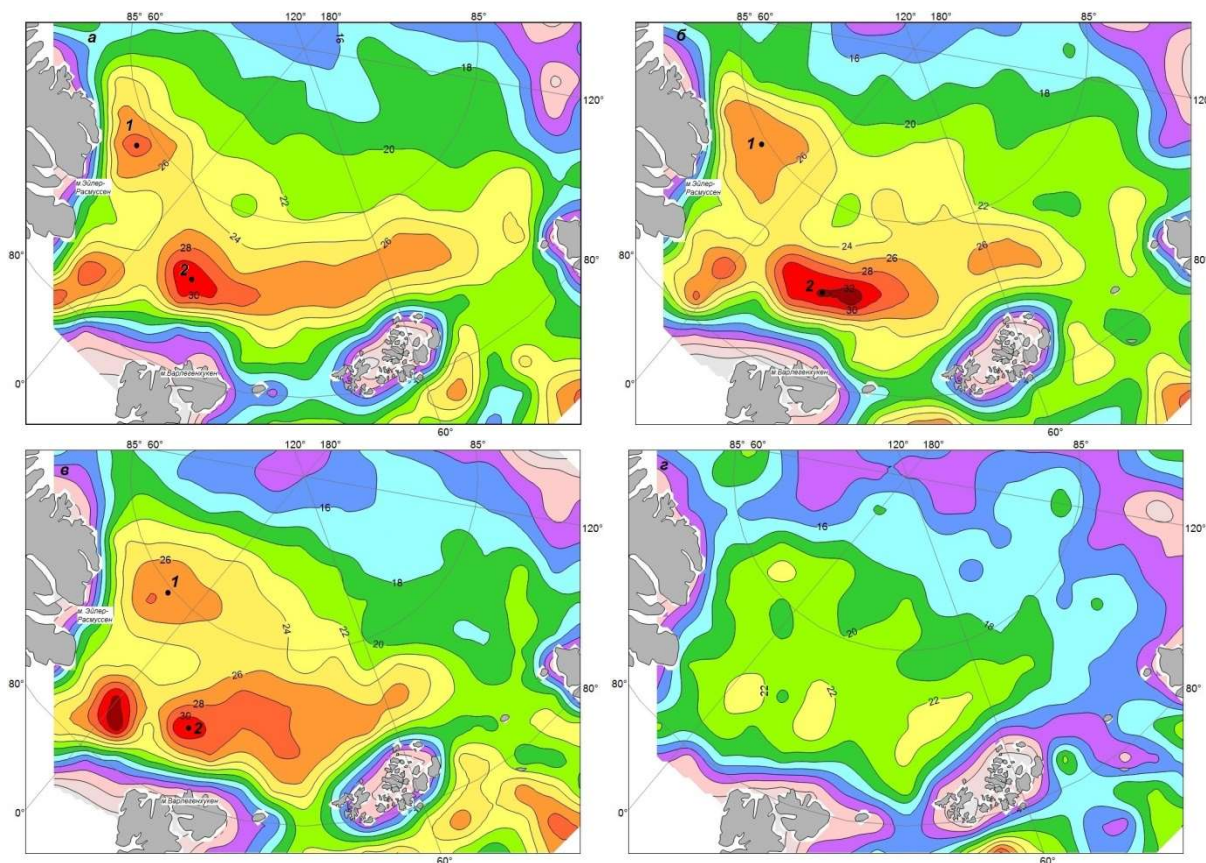


Рис. 1. Поля удельной длины разрывов, осредненные за двухмесячные периоды, м/км²
 а – ноябрь–декабрь 2005–2016 гг.; б – январь–февраль 2006–2017 гг.; в – март–апрель 2006–2017 гг.; г – май–июнь 2006–2017 гг.

Поскольку разрывы в ледяном покрове Арктического бассейна формируются под действием динамических факторов, приведенные выше поля удельной длины НСЛ были сопоставлены с полями скорости дрейфа льда, рассчитанными за те же периоды. Результаты расчетов показали, что в течение всех рассчитанных двухмесячных периодов скорость дрейфа на стрезне трансарктического ледового потока возрастает по направлению к проливу Фрама. При этом наиболее существенное ее приращение происходит непосредственно на подходах к проливу. Значения удельной длины разрывов в зоне прохождения стрезня также увеличиваются по направлению к проливу Фрама на протяжении всех четырех временных периодов, хотя ее приращение не столь существенное, как у скорости дрейфа льда.

Увеличение скорости дрейфа по направлению движения к проливу Фрама вызывает деформации растяжения ледяного покрова, следствием которых является образование разрывов.

Несмотря на связь плотности разрывов с ветровым дрейфом льда в рассматриваемой области, обращает на себя внимание тот факт, что локальные зоны, в которых значения удельной длины максимальны, расположены вне стрежня трансарктического ледового потока, т.е. вне области наибольших значений скорости дрейфа льда. На рис.1а-в эти локальные зоны обозначены цифрами 1 и 2, а в качестве их границ приняты замкнутые изолинии удельной длины со значением 26 м/км^2 и 30 м/км^2 соответственно. В весенний период (май–июнь) в связи с изменением состояния ледяного покрова и общим понижением плотности разрывов зоны ее повышенных значений практически не проявляются.

Выделенные зоны не только сохраняются на протяжении большей части ледового цикла, но и расположение их центров довольно устойчиво в пространстве. Так смещение центра зоны 1 в различные периоды относительно среднего его положения в ноябре–апреле составляет около 19% от поперечника самой зоны. В зоне 2 этот показатель несколько выше – около 23%. Это позволяет считать, что повышенные значения плотности разрывов вызваны здесь деформациями ледяного покрова, возникающими не только вследствие ветрового дрейфа, но и в результате влияния другого регулярно действующего фактора. Относительно стабильное положение зон с повышенными значениями удельной длины в пространстве и во времени дает основание полагать, что на образование разрывов в данных зонах оказывают влияние приливные явления.

Сопоставление батиметрической карты [2] с локальными зонами повышенной плотности разрывов 1 и 2 показало, что обе они расположены над материковым склоном. Для более детального анализа изменения плотности разрывов с изменением рельефа дна выбраны два створа, проходящие через локальные зоны с максимальными значениями удельной длины разрывов 1 и 2 соответственно. Первый створ соединяет полюс с м. Эйлер-Расмуссен, расположенным на северо-востоке Земли Пири, а второй – полюс с м. Варлегенхукен на о. Западный Шпицберген. По каждому створу построены профили дна, представленные на рис.2. Здесь же приведены кривые изменения значений удельной длины разрывов по створам, рассчитанные за двухмесячные периоды, относящиеся к ледовым циклам 2006–2017 гг.

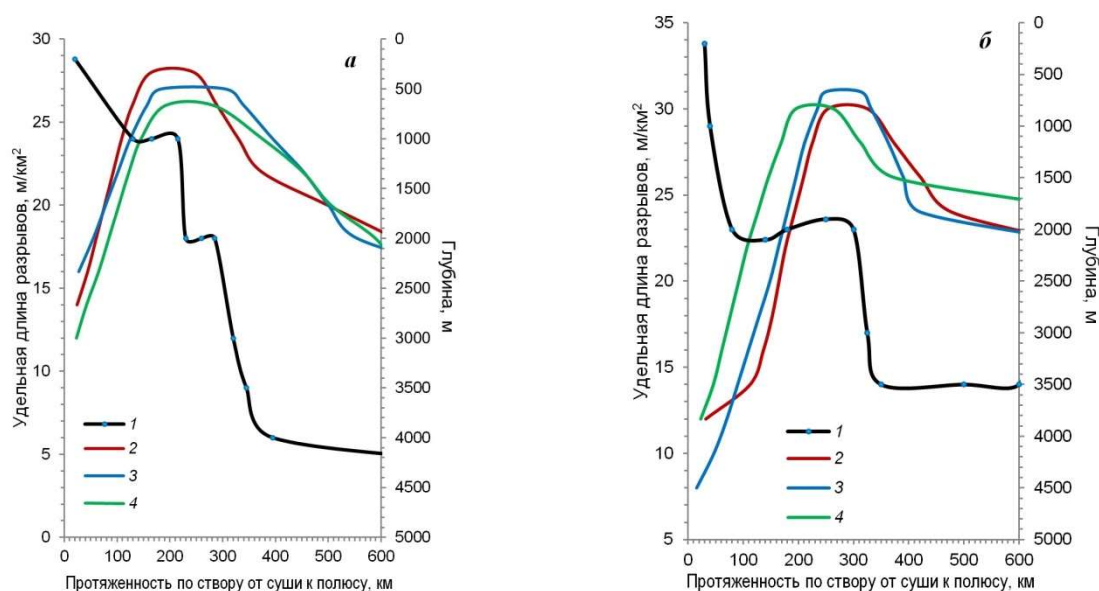


Рис. 2. Профиль дна (1) и удельная длина разрывов на створах 1 (а) и 2 (б) 2 – ноябрь–декабрь 2005–2016 гг.; 3 – январь–февраль 2006–2017 гг.; 4 – март–апрель 2006–2017 гг.

Как видно из рис.2, после достаточно протяженного участка ложа океана со стабильными значениями глубины 4000 м и 3500 м на створах 1 и 2 соответственно при достижении подножия

материкового склона следует интенсивное повышение дна. За подножие материкового склона принята точка, начиная с которой изменение глубины на протяжении 50 км превышает 250 м. Подъем дна при достижении 2000 м на обоих створах приостанавливается, и при дальнейшем приближении к суше значения глубин остаются практически постоянными. Протяженность такой ступени на створах существенно различается. На створе 1 после 50-тикилометровой первой ступени происходит резкий подъем дна до 1000 м и при дальнейшем движении по створу на протяжении 85 км значения глубины вновь не меняются. На створе 2 протяженность ступени составляет около 200 км. Ширина материкового склона в районе створа 1 составляет 280 км, а в районе створа 2 – 300 км. Далее на обоих створах по мере приближения к шельфу начинается уменьшение глубин (более резкое на створе 2).

Изменению значений удельной длины разрывов на обоих створах присущи общие черты. Повышение ее величины начинается еще до достижения материкового склона. На створе 2 рост значений удельной длины происходит резко, на створе 1 этот процесс идет медленнее.

Над участком материкового склона от его подножия до ступени на обоих створах происходит интенсивный рост удельной длины разрывов, который отмечается в период с ноября по апрель. На обоих створах наибольших значений удельная длина достигает либо над первой ступенью, либо за 25–45 км до ее достижения.

Протяженность участка максимальных значений удельной длины на створах 1 и 2 составляет в среднем 100 км и 70 км соответственно. На створе 1 этот параметр изменяется во времени, а на створе 2 его величину можно считать постоянной.

Последующее уменьшение удельной длины разрывов происходит интенсивно на обоих створах.

Полученные результаты согласуются с теоретическими выводами А.П. Легенькова [3], в соответствии с моделью которого в зонах усиления приливной волны, а именно над материковым склоном, где наблюдается наибольший градиент глубины моря, в этот период образуется больше НСЛ, которые фиксируются на снимках ИСЗ. Следовательно, и рассчитанные по ним значения удельной длины разрывов будут здесь постоянно повышенными.

Таким образом, можно утверждать, что зоны повышенной плотности разрывов, расположенные в районе материкового склона приатлантической части Арктического бассейна, являются следствием приливных явлений. Деформации ледяного покрова, вызываемые приливной волной, обуславливают здесь повышенные значения удельной длины разрывов. Это проявляется в осредненных за двухмесячные интервалы полях плотности НСЛ на протяжении всей части ледового цикла, характеризующейся повышенной сплоченностью льда.

Литература

1. Фролов С.В., Клячкин С.В. Учет влияния ориентации разрывов в ледяном покрове на скорость движения судна во льдах // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443, С. 103–111.
2. Атлас Арктики /Ред. А.Ф. Трешников. Москва, 1985. 204 с.
3. Легеньков А.П. Подвижки и приливные деформации дрейфующего льда // Л.:Гидрометеоздат, 1988. 104 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛОЩАДИ ЛЬДА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Е.С. Егорова, А.В. Юлин, Н.А. Вязигина

ГНЦ РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, Россия

THE STUDY OF SEASONAL VARIABILITY OF ARCTIC SEA ICE EXTENT WITH THE USE OF CLUSTER ANALYSIS

E.S. Egorova, A.V. Yulin, N.A. Vyazigina

State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

В работе анализируется сезонная изменчивость площади льда в Северном Ледовитом океане. С использованием метода кластерного анализа выделяются группы лет с характерным сезонным ходом её изменения.

The seasonal variability of Arctic sea ice extent is analyzed. Using the cluster analysis allows us to distinguish groups of years with characteristic seasonal course of the sea ice extent.

Введение

Арктические морские льды оказывают существенное влияние на планетарные природные процессы и поэтому представляют собой неотъемлемую часть климатической системы «атмосфера-лёд-океан». Современное сокращение площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане (СЛО), наблюдаемое с конца 80-ых гг. прошлого века [1], является одним из главных показателей потепления в высоких широтах. Важность понимания происходящих в глобальной системе изменений предполагает продолжение исследований колебаний площади льда в различных временных масштабах.

В настоящей работе мы проанализируем сезонную изменчивость площади ледяного покрова СЛО за период с 1979 по 2018 гг. с привлечением метода кластерного анализа.

В качестве исходных данных был задействован массив Мирового центра данных по морскому льду (МЦД МЛ), доступный в ААНИИ по ссылке [<http://wdc.aari.ru/>]. Массив представляет собой информацию по сплочённости морского льда в процентах по ячейкам сетки полярной стереографической области размером 25×25 км, полученную по результатам пассивного микроволнового зондирования спутниковых систем SSM/I и SSMIS.

Сезонная изменчивость площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане

В годовом цикле изменение площади льда в СЛО имеет ярко выраженный сезонный ход (см. таблицу 1). В зимний период ледяной покров занимает большую часть океана, распространяясь к югу на опреснённые акватории морей Сибирского шельфа [2]. При среднемноголетних условиях (1979-2018 гг.) площадь льда достигает своего внутригодового максимума в апреле, составляя приблизительно 12000 тыс. км², однако время его наступления может варьироваться в пределах 5 месяцев. Статистический анализ исследуемого ряда наблюдений показывает, что чаще всего (39% случаев) наибольшая ледовитость действительно наблюдается в апреле, однако наступление сезонного пика отмечается в феврале и марте (34% и 22% случаев соответственно). Характерны случаи установления зимнего максимума также в декабре и январе (по 2% случаев для каждого месяца).

В летний период льды сохраняются лишь на акватории Арктического бассейна СЛО и прилегающих районах окраинных арктических морей [2]. Согласно результатам статистического анализа, в 100% случаев площадь остаточных льдов минимальна в сентябре и для среднемноголетних условий оценивается примерно в 6000 тыс. км².

Переходные осенний и весенний периоды характеризуются неустойчивым состоянием ледяного покрова, поэтому для определения их роли в годовом цикле обратимся к средним скоростям изменения площади льда (см. таблицу 1). Наиболее интенсивное ледообразование наблюдается в октябре-декабре: за три месяца среднемноголетняя площадь ледяного покрова увеличивается на 5300 тыс. км². Далее в период с января по март-апрель скорость роста льда заметно сокращается, не превышая 100 тыс. км² в месяц, несмотря на то, что именно эти месяцы считаются наиболее суровыми в Арктике. Достигая пиковых значений в апреле, площадь ледяного покрова начинает стремительно уменьшаться вплоть до сентября. В основном это происходит за счёт процессов теплового разрушения и таяния льда, а также его интенсивного выноса через пролив Фрама.

Для оценки сезонных флуктуаций средней площади ледяного покрова СЛО были рассчитаны величины их среднеквадратических отклонений (см. таблицу 1). Максимальная величина среднеквадратического отклонения (1116 тыс. км²) приходится на сентябрь, месяц с наименьшей средней площадью льда, минимальная (294 тыс. км²) же отмечается в апреле, когда ледовитость СЛО достигает наибольшего значения внутри одного года. В целом наблюдается асинхронное изменение сезонного хода площади ледяного покрова и величин его среднеквадратического отклонения.

Таким образом, выделим основные периоды сезонных колебаний площади льда СЛО [3]:

- период весенне-летнего сокращения площади (май-сентябрь),
- период наиболее интенсивного осенне-зимнего нарастания ледяного покрова (октябрь-декабрь),
- период незначительного зимнего нарастания площади льда (январь-апрель).

Таблица 1. Среднемесячные значения площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и характеристики их изменений за ряд наблюдений 1978-2018 гг., тыс. км²

Показатель, тыс. км ²	Месяцы					
	1	2	3	4	5	6
Среднее значение	11807	11916	11959	11961	11683	10897
Стандартное отклонение	374	359	291	294	343	520
Скорость изменения	109	53	-8	-278	-786	-1939
Показатель, тыс. км ²	7	8	9	10	11	12
Среднее значение	8958	6856	6111	7927	10093	11401
Стандартное отклонение	816	960	1116	1048	627	454
Скорость изменения	-2101	-745	1816	2167	1308	406

Примечание. Скорость изменения площади льда рассчитывается как разность между её значениями для настоящего и последующего месяцев. Знак «+» для скорости означает нарастание ледяного покрова, «-» – его таяние.

По данным [3], за период 2008-2017 гг. отмечается ускорение сокращения площади остаточных льдов в сентябре по сравнению с более холодным десятилетием 1978-1987 гг. (7,2 млн км² против 4,7 млн км²). Поэтому на данном этапе исследования нами была поставлена задача о нахождении *подобных* сезонных циклов за исследуемый ряд наблюдений с использованием процедуры кластерного анализа. Для их классификации был использован метод невзвешенного попарного среднего, где расстояние между классами вычисляется как среднее расстояние между парами объектов внутри них [4] (дендрограмма кластеризации приводится на рисунке 1, а её результаты – в таблице 2).

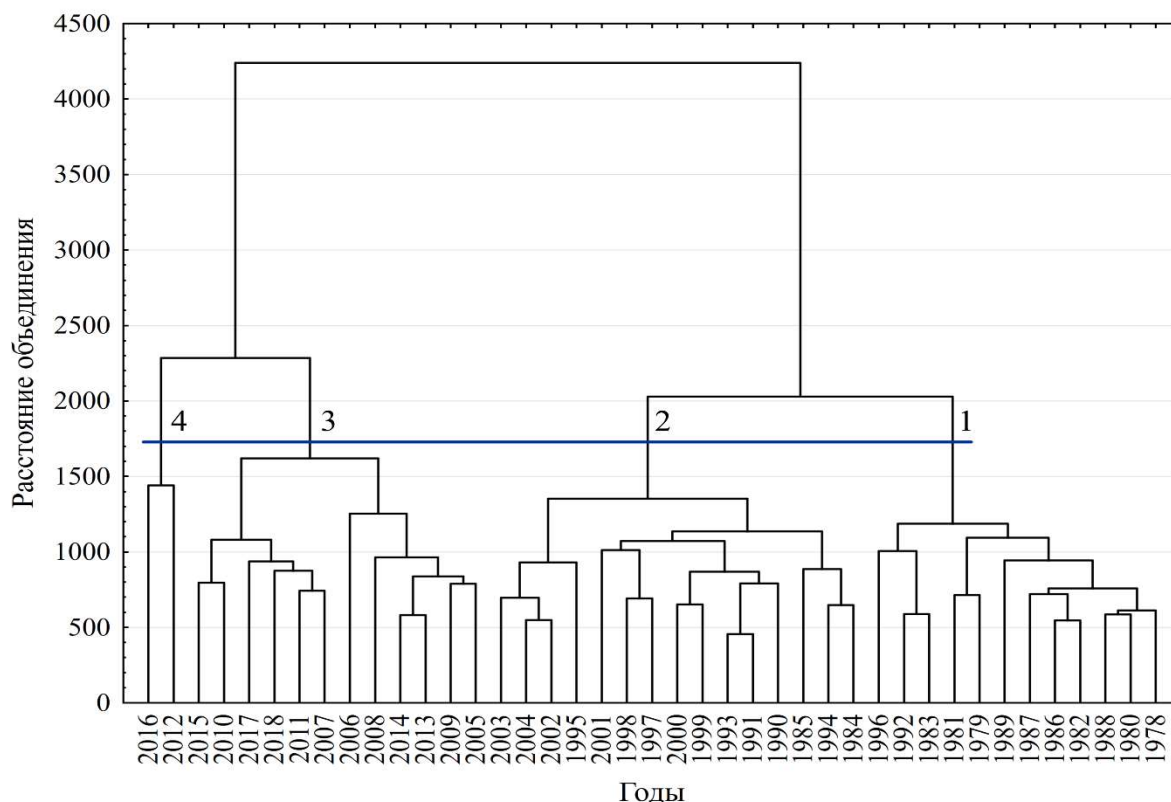


Рисунок 1. Дендрограмма классификации среднемесячных значений площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане за ряд наблюдений 1979-2018 гг.

Таблица 2. Группы лет подобных сезонных циклов изменчивости площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане за ряд наблюдений 1979-2018 гг.

Номер кластера и его характеристика	Количество лет	Вошедшие годы
К-1: тяжёлый тип	12	1978-1983, 1986-1989, 1992, 1996
К-2: средний тип	15	1984, 1985, 1990, 1991, 1993-1995, 1997-2004
К-3: лёгкий тип	12	2005-2011, 2013-2015, 2017, 2018
К-4: экстремально лёгкий тип	2	2012, 2016

Изменение площади ледяного покрова СЛО за период 1978-2004 гг. протекает на фоне тяжёлого и среднего типа ледовых условий, в то время как период 2005-2018 гг. в целом характеризуется как лёгкий. Следует отметить, что применение метода невзвешенного попарного среднего позволило выделить отдельный экстремально лёгкий класс протекания

сезонных циклов ледовитости, куда вошли 2012 и 2016 гг. – первый из перечисленных считается годом с абсолютным минимумом площади льда в Арктике в летний период [5].

Последующее осреднение внутригодовых значений площади льда внутри каждого кластера показывает, что вид кривой за весь ряд наблюдений не меняется (см. рисунок 2). Для всех классов характерно её изменение по трём перечисленным ранее периодам: весенне-летнему, осенне-зимнему и зимнему. Однако наблюдается существенное уменьшение общей площади льда, участвующей в ледовом балансе как в зимний, так и в летний период. Если площадь в осенне-зимний период изменяется на 8%, от 12200 тыс. км² в кластере К-1 до 11200 тыс. км² в кластере К-4, то в летний период (в сентябре) разница между минимумами в этих классах достигает 3400 тыс. км² (отмечается сокращение летнего ледяного покрова на 46%).

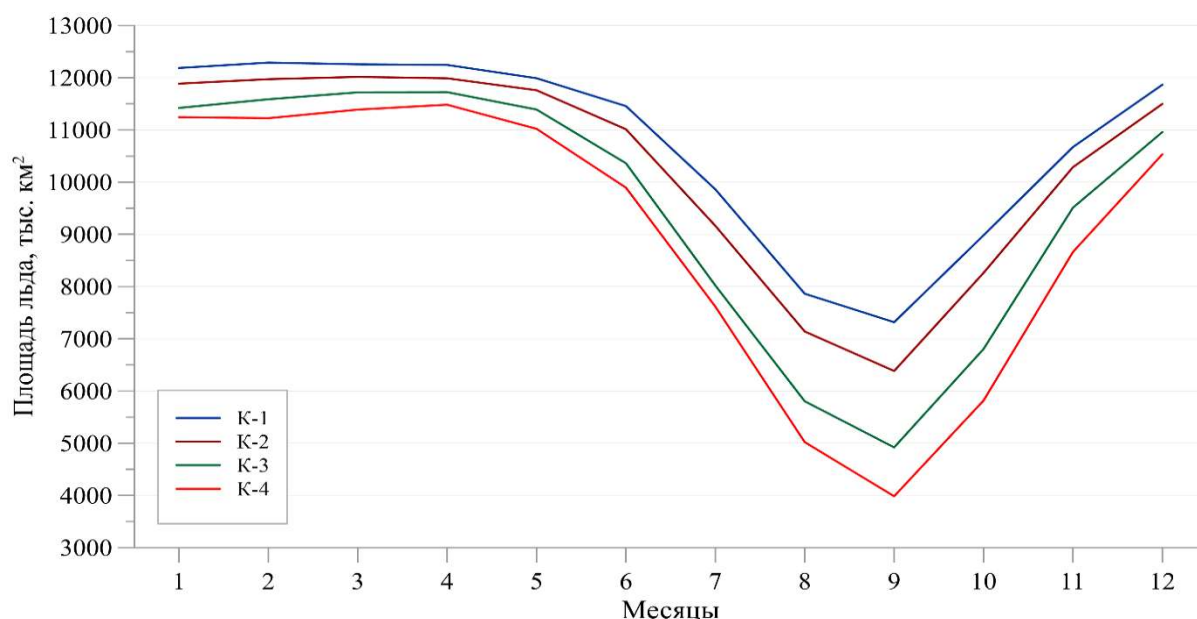


Рисунок 2. Сезонный ход площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане за ряд наблюдений 1979-2018 гг. по результатам его классификации на четыре кластера

Заключение

В работе проанализирована структура сезонных колебаний площади ледяного покрова СЛО за период наблюдений 1979-2018 гг. с применением метода кластерного анализа. Установлены основные закономерности изменчивости сезонного хода площади льда и выделены три основных периода её внутригодовых флуктуаций: весенне-летний, осенне-зимний и зимний. Кластерный анализ показал, что площадь льда за период 1979-2004 гг. изменялась на фоне большого и среднего типа ледовых условий, за период 2005-2018 гг. – лёгкого и экстремально лёгкого типа. Отмечено существенное сокращение льда, участвующего в ледовом балансе в течение всего года, особенно для летнего сезона.

Литература

1. ACIA: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 1042 p.
2. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 214 с.
3. Юлин А.В., Шаратунова М.В. Долгосрочный прогноз площади остаточных льдов в сентябре в Северном Ледовитом океане // Российская Арктика. 2018. №2. С. 4-14.
4. Электронный учебник по статистике. URL: <http://statsoft.ru/> (дата обращения 12.10.2019).
5. Charctic Interactive Sea Ice Graph. URL: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/> (дата обращения 13.10.2019).

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.¹, Салаватова Л.И.²

1. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
2. Московский физико-технический Институт (государственный университет)

LABORATORY STUDY OF THE INFLUENCE OF ROUGHNESS ON THE COASTAL DOWNWELLING CURRENT AND THE BOTTOM EKMAN LAYER RELATED TO IT

Elkin D.N., Zatsein A.G.¹, Salavatova L.I.²

1. P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia
2. Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Одним из малоизученных механизмов вентиляции глубинных вод океана, является опускание кислородосодержащих вод по склону дна в экмановском слое при наличии даунвеллингового вдольберегового течения. В океане в зоне шельфа и континентального склона дно не редко бывает шероховатым. Проведены лабораторные опыты по изучению этого процесса при наличии шероховатости.

One of the poorly studied mechanisms of deep water ventilation is the lowering of oxygen-containing water along the bottom slope in the Ekman layer in the presence of a downwelling alongshore current. The bottom is not rarely rough in the ocean, in the shelf and continental slope. We conducted a laboratory experiment to study the impact of the roughness on the downwelling alongshore current and the bottom Ekman layer associated with it.

На вращающейся вокруг своей оси Земле, морские вдольбереговые прибрежные течения, достигающее дна моря, формируют придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае - даунвеллингового вдольберегового течения [1], в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой стратификации, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами. Ранее процесс опускания вод в ПЭС при наличии даунвеллингового вдольберегового течения исследовался в условиях гладкого дна [2]. Вместе с тем, морское дно обычно бывает шероховатым.

Цель данной работы – изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС на шероховатом наклонном дне при наличии и в отсутствии плотностной стратификации.

Эксперименты проводились в цилиндрическом бассейне, и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус. Нижнее основание на дне, целиком занимает дно бассейна. Боковая поверхность конуса покрыта ковриком вышитым биссером - мелкими шариками, создающими шероховатость наклонного дна. В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с

сосудом Мариотта. Над верхним основанием расположен пустотелый цилиндр. На боковой поверхности сделана узкая щель, параллельна основаниям цилиндра и конуса - кольцевой источник, через который из сосуда Мариотта подается вода в бассейн. Перед началом опыта бассейн заполнялся водой (пресной или соленой) плотностью ρ_0 до уровня кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся пресной водой плотностью ρ_1 , подкрашенной красителем. Поступающая в бассейн вода образовывала вокруг источника вдольбереговое антициклоническое течение. Из-за трения течения о дно возникал ПЭС, в котором происходило опускание воды. Вид прибрежного течения и ПЭС снимался сверху и сбоку видеокameraми. Для измерения профилей солёности воды в бассейне, используется одноэлектродный датчик электропроводности, расположенный на координатном устройстве, перемещающем датчик вниз и вверх в автоматическом режиме. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки. Опыты проводились при различных значениях скорости вращения платформы, расхода источника и размера шероховатости дна. Эксперименты проводились с пресной водой в бассейне, и соленой водой в бассейне при различных значениях солёности (Рис.1).

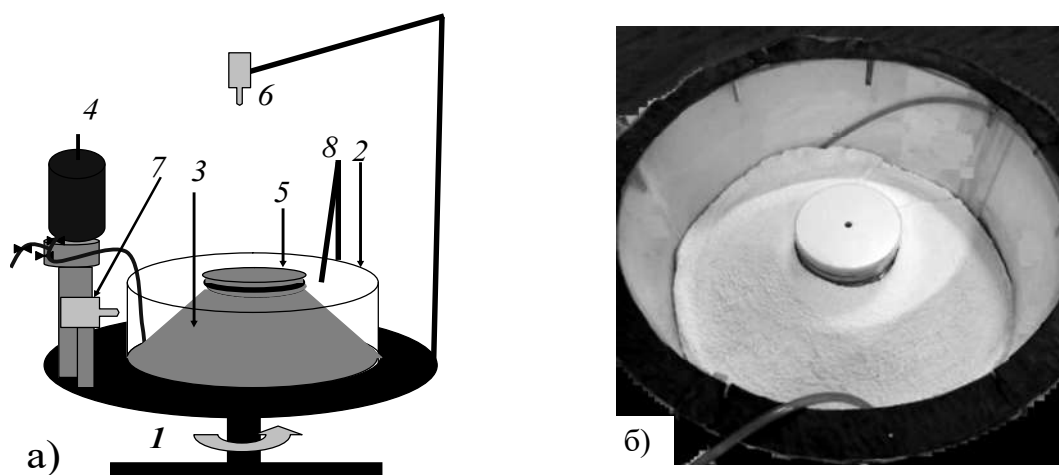


Рис. 1. а) вращающаяся платформа (1), бассейн, с водой плотности ρ_0 (2), усеченный конус покрытый мелкими шариками (3), сосуд Мариотта с подкрашенной пресной водой плотности ρ_1 (4), щелевой источник массы и плавучести (5), видеокamera (6), боковая видеокamera (7), Устройство для измерения профилей электропроводности (солёности) воды (8); б) фото лабораторной установки.

В случае ($\rho_1 \approx \rho_0$) подкрашенная вода, поступавшая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное баротропное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Однако через некоторое время ширина слоя подкрашенной воды и связанного с ним прибрежного течения практически переставала расти, несмотря на продолжавшийся приток жидкости из источника. Стабилизация положения фронта подкрашенной воды была обусловлена формированием в вязком ПЭС потока с расходом $Q_e \approx Q$, распространяющегося вниз по склону и выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны баротропного слоя подкрашенной воды. При этом прибрежное течение также достигает стационарного состояния и его стрежень (максимум азимутальной скорости) располагается на внешней границе баротропного слоя подкрашенной воды (Рис.2а,б). Было

установлено, что с ростом размера шероховатости скорость опускания воды в ПЭС убывает, скорость течения на поверхности убывает, ширина течения убывает, а толщина придонного погранслоя – возрастает.

В случае небольшого различия плотности вод ($\rho_1 < \rho_0$), наклонный фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС с опусканием менее плотной воды вниз по склону. Со временем, ПЭС испытывал конвективную неустойчивость: в нем формировались валиковые структуры, вытянутые в азимутальном направлении. Затем они распадались на трехмерные вихревые структуры, в которых подкрашенная вода ПЭС медленно поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности воды. На Рис. 2в,г,д показана структура течения при небольшом отличии плотности воды в источнике от воды в бассейне. При этом на Рис. 2в боковой вид течения. На Рис. 2г общий вид течения (вид сверху): видно невязкое ядро прибрежного течения как темное кольцо подкрашенной воды вокруг источника, а на периферии видны вихревые элементы конвекции, порожденной конвективной неустойчивостью ПЭС. А на Рис. 2д показан сегмент бассейна с фронтальным течением и вихревыми элементами конвекции, где элементы конвекции – это небольшие вихревые течения подкрашенной жидкости.

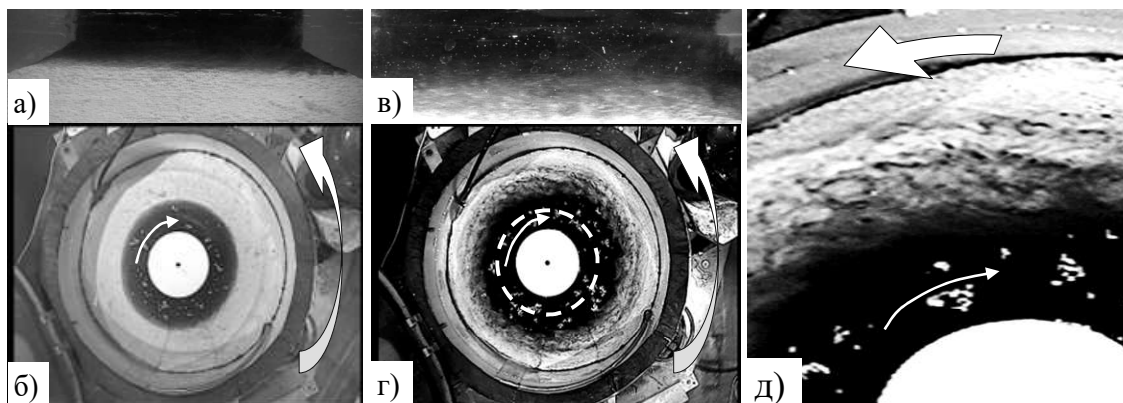


Рис. 2. а,б) Баротропный случай ($\rho_1 \approx \rho_0$); а) боковой вид; б) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС; в,г,е) Бароклинный случай ($\rho_1 < \rho_0$): в) боковой вид; г) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС; д) трехмерные конвективные структуры крупным планом. Пунктир – внешняя фронтальная граница прибрежного течения. Толстая стрелка – направление вращения платформы. Тонкая стрелка – направление прибрежного течения.

Шероховатость дна значительно интенсифицировала процесс конвекции по сравнению с гладким дном. Интенсификация конвекции происходила, главным образом, за счет увеличения толщины придонного экмановского слоя, которое, в свою очередь приводило к росту числа Релея - критерия развития конвекции. Поскольку эта толщина входит в число Релея в кубической степени, ее увеличение на 25 процентов вызывает его почти двукратное увеличение.

Во время некоторых опытов производились зондирования водной среды микродатчиком электропроводности. Датчик равномерно опускался вниз, а затем поднимался вверх и на каждой глубине показывал значение электропроводности. Используя зависимость солёности от электропроводности можно рассчитать солёность на глубине, и построить зависимость солёности от глубины (Рис. 3). Видно, что в придонном слое солёность уменьшается квазилинейно по направлению ко дну. Используя зависимость, можно рассчитать толщину ПЭС.

Значения толщин ПЭС хорошо коррессируют с ранее выполненными расчетами толщины ПЭС для шероховатого дна.

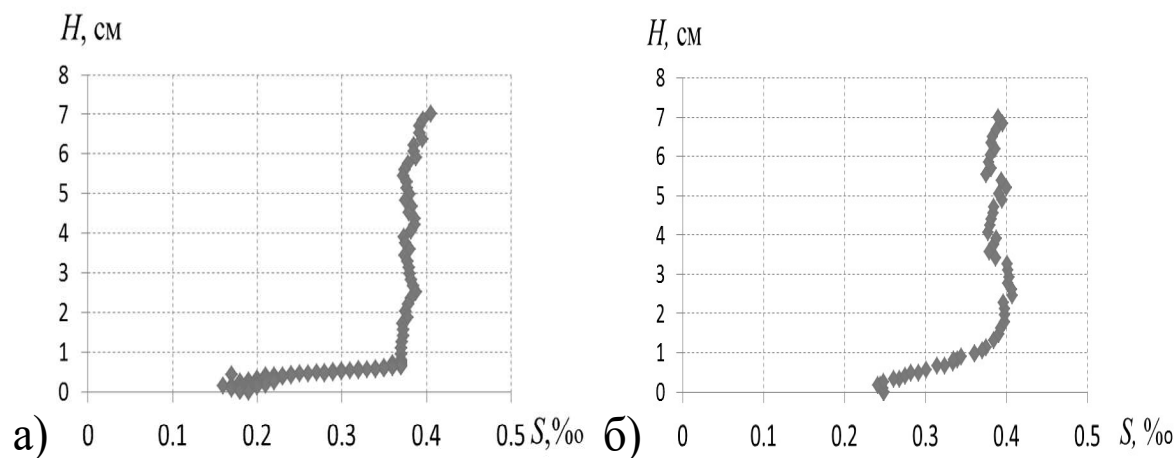


Рис. 3. Профиль солёности - зависимость измеренной датчиком солёности от глубины H , где H расстояние, отсчитываемое от дна а) гладкое дно; б) шероховатое дно.

При большом различии плотности вод ($\rho_1 \ll \rho_0$), наклонный фронт течения не достигал поверхности конуса, и опускания более легкой воды в ПЭС, как на гладком, так и на шероховатом дне не происходило. Из-за этого при работающем источнике масса воды, заключенная внутри области прибрежного течения, росла непрерывно, и положение его фронта не стабилизировалось: происходило его радиальное распространение.

Описанные результаты лабораторных опытов качественным образом согласуются с некоторыми результатами натуральных наблюдений. Шероховатость дна немного (в пределах 20 - 30%) уменьшает вдольбереговую скорость фронтального течения и в тех же пределах увеличивает толщину ПЭС. При этом размер шероховатости в исследованных пределах весьма слабо влияет на характеристики как фронтального течения, так и течения в ПЭС.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2019-0004 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00381.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журбас В.М., Ох И.С., Парк Т. Роль бета-эффекта в угасании вдольбереговой бароклинной струи, связанной с преходящим прибрежным ап- и даунвеллингом: численные эксперименты // *Океанология*. 2006. Т. 46. № 2. С. 189-196.
2. Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Подымов, О.И., Островский А.Г. Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 4. с. 531-537.

РАСЧЕТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАЛАНСОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОГРАММ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.И. Гронская, А.О. Еремеева, Т.Э. Литова

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

CALCULATIONS OF WATER MANAGEMENT BALANCES DURING IMPLEMENTATION OF WATER MANAGEMENT PROGRAMS IN ST. PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

T.P. Gronskaya, A.O. Eremeeva, T.E. Litova

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

Выполнен расчет водохозяйственных балансов при условии реализации запланированных водохозяйственных мероприятий на водосборе р.Невы до 2015 года и на перспективу на 2025 год.

Calculation of water management balances has been performed provided that the planned water management measures are implemented at the catchment of the river Neva until 2015 and in the future for 2025.

В настоящее время основным методом оценки современного экологического состояния водных объектов и его прогноза на перспективу являются расчеты водохозяйственных балансов. В дальнейшем выполненные расчеты позволили выполнить оценку балансов загрязняющих веществ и оценить существующие антропогенные нагрузки.

При расчете водохозяйственных балансов для водосбора р.Невы в данной работе использовались материалы проекта СКИОВО, разработанные для р.Нева ФГБУ «ГГИ» [1]. Водохозяйственные балансы рассчитывались для современного уровня водопотребления и водоотведения для лет различных по обеспеченности стока рек исследуемой территории, а также на перспективу с учетом планируемых водохозяйственных мероприятий.

Результаты водохозяйственного баланса фиксируют величины дефицита водных ресурсов (Def), резерва воды ($W_{рез}$) и проектного (транзитного) стока на следующий водохозяйственный подучасток ($W_{пс}$):

$$\text{- при } B \geq 0 \quad W_{рез} = B, \text{ Def} = 0;$$

$$\text{- при } B < 0 \quad W_{рез} = 0, \text{ Def} = -B.$$

За начало расчетного интервала водохозяйственного года принимался момент наступления наиболее многоводного сезона (половодья). Ресурсная составляющая водохозяйственного баланса включает данные по всем составляющим притока на водных объектах водосбора р.Нева, полученные в результате комплекса гидрологических расчетов.

Информация о заборах и сбросах на участке в речную сеть за прошедший период получена по данным статистической отчетности предприятий всех форм собственности по форме 2-ТП (водхоз) по состоянию на современный уровень.

Объемы водопотребления и водоотведения для водохозяйственных балансов, разрабатываемых на перспективу, определялись на основе прогнозных оценок развития

промышленного и сельскохозяйственного секторов экономики, а также водообеспечения городов и других населенных пунктов на территории расчетного водохозяйственного участка р.Невы

Нормативы допустимого экологически безопасного объема безвозвратного изъятия речного стока устанавливались дифференцированно для каждого водного объекта в различных створах.

Водохозяйственный баланс рассчитан при условии реализации запланированных водохозяйственных мероприятий на территории частного бассейна Невы до 2015 г. с учетом перспективы 2025 года.

При расчете водохозяйственных балансов учтены мероприятия по увеличению производительности водопроводных станций системы водоснабжения Санкт-Петербурга и по увеличению производительности очистных сооружений на территории Санкт-Петербурга, запланированные в Генеральных схемах, по муниципальным очистным сооружениям Санкт-Петербурга в рамках федеральной целевой программы «Национальная программа мер по оздоровлению и реабилитации экосистемы Балтийского моря», а также мероприятия целевой программы "Чистая вода Ленинградской области", реализованных в 2011-2017 году".

Водохозяйственные балансы рассчитанные для частного бассейна р.Нева для годовых интервалов времени для года 95 % обеспеченности стока и на перспективу приведены в таблицах 1-2. Современный водохозяйственный баланс р.Нева от истока до устья для наиболее неблагоприятных экологических условий (для года 95 % обеспеченности стока) включает:

- среднегодовой сток 95 % обеспеченности из Ладожского озера - 59422 млн.м³/год;
- приток воды по впадающим малым рекам бассейна р.Невы - 816 млн.м³/год;
- объем склонового стока - 108 млн.м³/год;
- объем возвратных вод (в том числе подземных) - 785 млн. м³/год.

Общий объем стока р. Невы в приходной части баланса на современном уровне равен 60981 млн. м³/год. Наибольший приток воды на участке р.Нева от истока – до устья приходится на сток малых рек.

Величина объема возвратных вод, в том числе недостаточно очищенных и загрязненных, которые сбрасываются в р.Неву, соизмерима со стоком ее притоков, и составляет 96% от их стока.

Основными составляющими расходной часть баланса на участке от истока до устья являются:

- суммарное водопотребление Санкт-Петербурга и Ленинградской области в пределах частного водосбора р.Невы - 1324 млн. м³/год;
- экологический сток р.Нева - 53645 млн. м³/год.

В настоящее время расходная часть баланса - 54969 млн. м³/год. Резерв водных ресурсов - 6012 млн. м³/год. Сток в Невскую губу составляет - 59657 млн. м³/год

Согласно прогнозу на перспективу на 2025 г., с учетом реализации всех водоохраных мероприятий на водосборе реки, которые заложены целевых программах и в Генеральной схеме развития Санкт-Петербурга по улучшению экологического состояния водных объектов города, основные изменения составляющих водохозяйственного баланса коснутся водопотребления и водоотведения. Это связано с увеличением производительности водопроводных станций и системы водоснабжения Санкт-Петербурга, также увеличением производительности очистных сооружений на территории города.

Объем возвратных вод (в том числе подземных) к 2025 г. увеличится 150 млн. м³/год и составит 785 млн. м³/год. Суммарное водопотребление увеличится на 203 млн. м³/год.

В результате расчетов на перспективу приходная часть водохозяйственного баланса увеличится за счет увеличения объемов водоотведения - 61131 млн. м³/год.

Расходная часть будет составлять порядка 54969 млн. м³/год при увеличении объемов водопотребления - 1527 млн. м³/год. При этом резерв водных ресурсов уменьшится и составит - 5960 млн. м³/год. Сток в Невскую губу - 59605 млн. м³/год.

Выводы

Таким образом, сток р.Нева в устье на перспективу к 2025 г. сократится примерно на 52 млн.м³/год по сравнению с современным, что объясняется увеличением разности между объемами водопотребления и водоотведения за счет прекращения сбросов недостаточно очищенных и загрязненных сточных вод в Неву.

Литература

1. Оценка современного состояния и прогноз тенденций изменения гидрологических характеристик и качества воды р. Невы. Этап 3. Провести прогнозную оценку воздействия климатических изменений и антропогенной нагрузки на гидрологические характеристики и качество воды р.Невы. Отчет о научно-исследовательской работе по Договору № 3/10-12, 2012., 2014, 155 С.

Таблица 1. Водохозяйственный баланс рек частного бассейна р.Нева за годовой интервал времени для года близко к 95% обеспеченности стока р.Нева

Река-створ	Составляющие водного баланса, млн. м ³ /год										
	Приходная часть					Расходная часть			Результаты баланса,	Резерв водных	Сток в Невскую губу
	Объем стока, поступающий с вышеле	Приток по	Склоновый сток	Объем возвратных	Всего по приходной части	Суммарное водопотребление	Экологический сток р.Нева в	Итого по расходной части			
р.Нева, исток-д.Новосаратовка	594 22	64 5	72	18 4	603 23	486	535 48	540 34	628 9	628 9	598 37
р.Нева, д.Новосаратовка- устье	598 37	17 1	36	45 1	604 95	838	536 45	544 83	601 2	601 2	596 57
р.Нева, исток- устье	594 22	81 6	10 8	63 5	609 81	132 4	536 45	549 69	601 2	601 2	596 57

Таблица 2. Водохозяйственный баланс рек частного бассейна р.Нева за годовой интервал времени с учетом перспективы на 2025 г. для года 95% обеспеченности стока р.Нева

Река-створ	Составляющие водного баланса, млн. м ³ /год												
	Приходная часть					Расходная часть			Результаты баланса	Резерв водных ресурсов	Сток в Невскую губу		
	Объем стока, поступающий с территории бассейна	Приток по территории бассейна	Склоновый сток	Объем возвратных вод	Всего по приходной части	Суммарное	Экологический сток р.Нева в бассейн	Итого по расходной части					
р.Нева, исток-д.Новосаратовка	59422	64	5	72	24	9	60388	32	535	538	65	65	600
р.Нева, д.Новосаратовка- устье	60065	17	1	36	53	7	60809	12	536	548	59	59	596
р.Нева, исток- устье	59422	81	6	10	78	8	61131	15	536	551	59	59	596

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
ФИНСКОГО ЗАЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕНТОСНОГО МОДУЛЯ МОДЕЛИ ERSEM

Т.Р. Еремина¹, Л.М. Наумов¹, А.В. Исаев²

1 - Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

2 - Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, Россия

MODELING OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE
GULF OF FINLAND BASED ON BENTHIC MODULE OF THE ERSEM

T.R. Eremina¹, L.M. Naumov¹, A.V. Isaev²

1 - Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia

2 - Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В работе рассматривается бентосный модуль модели ERSEM, совмещенный с гидрофизической моделью GOTM и примененный точки в Финском заливе Балтийского моря. Результаты расчетов показали, что модель достаточно хорошо описывает изменчивость биогеохимических переменных.

The paper considers the benthic module of the ERSEM model coupled with the hydrophysical model GOTM and applied in the Gulf of Finland of the Baltic sea. The results of calculations showed that the model describes the variability of biogeochemical variables quite well.

Введение

Бентосная модель, входящая в качестве модуля в структуру Европейской модели экосистем региональных морей ERSEM, разработанная в Морской лаборатории Плимута (PML) [1] включает в себя такие переменные как: растворенное органическое вещество, растворенное неорганическое вещество и три формы детрита- взвешенное разлагаемое, доступное стойкое и захороненное стойкое вещество, зообентосные организмы - мейобентос и поглотители взвеси и донных отложений, аэробные и анаэробные бактерии.

С помощью модели ERSEM могут быть воспроизведены биогеохимические процессы как в водной толще, так и в бентосном слое. При этом бентосный слой по содержанию в нем растворенного кислорода разделен на три подслоя: кислородный, содержащий растворенный кислород; оксидный, в котором кислород содержится только в составе оксидов, и бескислородный.

Моделирование биогеохимических переменных в ERSEM выполняется совместно с моделью, описывающей физические процессы в водной среде. В одномерном приближении использовалась гидрофизическая модель GOTM [2], разработанная в Дании. Модель GOTM описывает морскую турбулентность, перенос примеси, а также взаимодействие на границе океан-атмосфера (обмен теплом, влагой и импульсом). Связующим звеном между гидрофизической и биогеохимической моделями служит специально разработанный для этих целей модуль FABM [3].

Для выполнения расчетов была выбрана точка с координатами 60.00° с.ш. и 26.33° в.д. Выбор этой станции обусловлен достаточно хорошей обеспеченностью данными наблюдений, необходимыми для задания начальных и граничных условий. В качестве атмосферного форсинга использовались метеорологические параметры из реанализа Era-Interim [4]. Для водных границ

использовались данные модели SPBEM-2[5]. Расчет выполнялся в период с 01.01.2009 по 31.12.2014. Дискретность выходных модельных данных была равна одним суткам. Расположение точки представлено на рисунке 1.

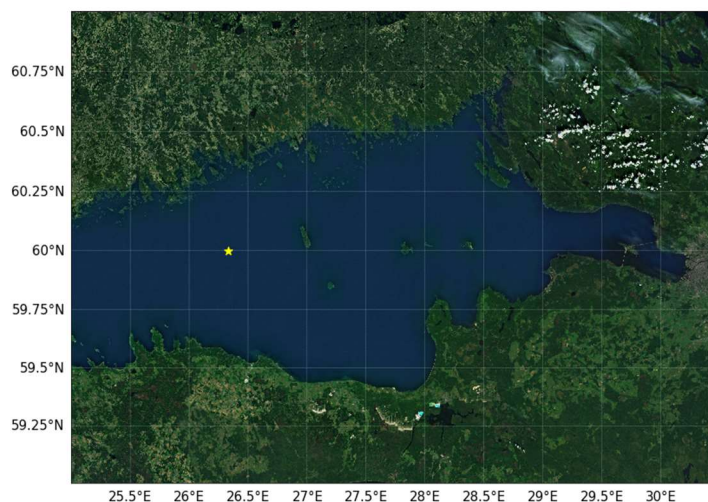


Рис. 1. Расположение станции мониторинга в Финском заливе, выбранной для моделирования (отмечена желтой звездой)

В рамках работы была также произведена валидация полученных модельных результатов, для выполнения которой использовались данные мониторинга в точке LL3A. На рисунке 2 приводятся результаты валидации данных гидрофизических параметров (температуры и солености морской воды).

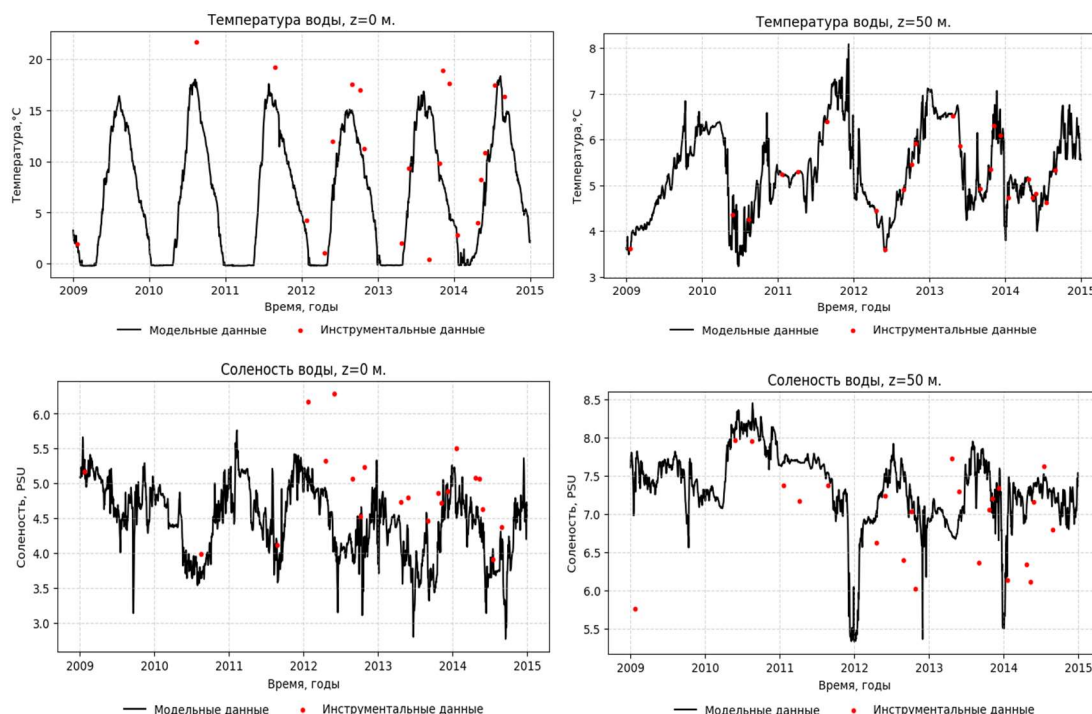


Рис. 2. Сравнение модельных гидрофизических данных с данными наблюдений

Некоторые отклонения от инструментальных данных как температуры, так и солености связаны с упрощенной структурой модели, в частности, с отсутствием воспроизведения поступления вод из центральной части Балтийского моря.

Из рисунка 3 видно, что моделью хорошо воспроизводится вертикальная структура фосфатов, нитратов и растворенного кислорода, однако, в придонном слое содержание кислорода превышает наблюдаемые значения, что обуславливает недостаточное содержание фосфатов и избыточное содержание нитратов. Для улучшения воспроизведения кислородного режима в придонном слое вероятно требуется перейти от точечной модели к боксовой.

Моделью воспроизведена межгодовая изменчивость вертикального распределения соединений азота и фосфора, содержащегося во всех видах бактерий (рис. 4), а также во взвешенном органическом веществе в бентосном слое, что позволяет оценить их вклад в общий бюджет азота и фосфора в бентосном слое.

В целом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что модель ERSEM может быть использована для исследования биогеохимических процессов на дне в Финском заливе.

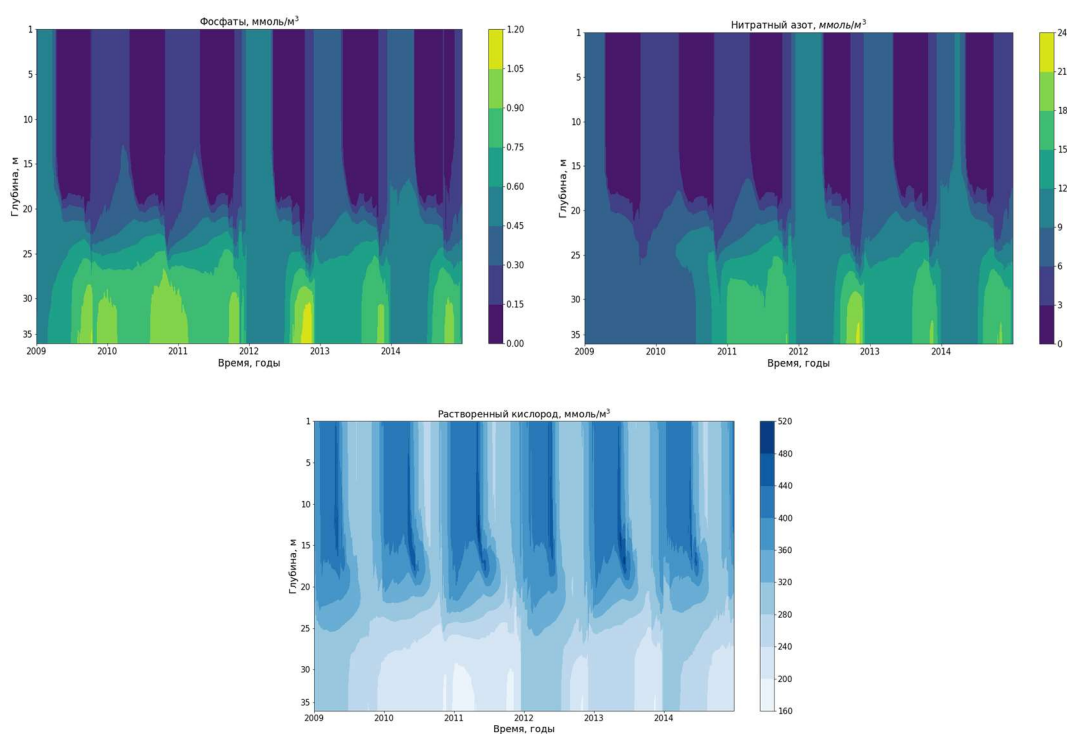


Рис. 3. Пространственно-временная изменчивость смоделированных значений фосфатов, нитратов и растворенного кислорода

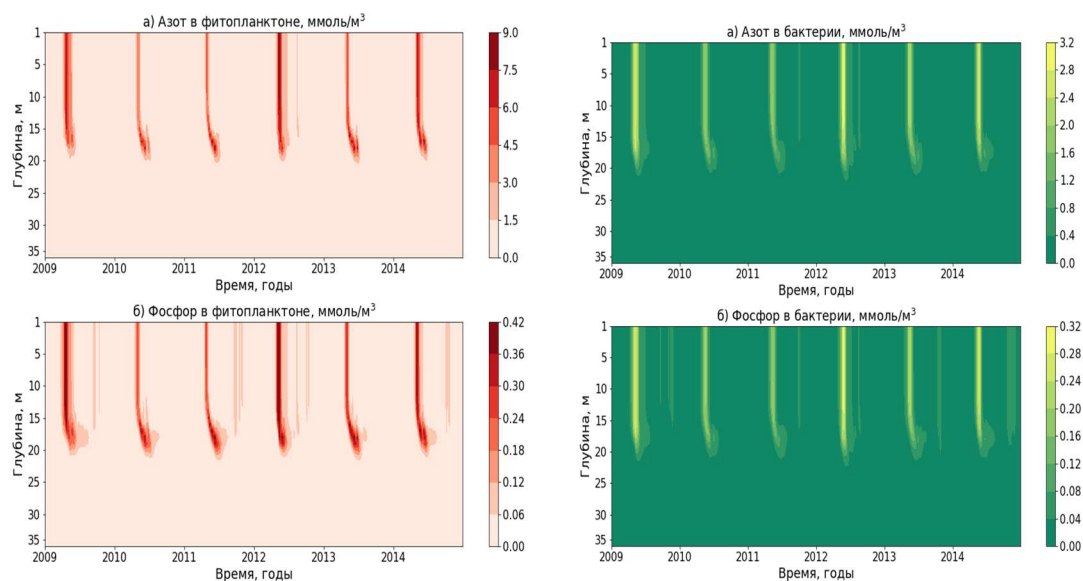


Рис. 4. Пространственно-временная изменчивость смоделированных значений азота и фосфора в бактерии и фитопланктоне

Литература

1. M. Butenschön et al.: ERSEM 15.06 // Geosci. Model Dev., 9, 1293–1339, 2016.
2. GOTM URL: <http://gotm.net> (дата обращения: 30.01.2019).
3. FABMURL: <https://github.com/fabm-model/fabm/wiki> (дата обращения: 30.01.2019).
4. Dee DP et al. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the dataassimilation system. Q.J.R. Meteorol.Soc.137: 553 – 597. DOI:10.1002/qj.828.
5. Vladimirova, O.M., Eremina, T.R., Isaev, A.V., Ryabchenko, V.A., Savchuk, O.P. Modelling dissolved organic nutrients in the Gulf of Finland. // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2018. Т. 11, № 4

Финансирование

Работа выполнялась в рамках осуществления научной деятельности по базовой части государственного задания №5.6010.2017/8.9БЧ Министерства образования и науки РФ.

МОНИТОРИНГ МОРСКОГО МУСОРА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Ерёмина Т.Р., Ершова А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

MARINE LITTER MONITORING IN THE EASTERN GULF OF FINLAND

Eremina T.R., Ershova A.A.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Исследовано распределение морского мусора в акватории Финского залива с применением международных методик мониторинга песчаных пляжей замкнутых морей. Проведен анализ данных летнего мониторинга в 2018 г. и 2019 г., который показал значительные различия в составе и количестве морского мусора в целом на северном и южном побережьях Невской губы и восточной части Финского залива. Количество и распределение антропогенного мусора по побережьям значительно различались в зависимости от расположения пляжей, погодных условий, гидрологических и морфометрических характеристик исследуемых побережий. Определены некоторые закономерности распределения пластикового мусора по ширине пляжа. Отмечена многофакторность распределения морского мусора в целом и необходимость проведения более детальных исследований, принимающих во внимание сезоны года и гидрометеорологические условия.

The distribution of marine litter in the Gulf of Finland was studied using international monitoring techniques for sandy beaches of enclosed seas. The analysis of summer monitoring data in 2018 and 2019 showed significant differences in the composition and quantity of marine litter in general on the northern and southern coasts of the Neva Bay and the eastern part of the Gulf of Finland. The number and distribution of anthropogenic litter along the coasts varied significantly depending on the location of the beaches, weather conditions, hydrological and morphometric characteristics of the studied coasts. Some regularities of the distribution of plastic litter along the width of the beach are determined. The need for more detailed studies taking into account the seasons and hydrometeorological conditions is noted due to the multifactorial distribution of marine litter in general.

Актуальность работы связана с нарастающей проблемой накопления морского мусора, и в частности микропластика в одной среде морей и океанов [1]. Однако на сегодняшний день не существует единых методик мониторинга данного вида загрязнения. По сообщениям ХЕЛКОМ в Балтийском море на сегодняшний день недостаточно проводимых мероприятий по предотвращению, сокращению и контролю морского мусора. Текущие исследования в разных странах Балтийского региона основаны на различных методах оценки, которые дают часто несравнимые результаты [2, 3]. В связи с этим, целью данного исследования является сравнение и адаптация международных методик мониторинга морского мусора и применение их для оценки загрязненности пляжей Финского залива Балтийского моря [4, 5].

Для этого в течение летнего периода в 2018-2019 гг. проводились полевые исследования на песчаных побережьях Финского залива и Невской губы. Выполнено обследование семи пляжей лагунного типа (Невская губа) и восьми пляжей за пределами Комплекса защитных сооружений (КЗС) на северном и южном побережьях восточной части Финского залива. Для полевых исследований использовались два метода отбора проб: Фрейм-метод (метод рамки), который применяется для побережий лагун, замкнутых заливов, эстуариев рек, и обязательно включает в себя зону заплеска (т.е. зону воздействия волн и накопления материала). Данный метод был основным при обследовании побережий Невской губы. Рейк-метод (метод граблей), использовался для исследования всей ширины пляжа от уреза воды до начала растительности, и направлен на обследование больших площадей пляжей, которые регулярно убираются городскими службами от крупного мусора. Этот метод был выбран для обследования пляжей внешней части эстуария (Курортная зона, пляжи Кронштадта и южного побережья поблизости от КЗС). Обе методики предполагают просеивание песка с использованием размера ячейки сита до 2 мм [4, 5].

В результате проведенных исследований было выявлено значительное различие в составе и количестве морского мусора в целом на северном и южном побережьях Невской губы. Количество и распределение антропогенного мусора по побережьям значительно различались в

зависимости от расположения пляжей, погодных условий, гидрологических и морфометрических характеристик исследуемых побережий. Наибольшее загрязнение зоны заплеска было обнаружено на южных пляжах (Ломоносов, Александрия и пляж у квартала Жемчужный).

В целом, на побережьях Невской губы восточной части Финского залива в летний период преобладает макро- и мезомусор, который включает в себя большое количество пластика разнообразного происхождения (фильтры от сигарет, ушные палочки, пенопласт), а также стекла. При исследовании микромусора выявлено преобладание пластиковых частиц (до 2 мм), стекла и резины.

Исследования Невской губы 2019 года, как и в 2018 году, показали наибольшие скопления мусора в целом (по массе) на пляжах, находящихся вблизи зон строительства (Жемчужный пляж, Лахта), где присутствует большое количество строительного мусора (шпаклевка, нетканый материал), а на побережьях, находящихся поблизости от сточных коллекторов, также присутствует большое количество нетканого материала (салфетки).

Исследование распределения микромусора показало, что наиболее загрязненными оказались пляжи Зеленогорска на северном побережье, Александрии - на южном и пляжи на о. Котлин (Кронштадт). Меньше всего мусора по массе в 2019 году найдено на пляже в Солнечном, что скорее всего связано с тем, что мониторинг проводился сразу после его уборки. При этом в 2019 году отмечались отдельные характерные особенности загрязненности пляжей, и на каждом пляже преобладали конкретные виды мусора: на Жемчужном больше всего было найдено сигарет, пластика, резины, в парке Александрия и в Кронштадте - много стекла, в Лахте - нетканого полотна, в Парке 300-летия - фольги, а в Ломоносове – бумаги. Это может быть связано с особенностями морских течений, объектами человеческой деятельности, находящимися поблизости, наличием и регулярностью уборки пляжей, а также с антропогенной нагрузкой на них (например, сигаретные фильтры на Жемчужном пляже были вынесены на берег вместе с водной растительностью, кусочки металла в Кронштадте напрямую связаны с проплывающими и стоящими в порту судами, а фольга в Парке 300-летия скорее всего была оставлена отдыхающими).

В целом, как и в 2018 году, летом 2019 года концентрации микрочастиц и пластика в частности на исследуемых побережьях значительно отличались: на северном побережье в Курортном районе, а также на северном пляже о. Котлин концентрации микрочастиц были в несколько раз (до 5-6 раз) выше, чем на южном побережье Финского залива (Б. Ижора и Лебяжье). Также, на южном пляже о. Котлин было найдено большое количество пластиковых компонентов биофильтров, которые используют на очистных сооружениях, что говорит о возможных неполадках близлежащих сооружений, или о несоблюдении технологий по работе с биофильтрами.

Таким образом, можно говорить об определенных тенденциях накопления микропластика на пляжах, которое происходит в основном во внешней эстуарии - восточной части Финского залива, в то время как во внутренней эстуарии микропластик содержится в малых количествах. Другой особенностью накопления микропластиковых частиц на песчаных побережьях было существование нескольких зон аккумуляции микропластика по ширине песчаного пляжа. Особенно это было заметно на пляжах Курортного района, где несмотря на частые и регулярные уборки пляжей, существует четкая зона аккумуляции микропластика в «сухой» части пляжа, на значительном удалении от зоны заплеска и линии воды (до 15-20 м), где был найдено максимальное количество пластикового мусора, в частности пластиковых микрогранул и ватных палочек.

Данные мониторинга 2018 года послужили основой для определения станций дальнейшего мониторинга пластикового мусора в акватории Финского залива; в 2019 году для отбора проб были выбраны пляжи для проведения регулярного мониторинга, а также установлены несколько пляжей для ежемесячного отбора проб для определения сезонной динамики скопления пластикового мусора, в частности пластиковых гранул, в данном регионе в связи с многофакторностью распределения морского мусора в данном регионе и необходимостью более детального исследования закономерностей распространения микрочастиц.

Литература

1. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? // *Science*, 304(5672), 838-838.
2. OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter. Steering Group.
3. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. Luxembourg: Publications Office of the European Union 2013 – 128 pp. doi:10.2788/99475
4. Haseler, M., Schernewski, G., Balciunas, A. et al. (2018). Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // *J Coast Conserv* 22: 27.
5. Eremina T., Ershova A., Martin G., Shilin M. (2018). Marine litter monitoring: review for the Gulf of Finland coast. // *IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC)*, 8 p. DOI: 10.1109/BALTIC.2018.8634860

МОНИТОРИНГ СТОКА НАНОСОВ И КАЧЕСТВА ВОД В УСТЬЕ Р. КОЛЫМА В УСЛОВИЯХ ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ 2019 г.

В.А. Ефимов, Д.В. Магрицкий, Л.Е. Ефимова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, Москва, Россия

MONITORING THE DRAIN OF STRAINS AND THE QUALITY OF WATER IN THE MOUTH OF R. KOLYMA UNDER THE CONDITIONS OF SUMMER SEASON 2019

V.A. Efimov, D.V. Magritsky, L.E. Efimova

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

Работа посвящена выявлению основных источников поступления взвешенных веществ на устьевом участке р. Колымы, оценке поступления взвешенного материала в Восточно-Сибирское море и интенсивности осадконакопления в разных частях дельты.

The work is devoted to the study of sediment flows in the estuary section of the river. Kolyma. The purpose of the work is to assess sediment runoff and its distribution along the delta branches and the intensity of its sedimentation.

Введение

Изучение потоков наносов в устьях крупнейших арктических рек России позволяет оценить поступление взвешенных веществ в бассейн Северного Ледовитого океана и интенсивность эрозионных процессов на водосборе, выявить влияние антропогенной деятельности и некоторых катастрофических событий на приустьевой участок реки. Изучение дальности распространения шлейфов мутности и характеристика донных отложений на морском крае дельты позволяют получить информацию о влиянии потоков наносов на качество вод за пределами морского края дельты.

Цель работы – оценка стока наносов и его распределения по рукавам дельты, а также определение основных источников поступления взвешенных веществ на устьевом участке. Река Колыма – одна из наиболее полноводных рек России, она вносит огромный вклад в поступление наносов в Восточно-Сибирское море. Среднегодовой сток реки составляет около 123 км³/год, сток наносов - около 5 млн/год. Бассейн реки имеет сложное геологическое строение. Верховья реки представлены горными массивами, ниже Колымской ГЭС река протекает по Нижнеколымской низменности, где разделяется на большое количество протоков. Приустьевой участок реки длиной около 150 км (от места впадения р. Омолон) характеризуется постепенным снижением мутности воды в результате разбавления водами притоков. Вершина дельты р. Колымы расположена в районе пгт. Черский. Здесь периодически наблюдается влияние моря, связанное с проникновением солёных вод в придонные горизонты проток дельты. Устьевой участок имеет длину около 160 км, в его пределах происходит значительная трансформация потоков наносов, связанная, в основном с аккумуляцией материала в многочисленных протоках дельты.

На устьевом участке р. Колымы происходит локальное увеличение мутности воды в результате таяния мерзлоты, наблюдается неоднородность в распределении потока наносов по ширине реки вследствие впадения притоков- рек Омолон, Большой Анюй, Малый Анюй, Пантелеиха. Катастрофические изменения мутности, связанные с прорывом термокарстовых озёр или обрушением берегов, а также с интенсивными сбросами вод водохранилищами, расположенными в бассейне р. Колымы. В результате меняется как режим стока наносов, так и химический состав вод.

Материалы и методы

В работе рассматриваются результаты комплексных гидролого-гидрохимических исследований на устьевом участке р. Колымы, проведенных в июле–августе 2019 года. В рамках исследования проведено рекогносцировочное обследование более 300 км русла, создана сеть из 42 репрезентативных станций мониторинга как на р. Колыме, так и на её крупнейших притоках в устьевой зоне. Получены данные о геологическом строении водосбора. Расходы воды измерялись с помощью акустик-доплеровского профилографа.

При проведении полевых наблюдений были выбраны репрезентативные створы. Отбор проб воды для определения мутности на репрезентативной станции проводился по всей ширине потока. После определения максимальной глубины отбирались пробы для определения мутности и химического состава воды из поверхностного, среднего и придонного горизонтов. В базовом створе пгт Черский, пробоотбор проводился с 3-х горизонтов на 4-х вертикалях. Также был выполнен отбор проб донных отложений, что позволило охарактеризовать пространственную структуру потока наносов в створе. Наблюдения выполнялись в течении месяца с периодичностью 1 раз в 4–6 дней.

В полевых условиях были определены электропроводность, pH, Eh, концентрации главных ионов, биогенных элементов, содержание взвешенного (POC) и растворенного (DOC) органического углерода. Пробы подготовлены для анализа методом ICP-MS растворенных и взвешенных форм микроэлементов, что позволит получить комплексную оценку химического состава вод на устьевом участке р. Колыма.

Результаты

Русло реки в районе пгт Черский представляет собой прямолинейный участок длиной около 15 км, ниже которого р. Колыма разделяется на 2 крупных рукава. Расходы в створе изменялись с 7200 до 10000 м³/с. Максимальные расходы наблюдались 10-16 августа, после выпадения обильных осадков в верховьях реки и начала сброса вод из Колымского водохранилища. Показатели мутности воды имеют схожее распределение с расходами воды при средней мутности 30-35 мг/дм³. Наибольшие концентрации взвешенных наносов (60-70 мг/дм³) отмечаются у левого берега реки, который подвержен размыву в результате таяния мерзлоты и волновой эрозии на протяжении 30 км выше створа наблюдений. Правый берег Колымы представлен низкой поймой. В 2 км выше створа в р. Колыма с правого впадает р. Пантелеиха (мутность 4-5 мг/дм³), а в 50 км выше створа - р. Анюй (мутность 10-12 мг/дм³). Это приводит к значительному разбавлению вод р. Колыма. В течение всего периода наблюдений мутность воды у правого берега Колымы не превышала 20 мг/дм³. Таким образом, разница между концентрациями взвешенных веществ у левого и правого берегов составила более 50 мг/дм³, а по глубине значения мутности воды изменялись на 10-20 мг/дм³. В 10 км ниже створа расположен участок разветвления русла, который делит Колыму на 2 рукава – Походскую Колыму и Каменную Колыму. В Походскую Колыму попадают более насыщенные наносами воды. Также притоки Походской Колымы имеют повышенную мутность (20-40 мг/дм³) по сравнению с притоками Каменной Колымы (10-15 мг/дм³). В результате аккумуляции наносов, Походская Колыма постепенно мелеет, а основной сток осуществляется через Каменную Колыму (>63%).

Обследование приустьевого и устьевого участков р. Колымы, суммарной длиной около 300 км, показало постепенное снижение мутности воды в 6 раз, со 120 мг/дм³ у пос. Колымское до 20 мг/л на морской границе дельты. Стоит отметить рост мутности воды в пределах морской границы дельты, особенно в придонных слоях. Вероятно, это мутьевой поток, образующийся при слиянии нескольких рукавов. Данный рост не связан с проникновением морских вод или наличием обратных течений, взмучивающих донные отложения, поскольку изменения скорости или в значениях минерализации воды не были зафиксированы. Отмечается, что притоки, впадающие в р. Колыму с левого берега,

значительно более мутные, чем правобережные притоки. Разница между ними составляет 20-40 мг/дм³. Бассейны правых притоков имеют горный рельеф и характеризуются менее интенсивным таянием мерзлоты. В бассейнах левобережных притоков Колымы сосредоточены россыпные месторождения золота, однако в период исследования пиков мутности, связанных с работой золотодобывающих предприятий, выявить не удалось. Значения мутности воды этих притоков не превышают 10-13 мг/дм³.

Источником наносов в приустьевой области р. Колымы служат участки выхода на поверхность Едомы – массива грунта, смешенного с большим количеством жильного льда. Это 2 крупных участка, расположенные ниже пос. Колымское, один из которых – Дуванный Яр – имеет длину более 10 км и высоту берегов более 30 м. Интенсивное таяние жильных льдов и размыв вышележащих пород приводит к увеличению мутности воды в районе размываемых берегов до 320 мг/дм³. Скорость размыва берегов составляет до 2 м/год. Это важнейший источник наносов для данной территории.

Поступающие в реку наносы в значительной степени влияют на химический состав вод. Гидрохимические съёмки выявили полное отсутствие влияния морских вод. Электропроводность воды составила 80-100 мкСм/см в притоках и 150-160 мкСм/см в р. Колыма. Реакция рН вод – слабощелочная (8,1-8,4), с незначительным увеличением к дельте. Температура составила 11-13⁰ С. Температура воды левых притоков на 1-1,5⁰С более высокая, чем в правых притоках.

В результате таяния мерзлоты в реку попадает большое количество растворённого органического углерода, а также биогенных элементов. В реке Колыме концентрации DOC в период наблюдения составили, в среднем 4,5-5 мгС/л при максимальных значениях в 8 мгС/л в районе Дуванного Яра. Концентрации растворенного органического азота – 6-7 мгN/л. На участках со слабым течением, а также в пойменных протоках, постоянно фиксировалось цветение воды.

Выводы

Река Колыма является труднодоступным и слабо освещённым гидрологической информацией водным объектом. При этом её вклад в формирование гидрологической, гидрохимической и гидробиологической структуры прибрежной части Восточно-Сибирского моря крайне велик. Всё это подчёркивает важность всесторонних исследований этого водного объекта. Существующие обобщения данных о расходах и химическом составе (ArcticGRO, Росгидромет) недостаточны и требуют более детальных исследований. Выполненный мониторинг в районе створа пгт Черский позволил охарактеризовать режим потоков взвешенных веществ в устьевой зоне р. Колыма в периоды спада половодья и летней межени, определить основные источники поступления наносов и охарактеризовать химический состав вод устьевой зоны.

Основным фактором, влияющим на увеличение мутности воды приустьевого участка р. Колымы является таяние многолетнемерзлых грунтов. Оно же приводит к значительному увеличению в воде концентраций биогенных и органических веществ. Характер распределения потоков наносов приводит к постепенному отмиранию рукава Походская Колыма в результате аккумуляции в нём большого количества наносов.

Исследования потоков наносов будут дополнены изучением гранулометрического состава наносов, который позволит выявить причины прохождения крупных пиков мутности во время экспедиции.

Экспедиционные исследования и обработка результатов выполнены при поддержке проекта РФФИ № 18-05-60219

БЕРЕГОВЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ: ОСОБЕННОСТИ И ЛЕГИТИМНОСТЬ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Жигульский В.А.¹, Гогоберидзе Г.Г.², Шилин М.Б.³, Мамаева М.А.⁴, Румянцева Е.А.², Бобылев Н.Г.³, Назарова А.В.¹

¹ ООО «Эко-Экспресс-Сервис»

² Мурманский арктический государственный университет

³ Санкт-Петербургский государственный университет

⁴ Государственный гидрологический институт

COASTAL GEOSYSTEMS: FEATURES AND LEGALITY OF THE CONCEPTUAL APPARATUS IN THE RUSSIAN FEDERATION

Zhigulsky V.¹, Gogoberidze G.², Shilin M.³, Mamaeva M.⁴, Rumiantceva E.², Bobylev N.³, Nazarova A.¹

¹ "Eco-Express-Service" LLC, St. Petersburg, Russia

² Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

³ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

⁴ State Hydrological Institute

В рамках программы приграничного сотрудничества Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020 «Getting Ready for the Cross-Border Challenges: Capacity Building in Sustainable Shore Use» проведен анализ подходов к определению береговой системы, применимых к условиям законодательства Российской Федерации.

Within the framework of the Cross-border cooperation Programme Russia – South-Eastern Finland 2014-2020 "Getting Ready for the Cross-Border Challenges: Capacity Building in Sustainable Shore Use", the analysis of approaches to the definition of the coastal geosystem applicable to the conditions of the legislation of the Russian Federation was carried out.

Формирование понятия береговой системы

Необходимость формирования понятийного аппарата по береговой системе, объединяющей морскую акваторию и приморскую территорию суши, разделяемые береговой линией, диктуется как практическими целями, так и задачами построения общей теории развития этого территориального образования. Исторически береговая зона является местом концентрации разнообразных видов антропогенной деятельности и все более интенсивного развития береговой техносферы – начиная со строительства портовых городов античного Средиземноморья и городских комплексов Венеции VII века и заканчивая сплошной урбанизацией побережий Японии, Сингапура, Нигерии и северо-востока США в начале XXI века. В истории развития систем планирования использования ресурсов приморских территорий и прилегающих акваторий прослеживаются два основных направления: либо достижение некоторого гражданского согласия (пример в России – освоение новгородцами Поморья), либо реализация решений, принимаемых лидером («прорубание окна в Европу» Петром I-м).

С точки зрения практической деятельности разработка понятийного аппарата по береговой системе должна способствовать взаимопониманию между факторами различной антропогенной деятельности, эффективному обмену информации между ними, формированию механизмов устойчивого управления, базирующихся на ясности и общности понимания всеми участниками процесса целей и задач развития этой сложно устроенной многокомпонентной геосистемы.

Уже в 60-70 г. прошлого столетия в развитых странах появилось понятия «прибрежная зона» и «комплексного управления прибрежными зонами» [1-3]. Важнейшую роль в развитии комплексного управления прибрежными зонами как направления практической деятельности имели организация и проведение целого ряда различных международных мероприятий и, в первую очередь, Конференции ООН по охране окружающей среды и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Итогом международного саммита явилось принятие итогового документа «Повестка дня 21 века». В главе 17 этого итогового документа, в частности, было указано на необходимость устойчивого развития прибрежных зон. В качестве инструмента для обеспечения такого устойчивого развития всем странам, имеющим морское побережье, было рекомендовано создавать системы комплексного управления прибрежных зон.

В целом в Российской Федерации понятие coastal zone до сих пор не получило ни официального юридического (законодательного) статуса, ни единого адекватного перевода этого понятия. В смежных областях, касающихся береговых зон (геологии, геоморфологии, гидродинамике, биологии, менеджменте и т.д.), отсутствует единая терминология, а в ряде случаев одни и те же термины неоднозначно используются. Например, в геологии, геоморфологии, береговедении под понятием coastal zone понимается береговая зона, объединяющая побережье, берег и шельф, а в морской биологии этому понятию соответствует прилегающая к суше часть акватории [4]. В связи с разнообразием подходов, площади и границы этой зоны существенно, а иногда и принципиально различаются между собой.

По совокупности отраслей науки, наиболее полное определение прибрежной зоны дает Н.А. Айбулатов [1]. В соответствии с ним, прибрежная зона – участок прибрежной акватории и расположенных над ним поднятий земли, а также омываемая такими водами часть суши, которые в существенной мере взаимно влияют на состояние каждой из земельной, водной и донной составляющих данного геосистемного единства. Также необходимо также упомянуть определения в специализированном правовом глоссарии «Комплексное управление прибрежными зонами» А.Н. Вылегжанина [5], в котором впервые в отечественной практике определено понятие комплексного управления прибрежными зонами, и Глоссарии по Кадастру береговой (прибрежной) зоны [6].

Возможности применения понятия комплексного управления прибрежной зоны в Российской Федерации

Несмотря на многочисленные попытки обоснования понятий, объединяющих приморские территории и прилегающие акватории, напрямую использовать понятие «coastal zone» и принципы «integrated coastal zone management» в России в настоящее время не представляется возможным по действующему законодательству. Согласно статье 71(н) Конституции РФ, «В ведении Российской Федерации находятся ... определение статуса ... территориального моря, воздушного пространства, исключительной экономической зоны и континентального шельфа Российской Федерации». Одновременно согласно статье 8 пункта 1 Водного Кодекса Российской Федерации, «Водные объекты находятся в собственности Российской Федерации». Таким

образом, для приморских территорий правом собственности владеет как Российская Федерация, так и правительства ее субъектов, администрации районных и местных муниципальных образований, юридические и частные лица, в то время как прилегающие акватории являются исключительно федеральной собственностью.

В то же время, относительно прилегающей акватории понятийных и юридических вопросов не возникает. В качестве искомого определения можно обратиться к статье 22 Закона «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации», в которой говорится, что прилежащая зона Российской Федерации – морской пояс, который расположен за пределами территориального моря, прилегает к нему, и внешняя граница которого находится на расстоянии 24 морских миль, отмеряемых от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря.

Тем не менее, в статье 9 Водного Кодекса утверждается, что «физические лица, юридические лица приобретают право пользования поверхностными водными объектами по основаниям и в порядке, которые установлены главой 3 настоящего Кодекса», а в главе 3 Водного Кодекса регламентируются права и возможности пользования и аренды водных объектов. Также в Водном Кодексе в статье 65 утверждается положение о водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах, рассчитываемых от линии максимального прилива, или от набережных в пределах урбанизированных зон.

Таким образом, полностью отвергать устоявшийся и широко применяемый в мире термин «coastal zone» в русскоязычной научно-практической литературе не стоит, так как в принципе возможно рассмотрение береговой системы как единого объекта не только с географической, но и с юридическо-правовой точки зрения. Например, это в настоящее время легитимно для береговых систем внутренних водных объектов Российской Федерации, как совокупности прибрежной территории и прилегающей акватории, разделенных береговой чертой. Однако для морских водных объектов такая интерпретация береговой системы как совокупности приморской территории и прилегающей акватории является вопросом будущего. Заметим только, что в последнее время, термин «integrated coastal zone management» постепенно заменяется более широким термином «integrated coastal and ocean management». В данном термине уже есть территориальное разделение на приморскую территорию и прилегающую акваторию, и, с учетом вышесказанного, этот термин является более логичным и юридически правильным для российских условий.

Понятия приморской территории, прилегающей акватории и морского пространственного планирования как инструмента обоснования управленческих решений в области морской деятельности в Российской Федерации

Исходя из изложенного выше, можно определить понятие приморской территории как прилегающей к морю части суши с присущими ей свойствами и ресурсами, характеризующейся протяженностью и площадью, географическим положением, социально-экономическими, политическими, экологическими и иными качествами, являющимися объектом конкретной деятельности или исследования. Приморская территория рассматривается как географическое образование с пространственно четко выраженными элементами: экономические районы, промышленные узлы, территориально-производственные комплексы, агропромышленные комплексы и т.п.

Прилегающую акваторию можно считать неотъемлемой частью береговой системы, примыкающей к приморской территории, границы которой определяются в соответствии с

Законом «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации».

В последние годы все большее внимание привлекает вопрос планирования развития морской деятельности в целом, а в рамках этого – морское пространственное планирование (МПП), или морское акваториальное планирование (МАП), как один из путей изучения и действий на приморских территориях и прилегающей акватории. В соответствии с определением Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО, морским пространственным планированием является общественный процесс анализа и размещения пространственного и временного распределения человеческой деятельности в морских районах для достижения экологических, экономических и социальных задач, которые обычно определены в рамках политического процесса. МПП направлено на сведение к минимуму конфликтов между различными природопользователями, а также минимизации негативных эффектов от их деятельности путем распределения пространства и применения зонирования для различных целей. По существу МПП является инструментом планирования, который способствует интегрированному, дальновидному и последовательному принятию решений по использованию приморских территорий и прилегающих акваторий. Примером подобного зонирования пространства является составление земельного кадастра, который определяет назначение использования различных территорий. С учетом явных законодательных трудностей в принятии комплексного управления прибрежными зонами в России, принципы МПП для совокупного пространства приморской территории и прилегающей акватории вполне имеют право на применение и развитие.

Место индикаторного подхода в оценке состояния и устойчивости береговых систем

Учитывая, что процессы в береговых системах протекают в четко определенных географических областях, увеличивается необходимость четкого мониторинга процессов, происходящих в них. Индикаторы (параметры) и их значения являются удобным механизмом для предоставления сжатой информации о природной, экологической, географической и социально-экономической ситуации, связанными с деятельностью в береговых системах [7].

Цели использования индикаторов можно сформулировать как:

- мониторинг ключевых композиционных, структурных и функциональных эколого-географических и социально-экономических характеристик береговых систем;
- оценка эффективности деятельности в береговых системах;
- обеспечение сбора и последующей обработки информации локального, регионального, национального и международного уровня;
- контроль долгосрочных антропогенных воздействий на окружающую прибрежную и морскую среду;
- помощь при разработке управленческих решений и их коррекции в пределах береговых систем, включая оценку эффективности и адаптируемости этих управленческих решений.

Такая система оценки должна рассматриваться на четырех пространственных уровнях [8]:

- глобальный пространственный уровень;
- региональный пространственный уровень;
- районный пространственный уровень;
- локальный пространственный уровень.

В результате получается иерархия пространственных образований приморских территорий: региональное поле → регион → район → территориальный узел. При этом на локальном пространственном уровне под приморскими территориями береговой системы необходимо

понимать приморские территориальные узлы, которые представляют собой приморское локальное муниципальное образование низшего пространственного управленческого уровня (муниципальное образование поселений). Подобные приморские территории могут быть узловыми в развитии и функционировании морехозяйственного комплекса приморского района и приморского региона, и каждый приморский территориальный узел является составной частью определенного и единственного приморского района, а границами приморских территориальных узлов служат административные границы приморских локальных муниципальных образований. Экономической основой приморских территориальных узлов служат морские портово-промышленные комплексы (естественно, при их наличии), и именно такие приморские территориальные узлы являются каркасом морехозяйственной деятельности более высоких приморских пространственных образований.

Благодаря использованию индикаторного подхода становится возможным разработать методологию как оперативной, так и долгосрочной оценки состояния и развития береговых систем, включая приморских территориальные узлы, а также выполнить оценку их устойчивости, как с точки зрения действующих социально-экономических факторов, так и с точки зрения природно-экологической уязвимости [9]. Отправным пунктом обоснования комплексной оценки устойчивости береговых систем и анализа их составляющих является факт необходимости использования системного подхода, который является важнейшим условием изучения приморских территориальных систем. Такая комплексная оценка становится наиболее эффективной при системных представлениях об исследуемом объекте и его отображении через систему факторов, признаков и их параметров в виде индикаторных систем. Модель такого рода возможно применить для проведения комплексных оценок состояния и устойчивости развития приморских территориальных узлов акватории восточной части Финского залива, включая приморские муниципальные образования Ленинградской области Российской Федерации и Финляндии.

Литература

1. Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. – М.: Наука, 2005. – 364 с.
2. Лымарев В.И., Карлин Л.Н., Шилин М.Б. Что такое берегопользование // Основные концепции современного берегопользования (монография). – Т.1. – СПб: Изд. РГГМУ, 2009. – с. 9-24.
3. Шилин М.Б. Береговая зона как объект геоэкологии // Основные концепции современного берегопользования (монография). – Т.1. – СПб: Изд. РГГМУ, 2009. – с. 25-54.
4. Shilin M.B., Khaimina O.V. Applied Marine Ecology. – St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2014. – 79 p.
5. Комплексное управление прибрежными зонами (Правовой глоссарий) // Под ред. Вылегжанина А.Н. – Рига.: Изд. VKI, 2005. – 136 с.
6. Гогоберидзе Г.Г., Жамойда В.А., Нестерова Е.Н., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А. Глоссарий по Кадастру береговой (прибрежной) зоны. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 95 с.
7. Lednova Ju., Chusov A., Shilin M., Gogoberidze G. Integrated indicator approach for economic-environmental assessment of coastal local municipalities // IEEE-OES Baltic Int. Symp. BALTIC – 2018: 8634848.
8. Gogoberidze G. Tools for comprehensive estimate of coastal region marine economy potential and its use for coastal planning // Journal of Coastal Conservation, Volume 16, Issue 3 (2012), Page 251-260.
9. Gogoberidze G., Rumiantceva E. Risk assessment of anthropogenic impact in the model of marine spatial planning at the district governance level // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Vol. 19, Issue 5.1. SGEM2019 Conference Proceedings, 30 June - 6 July, 2019, Bulgaria. – 663-668 pp.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИЙ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО БЕРЕГОПОЛЬЗОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫМИ ЗОНАМИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В РАМКАХ ПРОЕКТА “GET READY”

В.А. Жигульский¹, А.И. Богущ¹, А.В. Назарова¹, М.А. Мамаева², М.Б. Шилин³

¹ООО "Эко-Экспресс-Сервис", Санкт-Петербург, Россия

²Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES AND INNOVATIONS IN THE FIELD OF SUSTAINABLE SHORE USE AND COASTAL ZONE MANAGEMENT OF THE GULF OF FINLAND AS PART OF THE PROJECT “GET READY”

V. Zhigulsky¹, A. Bogush¹, A. Nazarova¹, M. Mamaeva², M. Shilin³

¹"Eco-Express-Service" LLC, St. Petersburg, Russia

²State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

³Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Аннотация. В рамках программы «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020» одобрен Проект “GET READY”, целью которого является наращивание потенциала в регионе в области устойчивого берегопользования и управления прибрежными зонами.

Abstract. The project “GET READY” has been approved as a part of South-East Finland – Russia CBC Programme 2014-2020. Its purpose is a capacity development in the region in the field of sustainable shore use and coastal zones management.

«Вода является движущей силой устойчивого развития, включая целостность окружающей среды и ликвидацию нищеты и голода, и она абсолютно необходима для обеспечения здоровья и благосостояния человека. Уделение первостепенного внимания проблемам воды – это безотлагательное общемировое требование» (из доклада международного саммита «Окружающая среда и устойчивое развитие: Повестка дня на XXI век»).

Во всем мире водные экосистемы испытывают кризис, и многие реки, моря и озера уже загрязнены или серьезно деградировали в результате сокращения площадей природных экосистем, в том числе лесов и водосборных районов. В особенно уязвимом положении оказываются прибрежные зоны, в которых находятся самые продуктивные на Земле экосистемы, что ставит под угрозу жизнь людей и животных и существование целых экосистем [6]. Прибрежные территории представляют собой зону интеграции всех оболочек Земли: гидросферы, литосферы, атмосферы и биосферы. В пределах этой контактной зоны под влиянием и воздействием разнообразных природных условий и факторов происходит формирование и функционирование специфических прибрежных экосистем. Примерно две пятых населения Земли живут в радиусе 100 км от берега [6].

Прибрежная зона является одним из важнейших компонентов окружающей природной среды. Природные ресурсы прибрежной зоны используются и охраняются в Российской Федерации в соответствии с Конституцией РФ [2] как основа благополучия населения, существования животного и растительного мира, проживающего в пределах прибрежной зоны [7]. Береговая

зона является объектом активного хозяйственного использования, начиная с добычи морепродуктов и полезных ископаемых, строительства гидротехнических сооружений различного назначения, промышленного освоения и заканчивая развитием рекреационных зон. Данные виды деятельности оказывают существенное влияние на природно-экологические и социально-экономические факторы, а через них на ход природных прибрежных экологических процессов [1].

Прибрежные зоны чрезвычайно важны для экологии и жизнедеятельности человека, именно поэтому требуется надёжная охрана и устойчивое управление [4]. В настоящий момент, существует много международных документов, деятельности и актов, направленных на защиту и сохранение прибрежных территорий, например, Рамсарская конвенция, Хельсинкская комиссия ХЕЛКОМ, Глобальный Экологический Фонд, Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) и др. Оценка современного состояния и прогноз динамики береговой зоны является одним из ключевых в круге вопросов, связанных с разработкой стратегии устойчивого развития прибрежных территорий. Решения международной конференции ООН по охране окружающей среды и устойчивому развитию, состоявшейся в Рио-де-Жанейро в 1992 году [5], определяют необходимость создания в странах и регионах, обладающих морским побережьем, эффективной системы комплексного управления процессами прибрежных территорий [3]. Основное требование к устойчивому управлению прибрежной зоной – соответствие четырем принципам устойчивого развития:

1. принцип справедливости;
2. принцип сохранения природной среды;
3. принцип целостного мышления;
4. принцип «Думать глобально – действовать локально».

Первый принцип (принцип справедливости) связан с необходимостью сохранения среды для будущих поколений и обеспечения высокого качества жизни для людей. Этот принцип тесно связан со вторым принципом (принцип сохранения природной среды), который состоит в том, чтобы не разрушать природное равновесие или способность биосферы и прибрежной зоны, в частности, к самовосстановлению. Третий (принцип целостного мышления) и четвертый («Думать глобально – действовать локально») принципы позволяют учитывать своеобразие и специфику локальных нарушений прибрежной зоны и общие тенденции во «взаимодействии» человека и природных комплексов. Природоохранные мероприятия должны проводиться с учетом местной специфики, но при этом с учетом опыта и последствий решения аналогичных проблем в иных участках биосферы. Мероприятия, необходимые для поддержания водных, прибрежных и околородных экосистем в здоровом состоянии, требуют значительных усилий и средств, а менеджмент эстуарных экосистем должен быть основан на тщательном изучении экологической ситуации, ее мониторинге, использовании методов биоманипуляции и биореабилитации. Вместе с тем, как показывает мировой опыт, использование одних этих методов оказывается недостаточным для управления устойчивым развитием прибрежными экосистемами. Необходимо привлечение широких слоев населения, общественных организаций, во взаимодействии с которыми специалисты в области экологии, экономики, сельского хозяйства и т. п., а также работники местных органов самоуправления способны создать и реализовать программу устойчивого развития прибрежной зоны.

В прибрежной зоне восточной части Финского залива как с российской, так и с финской сторон была создана сеть новых портов, направленных на расширение транспортных потоков и

устойчивое развитие береговой инфраструктуры. Эта сеть является каркасом «прибрежной техносферы» региона восточной части Финского залива. Функционирование сети обеспечивает обмен товарами, сырьем и интеллектуальной информацией между странами Восточной и Западной Балтики, что является предпосылкой для устойчивого развития Балтийского региона в целом.

В то же время прибрежная зона восточной части Финского залива признана ценным природным объектом, очень чувствительным к антропогенному воздействию и последствиям глобального потепления. Она характеризуется разнообразием биотопов и биологических сообществ и играет ключевую и комплексную роль во многих экологических (воспроизводство водных биологических ресурсов, формирование каналов миграции птиц и рыб, самоочищение водных экосистем и т.д.) и экономических (стратегически важный для Российской Федерации регион) процессах.

Развитие «прибрежной техносферы» сопровождается значительными экологическими рисками в прибрежной зоне восточной части Финского залива, возникающими на трансграничном уровне. Появление (или расширение) каждого нового объекта в «прибрежной техносфере» приводит к усилению антропогенной нагрузки на природную среду.

Принимая во внимание все вышеизложенное, становится актуальной задача обеспечить экологическую безопасность и сохранить биологическое разнообразие берегов Финского залива на фоне интенсивного развития береговой инфраструктуры, и в связи с этим – повышение готовности трансграничного региона к существующим и ожидаемым проблемам путем внедрения примеров передового опыта с российской и финской сторон и применения инновационных решений в области устойчивого берегопользования. Очевидно, что достижение этой цели возможно только благодаря усилиям высококвалифицированных специалистов, которые обладают необходимыми знаниями и профессиональными компетенциями.

В рамках Программы трансграничного сотрудничества «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020» с финансированием со стороны Европейского союза, Российской Федерации и Финляндской Республики одобрен Проект «Getting Ready for the Cross-Border Challenges: Capacity Building in Sustainable Shore Use, GET READY», целью которого является проведение исследований и развитие технологий и инноваций в регионе в области устойчивого берегопользования и управления прибрежными зонами с четким приоритетом «Поддержка образованию, исследованиям, технологическому развитию и инновациям в приграничном регионе». Целью данного Проекта является наращивание потенциала в области устойчивого берегопользования:

- (1) повышение профессионального образовательного уровня берегопользователей и специалистов по управлению береговой зоной;
- (2) разработка и реализация оригинальных учебно-образовательных программ (в том числе – ориентированных на дистанционное обучение) для широкого круга заинтересованных лиц и студентов;
- (3) развитие инфраструктуры системы непрерывного образования и повышения квалификации;
- (4) внедрение высокопрофессионального, научного подхода к использованию берегов и управлению прибрежными зонами в восточной части Финского залива;
- (5) вклад в безопасную техносферу в портовом регионе на основе инновационных и экологически чистых решений.

Для реализации проекта предполагается использовать накопленный российской и финской сторонами опыт наилучших практик берегопользования в регионе. Успешность проекта обеспечена формируемой связкой «наука-инновации-образование/подготовка кадров-бизнес». Проект предусматривает укрепление партнерства между государственным и частным секторами в приграничном регионе.

В процессе разработки проекта GET READY были приняты во внимание следующие стратегические ориентиры:

- Концепции трансграничного сотрудничества Российской Федерации;
- Стратегия Европейского Союза «Европа 2020» в области экономического роста и занятости с точки зрения обеспечения охраны окружающей среды, сокращения выбросов и предотвращения утраты биоразнообразия, принятая в 2010 году;
- Директива ЕС по морской стратегии, которая налагает на государства-члены ЕС обязательство улучшить экологическое состояние морской среды.

Проект GET READY охватывает 4 комплекса работ (WP):

WP1: Наука (совершенствование научной базы для устойчивого управления прибрежными районами для поддержки принятия решений и внедрения инноваций / Оценка экологического состояния территории проекта);

WP2: Бизнес и инновации (внедрение инноваций в области управления прибрежными зонами и устойчивого использования берега);

WP3: Образование, профессиональная подготовка (развитие навыков) и повышение осведомленности (наращивание потенциала в области профессиональных компетенций посредством обучения и подготовки молодых и пожилых людей, специалистов и студентов; повышение экологической осведомленности в области устойчивого управления прибрежными районами);

WP4: Сеть профессиональных экспертиз (создание экспертной сети сотрудничества для устойчивого использования берегов и управления прибрежными зонами).

Партнерами в рамках проекта выступают Институт наук о Земле СПбГУ (кафедра экологической безопасности и устойчивого развития регионов), Государственный гидрологический институт, Финский институт окружающей среды, Университет Турку, Университет прикладных наук Юго-Восточной Финляндии и Ассоциация морских исследований Котки. Лидирующим партнером является ООО «Эко-Экспресс-Сервис».

Благополучателями в результате реализации проекта GET READY должны стать:

- 1) специалисты в области управления береговой зоной – прежде всего, в городской черте Санкт-Петербурга, в пределах которой находится порт Бронка;
- 2) жители и берегопользователи региона портов Бронка и Хамина-Котка;
- 3) работодатели, направляющие свой персонал на повышения квалификации;
- 4) специалисты в области предоставления образовательных услуг.

Основные шаги по реализации проекта GET READY:

- создание на базе ООО «Эко-Экспресс-Сервис» Российско-финского центра образования, исследований и инноваций в области устойчивого берегопользования и управления прибрежными территориями;

- разработка пилотных учебных программ и мультимедийных курсов в области устойчивого управления прибрежными зонами;
- формирование международной когорты высококвалифицированных специалистов и компетентных экспертов в области управления прибрежными зонами;
- реализация региональных стратегий по смягчению последствий изменения климата в учебных программах;
- разработка предложений по нормативно-правовой базе взаимодействия портов с прилегающими природно-охраняемыми территориями и стратегия экологически чистого порта для включения в учебные и образовательные программы;
- разработка и издание методических материалов для широкого профессионального сообщества, включающих руководство по внедрению научно-технических инноваций (в том числе по вопросам противодействия изменению климата);
- вклад в создание инновационной портовой среды, с принятыми технологическими и инженерными инновациями.

В результате реализации Проекта будут созданы условия для внедрения разработанных инновационных решений по оптимизации инфраструктуры околопортовой среды. Получит дополнительное развитие система образования и повышения квалификации в сфере устойчивого берегопользования. Итоговым результатом совместной работы станет план безопасного использования прибрежной зоны Финского залива и создание российско-финского центра по повышению квалификации в области устойчивого берегопользования.

Реализация проекта поможет России достичь некоторых основных целей, изложенных в «Стратегии инновационного развития Российской Федерации до 2020 года», таких как улучшение общественного восприятия инноваций; развитие человеческих ресурсов в сфере науки, образования, технологий, инноваций; адаптация образовательной системы инноваций. Кроме того, проект GET READY направлен на достижение следующих целей в области устойчивого развития (ЦУР), стоящих на повестке дня на период до 2030 года, принятых всеми государствами-членами Организации Объединенных Наций в сентябре 2015 года:

№ 9 – индустриализация, инновации и инфраструктура;

№ 13 – борьба с изменением климата;

№ 14 – сохранение морских экосистем;

№ 15 – сохранение экосистем суши и

№ 17 – партнерство в интересах устойчивого развития.

Продвижение и поддержка научных исследований и инноваций в рамках проекта будет содействовать нашей стране в модернизации и инновационном развитии ключевых отраслей Северо-Западного федерального округа в соответствии с «Стратегией социально-экономического развития Северо-Западного федерального округа до 2020 года».

Работа выполняется в рамках Программы приграничного сотрудничества «Россия — Юго-Восточная Финляндия», при финансовой поддержке Европейского союза, Республики Финляндии и Российской Федерации (проект № KS1529 GET READY).

Литература

- [1] АРАКЕЛОВ, М.С., АРАКЕЛОВ, А.С., ЯЙЛИ, Е.А., ЯЙЛИ, Д.Е., МЕРЗАКАНОВ, С.А., ГОГОБЕРИДЗЕ, Г.Г., ДОЛГОВА-ШХАЛАНОВА, А.В., АХСАЛБА, А.К., ЖИБА, Р.Ю., КРЫЛЕНКО, М.В. Некоторые аспекты комплексной оценки устойчивости береговых систем восточной части Черного моря на основе интегрального подхода. *Успехи современного естествознания*. 2017. № 12. С. 106-110.
- [2] Конституция Российской Федерации, принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г. с поправками от 30 декабря 2008 г., 5 февраля, 21 июля 2014 г.
- [3] КРОПИНОВА, Е.Г., АФАНАСЬЕВА, Э.П. Устойчивое развитие прибрежных территорий как основа комплексного управления прибрежными зонами. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2014. Вып. 1. С. 140-147.
- [4] Повестка дня на 21 век. Раздел 2. Сохранение и рациональное использование ресурсов в целях развития. Глава 17. Защита океанов и всех видов морей, включая замкнутые и полужамкнутые моря, и прибрежных районов и охрана, рациональное использование и освоение их живых ресурсов. Программные области. А. Комплексное рациональное использование и устойчивое развитие прибрежных и морских районов, включая исключительные экономические зоны.
- [5] «Рио+20»: человечество на пути к устойчивому развитию. URL: <http://www.ecoaccord.org/rio20/> (дата обращения: 23.07.2019).
- [6] СЫТНИК, О.М. Проблемы устойчивого водопользования в прибрежной зоне Краснодарского края. In Материалах Международной конференции в честь столетия со дня рождения профессора В.В. Лонгинова "Литодинамика донной контактной зоны океана", г. Москва, 2009.
- [7] ШИЛИН, М.Б. Геоэкологический мониторинг прибрежных природно-технических систем. Автореф. диссертации на соискание уч. ст. д.г.н., Санкт-Петербург, 2006. 36 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА (ПО ДАННЫМ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ СТАНЦИЙ)

С.А.Журавин, Е.В.Гуревич, М.Л.Марков

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

CHANGES OF SMALL RIVERS FLOW FORMATION PROCESSES DUE TO LONG-TERM CLIMATE VARIATIONS (ON THE BASIS OF THE WATER BALANCE STATIONS)

S. A. Zhuravin, E. V. Gurevich, M. L. Makarov

State hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

Рассмотрены изменения процессов влагооборота на водосборах воднобалансовых станций, расположенных в центральной части европейской России, произошедшие вследствие многолетних колебаний климата. Эти изменения свидетельствуют о существенном преобразовании всей системы формирования стока воды и других элементов водного баланса.

The changes of the water turnover in small basins of water balance stations, which are situated in the central part of European Russia, due to the long-term climate variations were considered in the paper. These changes show a substantial transformation in the system of the runoff and other water balance components formation.

Оценке изменений режима стока воды на больших и средних реках России в целом и для отдельных регионов, бассейнов крупных рек и их основных притоков в последние годы посвящено большое количество работ. Общее направление этих важных и полезных работ заключается преимущественно в определении современного состояния ресурсов поверхностных вод в целом по большим регионам и бассейнам крупнейших рек, анализе изменений их внутригодового распределения и прогнозе изменений на перспективу. Такой «валовый» подход является необходимым, но недостаточным для полноценного мониторинга гидрологического режима в силу ряда причин.

Во-первых, из рассмотрения «выпадает» целый класс водотоков, а именно малые реки с площадями водосборов менее 2 тыс. км² (в том числе и значительная часть средних рек), которые составляют более 80% всех рек России. Их водные ресурсы не менее существенны для водообеспечения тысяч конкретных объектов и населенных пунктов, так же, как и для водоотведения сточных вод с них. Кроме того, малые реки играют важную роль в природной системе в качестве одного из основных компонентов экологической среды.

Во-вторых, такой подход не раскрывает механизмы изменений гидрологического режима во всей цепи влагооборота, понимание которых необходимо при разработке мероприятий по адаптации водохозяйственного и природного комплексов к текущим и прогнозируемым изменениям климата. И, наконец, мониторинг водного режима подразумевает выявление возникающих в процессе изменений влагооборота опасных и неблагоприятных гидрологических процессов и явлений, как на реках, так и на их водосборах.

Цель настоящей работы заключается в оценке изменений процессов формирования стока воды, других элементов водного баланса и определяющих их факторов на малых реках под воздействием многолетних колебаний климата.

Исследования выполнены по материалам наблюдений на действующих воднобалансовых станциях (ВБС) Росгидромета: Подмосковной, Валдайской, Каменная степь и Нижнедевицкой. Методической основой исследований является оценка многолетней динамики элементов водного баланса.

Изменения климата на воднобалансовых станциях анализируются по температуре воздуха и атмосферным осадкам. Температура воздуха в пунктах размещения воднобалансовых станций претерпела изменения, характерные для соответствующих природных зон центра европейской территории России (ЕТР). В среднем в районах расположения ВБС средняя годовая температура воздуха возросла за период с начала 1950-х годов до начала 2010-х годов на 1,2 - 1,3°C. Наиболее значительный рост температуры воздуха произошел здесь в январе-феврале и марте. С этим

связано и увеличение продолжительности теплого периода и количества оттепелей зимой. Количество атмосферных осадков на всех воднобалансовых станциях ЕТР в последние десятилетия возросло в среднем на 50-60 мм/год. Для зоны избыточного и достаточного увлажнения это составляет 9-16% от первоначального периода, а для полуаридной зоны - 10-12%. Важной особенностью засушливых регионов является изменение внутригодового распределения осадков, суммы которых возросли в переходные и зимний периоды, но снизились в летний период.

С некоторой долей условности многолетний ход колебаний основных климатических показателей за период инструментальных наблюдений на воднобалансовых станциях можно представить в виде двух квазистационарных и переходного периодов. Представление климатических изменений в виде квазистационарных периодов является своего рода упрощением, принятым для более четкого выделения перехода от предшествующих к современным климатическим условиям.

В 2000-х годах по данным водноиспарительной сети в зонах избыточного и достаточного увлажнения произошло повышение испарения до уровней, близких к величинам испарения, наблюдавшегося в 1950-е - 1960-е годы. Соответственно, пропорционально испарению с поверхности воды в среднем возросло и испарение с поверхности почвы. В полуаридной зоне снижение прихода энергии сказывается на испарении в меньшей степени, поскольку ее в любом случае достаточно для формирования интенсивного испарения. В результате увеличения осадков и подъема уровней грунтовых вод верхнего горизонта (и капиллярной каймы) близко к поверхности в почве появилась доступная для испарения влага. В результате снижения величин испарения с поверхности воды до середины 1970-х годов сопровождалось ростом испарения с поверхности почвы, причем к середине 1990-х годов для лесостепной зоны они были близки по величине. Такое явление наблюдалось не только на воднобалансовых станциях полуаридной зоны России, но и в других сходных по природным условиям регионах. Величины испарения с почвы в лесостепной зоне (Нижедевицкая ВБС) фактически стабилизировались уже со второй половины 1970-х годов на уровне 420 мм в среднем, что превышает средние величины испарения за предыдущий период на 70-80 мм. Испарение с поверхности воды во второй половине 1990-х годов вновь начало повышаться с уровня 430-440 мм в год и стабилизировалось в 2000-х годах на уровне 550-560 мм, что несколько ниже, чем в период 1950-х -1960-х годов. В степной зоне (ВБС Каменная Степь) наблюдалась сходная картина, но с некоторыми особенностями. Во-первых, испарение с почвы здесь всегда было ниже, чем испарение с воды. Во-вторых, изменения испарения с почвы стабилизировались здесь только с середины 1990-х годов и составили в среднем 380-390 мм в год, что на 100-110 мм больше, чем в 1950-е - 1960-е годы. Испарение с поверхности воды в 2000-х годах восстановилось на уровнях, близких к уровням первого квазистационарного периода.

Запасы влаги в почве по данным наблюдений на ВБС в среднем возросли в течение всего года. При этом в отдельные зимние и весенние месяцы величина влагозапасов может превышать величину наименьшей полевой влагоемкости. В полуаридной зоне характер изменений запасов влаги в почве имеет сходный вид, за исключением того, что осенью и в начале зимы влажность почвы стала ниже, чем в предшествующий период, и достигает величин, превышающих $W_{нв}$, только в феврале-марте. В то же время участились случаи, когда в засушливый летний сезон увлажнение почво-грунтов может снижаться до величин влажности завядания.

По данным наблюдений на воднобалансовых станциях уровни и, соответственно, запасы грунтовых вод в последние десятилетия возросли во всех водоносных горизонтах, начиная с верхнего локального горизонта, который часто не имеет сплошного распространения. Так, по данным наблюдений Подмосковной ВБС и ВФ ГГИ, уровни грунтовых вод за период наблюдений с конца 1950-х годов до начала 1990-х годов на водосборах этих станций выросли в разных водоносных горизонтах на 1-3 м. Возросли уровни грунтовых вод также в лесостепной и степной зонах. Причинами роста уровней грунтовых вод являются возросшие осадки и благоприятные условия фильтрации воды в зимний и весенний периоды, связанные со слабым промерзанием почво-грунтов в последние годы и отсутствием формирования так называемого «запирающего слоя» в почве. В зоне избыточного увлажнения этому способствует также снижение испарения, однако питанию грунтовых вод в лесной зоне препятствует расходование талых вод на формирование внутрипочвенной верховодки при оттепелях.

Однако в последнее десятилетие наблюдается снижение уровней грунтовых вод верхнего горизонта в зонах их питания и транзита, что связано с дисбалансом пополнения и разгрузки грунтовых вод. В зоне избыточного и достаточного увлажнения этому способствует увеличение стока внутрипочвенной верховодки и благоприятные условия разгрузки в реки. В полуаридной зоне «обрушение» уровней грунтовых вод произошло в период маловодья 2007-2012 годов.

В результате климатических изменений возникли условия для существенного изменения режима формирования стока воды. В зонах избыточного и достаточного увлажнения форма годового гидрографа на малых реках в целом сохранилась. Наибольший объем стока по-прежнему формируется в период прохождения основной фазы весеннего половодья в апреле, хотя его доля в процентах от годового стока снизилась. В зоне южной европейской тайги это снижение составило в среднем всего около 5%, а в зоне смешанных лесов 15-20%. В целом здесь создались благоприятные условия для формирования интенсивного внутрипочвенного стока в период зимних оттепелей, повышенного питания и разгрузки подземных вод. Доля поверхностного стока в целом снижается, а доля питания грунтовыми водами возрастает. При этом общий объем половодья, если и уменьшился, то незначительно, за счет более раннего начала и увеличения продолжительности. Одновременно возрос минимальный сток, в первую очередь в зимний период.

В зоне недостаточного увлажнения в годы, когда в почво-грунтах формировался «запирающий» слой (мерзлые почво-грунты с высоким содержанием замершей воды) наблюдался повышенный сток весеннего половодья при низкой межени и ограниченном питании подземных вод. В современный период здесь произошло уменьшение «свободной» емкости водосборов малых рек, регулирующей процессы влагооборота в зоне аэрации и верхней насыщенной зоне (верхнем водоносном горизонте). Сток весеннего половодья в целом снизился, а доля поверхностного стока в нем в последние годы снизилась до 25-30%. При этом в периоды высокого уровня стояния грунтовых вод поверхностный сток талых вод может быть очень значительным, что не наблюдалось в степной зоне за весь период наблюдений.

Таким образом, в современных климатических условиях происходит изменение тепловлагооборота на водосборах. Основным следствием этих изменений является увеличение роли литогенного звена в формировании речного стока. С одной стороны, уменьшение промерзания, снижение продолжительности холодного периода, участвовавшие оттепели привели к увеличению инфильтрации и питания подземных вод. Регулирующая роль зоны интенсивного водообмена речных бассейнов возросла: снизились максимальные расходы воды и возросли минимальные. С другой стороны, расходная часть водного баланса тоже возросла. Увеличение увлажненности зоны аэрации и продолжительности теплого периода привело к росту испарения с почвы, особенно, в южных районах. Увеличилась и дренирующая роль первичных элементов гидрографической сети из-за снижения роли криогенных процессов в формировании стока [1].

Для различных природных зон в течение длительного периода устанавливается определенное равновесие между приходной и расходной частью водного баланса. Это равновесие поддерживается стокоформирующей и стокорегулирующей ролью ландшафтов [2]. В результате этого могут быть выделены устойчивые стокоформирующие комплексы, широко используемые в математическом моделировании. Для рядов гидрологических характеристик в этот период характерна стационарность, что позволяет использовать статистические методы в инженерной гидрологии. Такой период нередко в публикациях называют «квазистационарным». Как показано выше, в последние три десятилетия постепенно произошли существенные изменения в тепловлагообороте. «Квазистационарность» нарушена, особенно в рядах максимального и минимального стока. Так как рост температуры воздуха продолжается и прогнозируется на перспективу, то встает вопрос: что со стоком будет дальше? Процессы в природе стремятся к сохранению равновесного состояния [3], поэтому следует, вероятно, ожидать, что произойдет постепенный переход одних природных зон в другие. Наибольшие изменения должны коснуться пограничных (переходных), менее устойчивых зон (лесостепь, смешанные леса). Внутри этих зон могут сложиться новые устойчивые стокоформирующие комплексы. Будет ли коротким переходный период к новому устойчивому состоянию, или длинным зависит от диапазона адаптационных возможностей речных бассейнов к изменению климата, реализуемых через

взаимодействие поверхностных и подземных вод, тепловлагооборот между атмосферой и меняющейся подстилающей поверхностью.

В настоящее время недостаточно данных гидрометеорологических, гидрогеологических, ландшафтных, гидрофизических наблюдений для раскрытия адаптационного механизма речных бассейнов к изменению климата. Вместе с тем, без решения этой проблемы и связанных с ней задач мы сталкиваемся с невозможностью эффективно использовать наработанные ранее схемы расчетов (статистических, мат. моделирование и т.д.) в инженерной практике и прогнозах. Нестационарность и нелинейность процессов формирования стока в переходный период вносят большую неопределенность в гидрологическое обоснование проектирования и эксплуатации объектов водохозяйственного комплекса, сельского хозяйства, гидроэнергетики и т.д. В этой связи уместно вспомнить высказывания основоположников отечественной гидрологии 70-ти летней давности. «Мы располагаем большим количеством данных, которые надежно характеризуют величину стока многих рек, но при этом обычно весьма ограничены и недостаточны сведения о факторах стока, исследуя которые можно было бы количественно определить механизм его образования, без чего нельзя надежно решать задачи его расчета и прогноз» (В.А.Урываев-1953г.). «..Единственно правильный путь для дальнейшего развития научной гидрологии, путь синтеза физического анализа гидрологических явлений и широких обобщений физико-географического характера. По этому пути мы должны двигаться дальше» (М.А.Великанов-1948 г.).

Литература

1. Марков М.Л., Гуревич Е.В. Негативное влияние потепления зим на расходы рек и уровни дренируемых ими грунтовых вод. Электронный журнал «Геоинфо» от 15.11.2018 г. <https://www.geoinfo.ru/product/markov-mihail-leonidovich/negativnoe-vliyanie-potepleniya-zim-na-raskhody-tek-i-urovni-dreniruemyh-imi-gruntovyh-vod-39157.shtml>
2. Антипов А. Н., Фёдоров В. Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. — Новосибирск:Изд-во СО РАН, 2000. — 255 с.
3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции. Изд. 2-е. — М: КомКнига, 2011. — 272 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА С БОЛОТ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА

А.Д. Журавлева, В.И. Батуев
ФГБУ «ГТИ», Санкт-Петербург, Россия

RUNOFF MODELING FOR WETLAND CATCHMENTS ON THE BASIS OF ROSHYDROMET SPECIALIZED NETWORK OBSERVATIONS

A.D. Zhuravleva, V.I. Batuev
State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

В работе представлены результаты моделирования формирования стока с болотных водосборов, входящих в специализированную сеть Росгидромета, с помощью модели HBV. Представлена сравнительная оценка значений параметров модели для верховых болот и лесных заболоченных земель.

The article presents the results of runoff modeling for wetland catchments included in the Roshydromet specialized network using the HBV model. A comparative assessment of the model parameters for upland swamps and forest wetlands is presented.

В последнее время приобрело актуальность применение гидрологических моделей для бассейнов с высокой долей специфических поверхностей, в том числе и болот. Надежная оценка стока с заболоченных территорий и болот различных типов требует создания новых или адаптации существующих моделей.

В болотоведении принято различать болота и заболоченные территории. Болота — избыточно увлажненные участки суши с влаголюбивой растительностью и слоем торфа более 0,3 м, в результате чего основная масса корней растений не достигает подстилающего его минерального грунта. Заболоченные земли, тоже избыточно увлажненные участки поверхности, но с маломощным (менее 0,3 м) слоем торфа или даже без него, вследствие чего между растениями и грунтом осуществляется водно-солевой обмен [1]. При моделировании стока с заболоченных водосборов необходимо учитывать различие в типах болотных ландшафтов вследствие наличия существенной разницы в динамике тепла и влаги таких речных бассейнов и, соответственно, особенностях их модельной параметризации

В представленной работе для моделирования стока с болот использовались данные специализированной сети Росгидромета: Зеленогорской болотной станции на болотном массиве Ламмин-Суо и Валдайской воднобалансовой станции. В качестве объектов исследования выступили ручьи Южный, Северный и Западный верхового болотного массива Ламмин-Суо, а также лесные заболоченные водосборы лог Синяя Гнилка (расположенный на северо-западном побережье Валдайского озера, представляющий собой экспериментальный водосбор, где с 1954 года производилась посадка хвойных и лиственных деревьев для оценки влияния облесения водосбора на условия формирования стока) и лог Еловый (расположенный в пределах полигона лог Таежный на юго-восточном берегу Валдайского озера). В таблице 1 приведены основные гидрографические характеристики исследуемых водосборов.

Таблица 1. Основные гидрографические характеристики ручьев болотного массива Ламмин-Суо, лога Еловый и Синяя Гнилка

Река - пункт	Площадь водосбора, км ²	Озера, %	Болота, %	Лес (заболоченный), %
Ручей Южный	0,18	0	91,5	8,5
Ручей Северный	0,37	4,1	78,6	17,3
Ручей Западный	0,32	5,6	66,3	28,1
Лог Еловый	0,0023	0	0	100
Лог Синяя Гнилка	0,015	0	0	100

Для расчетов стока с заболоченных водосборов применялась модель HBV, разработанная в 1972 году в Шведском Метеорологическом и Гидрологическом Институте (SMHI), в течение последних десятилетий модель получила дальнейшее развитие и широко использовалась для моделирования стока воды в Швеции [2]. Кроме того, модель в различных вариациях использовалась в более чем 30 странах, в том числе и для водосборов с высокой степенью заболоченности в Канаде, США, Северной Европе [3, 4]. Модель HBV включена в Гидрологическую оперативную многоцелевую система Всемирной Метеорологической Организации (ГОМС ВМО J04.2.02). В настоящей работе использовалась версия программы HBV-ligh 4.0.0.16.

Моделирование формирования стока с болотных водосборов проводилось за период: с 1950 г. по 1985 г. для ручьев болотного массива Ламмин-Суо, с 1965 г. по 1985 г. для лога Еловый и с 1970 г. по 1985 г. для лога Синяя Гнилка. В качестве входной информации использовались данные об ежедневных температуре воздуха, слоях осадков, а также месячных значениях испарения. Контрольная гидрологическая информация представляет собой суточные значения слоев стока. Для калибровки модели были выбраны периоды: с 1950 г. по 1960 г. (болотный массив Ламмин-Суо), с 1965 г. по 1974 г. (лог Еловый) и с 1970 г. по 1975 г. (лог Синяя Гнилка), расчеты стока производились с помощью откалиброванных модельных параметров за предыдущий период. Калибровка параметров модели HBV выполнялась с помощью встроенных в модель алгоритмов калибровки, а также в ручном режиме. Для оценки качества произведенных расчетов используется как визуальное сравнение гидрографов стока, так и коэффициент эффективности Нэша-Сатклиффа. В среднем коэффициент эффективности для выполненных расчетов составил 0,7, что является хорошим результатом в математическом моделировании формирования стока. Данные по эффективности полученных результатов приведены в таблице 2. Графические результаты моделирования формирования стока по ручью Южному, логу Еловому и Синяя Гнилка приведены на рисунке 1.

Таблица 2. Коэффициенты эффективности для периода калибровки и валидации по водосборам ручьев болотного массива Ламмин-Суо, логов Елового и Синяя Гнилка

Водосбор	R_{eff} для периода калибровки	R_{eff} для периода валидации
Ручей Южный	0,79 (1950-1960 гг.)	0,73 (1961-1985 гг.)
Ручей Северный	0,81 (1953-1960 гг.)	0,70 (1961-1985 гг.)
Ручей Западный (1,2)	0,73 (1955-1960 гг.)	0,72 (1961-1985 гг.)
Лог Еловый	0,67 (1965-1974гг.)	0,65 (1975-1985гг.)
Лог Синяя Гнилка	0,69 (1970-1975гг.)	0,7 (1976-1985гг.)

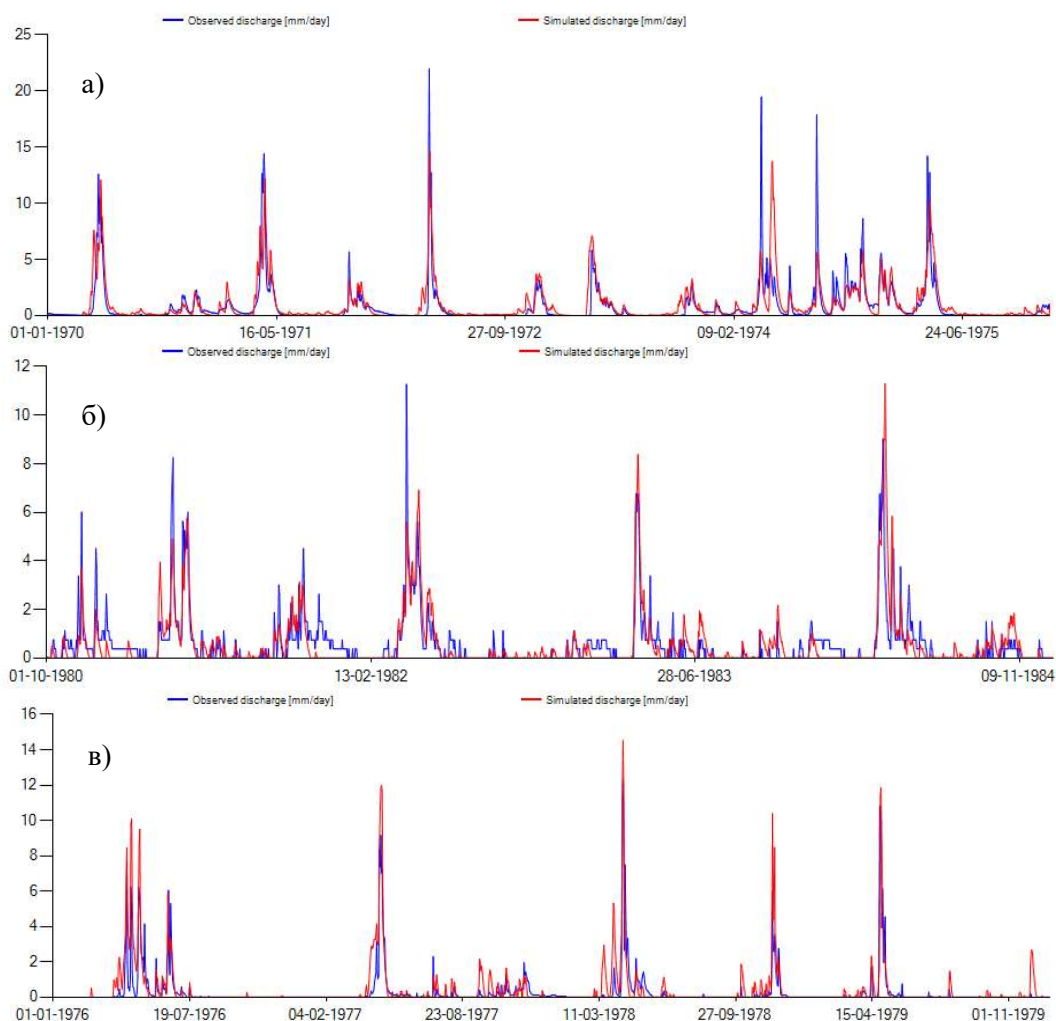


Рис. 1. Рассчитанные (красный) и наблюдаемые (синий) гидрографы стока руч. Южный (а), лог Еловый (б), лог Синяя Гнилка (в) за период валидации

По результатам моделирования стока с заболоченных водосборов была проведена сравнительная оценка параметров модели. Анализ параметров модели для верховых болот и для лесных заболоченных водосборов показал их высокую изменчивость для коэффициента стаивания (градус-день) (CFMAX), максимального коэффициента фильтрации (PERC), максимальной водоудерживающей способности (FC), коэффициента истечения при максимальном стоке (K0) (таблица 3).

Таблица 3. Значения параметров модели HBV для водосборов ручьев болотного массива Ламмин-Суо и для лесных заболоченных водосборов (лог Еловый и Синяя Гнилка)

Параметр	Ручей Южный	Ручей Северный	Ручей Западный	Лог Еловый	Лог Синяя Гнилка
CFMAX (коэффициент стаивания) $\text{mm}/\Delta t \text{ } ^\circ\text{C}$	4,66	3,58	3,5	1,9	1,58
FC (Макс. водоудерживающая способность) mm	250	240	235	210	200
PERC (Макс. коэффициент фильтрации из верхнего яруса подземных вод в нижний) б/р	0	0	0	1,1	1,65
K0 (Коэффициент истечения из стоковой емкости для периода максимального стока) $1/\Delta t$	0.25	0,23	0,28	0,35	0,30

Значения коэффициента стаивания (CFMAX) оказались значительно выше на верховом болоте (3,5-4,6 мм на 1° положительной среднесуточной температуры воздуха), чем на лесных

заболоченных водосборах (1,5-1,9 мм на 1° положительной среднесуточной температуры воздуха). Согласно исследованиям [5], значения коэффициента стока на открытой местности значительно больше, чем на залесенных участках. Однако, стоит отметить, что использование коэффициента стока не всегда оправдано и ведет к ошибкам в расчете, так как зависимость интенсивности снеготаяния от накопления положительной температуры воздуха нелинейна. На корректность расчета влияют особенности погодных условий конкретного весеннего сезона, что не учитывалось при моделировании в данном случае. Более точные результаты могут быть получены с помощью моделей, содержащих в своих алгоритмах уравнения теплового баланса снежного покрова.

Основная особенность параметризации бассейна для расчетов стока с верховых болот, заключалась в задании нулевых коэффициентов фильтрации на границе деятельного и инертных горизонтов (PERC), для лесных заболоченных водосборов значение этого параметра выше нуля, что характеризует водообмен на данном типе ландшафта.

Различия в стокообразовании с верховых болот и заболоченных земель проявляются и в значениях максимальной водоудерживающей способности верхнего слоя почвы, вследствие большей влагоемкости торфяной залежи, значение параметра (FC) для водосборов ручьев болотного массива Ламмин-Суо оказались выше, чем для лесных заболоченных водосборов. Однако, необходимо отметить, что модельное значение максимальной водоудерживающей способности может отличаться от полевой влагоемкости.

Значения коэффициента истечения для периода максимального стока (K0) характеризуют регулируемую способность водосборов. Для водосборов болотного массива Ламмин-Суо значения параметра K0 оказались несколько ниже, чем для лесных заболоченных водосборов, что отражает закономерное снижение максимального стока на болотных массивах вследствие меньшей горизонтальной водопроницаемости торфа и малых уклонов.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что для получения достоверных результатов моделирования формирования с болот необходимо учитывать различные типы болотных водосборов.

Литература:

1. Иванов К.Е. Основы гидрологии болот лесной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 500с.
2. Bergström, S., The HBV model, computer models of watershed hydrology (editor: V.p. Singh). *Water Resources Publications* (1995)
3. Selling B., Modelling Hydrological Impacts of Forest Clearcutting through Parameter Regionalization /Uppsala University (2015)
4. Bouffard J-S., A Comparison of Conceptual Rainfall-Runoff Modelling Structures and Approaches for Hydrologic Prediction in Ungauged Peatland Basins of the James Bay Lowlands /Carleton UniversityOttawa (2014)
5. Esko Kuusisto, On the values and variability of degree-day melting factor in Finland /Nordic Hydrology, 11, 1980, 235-242

СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА АНОМАЛЬНО ЖАРКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Е.В.Завьялова, С.В.Морозова, Е.А. Полянская

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский университет им. Н.Г.Чернышевского», Саратов, Россия

SYNOPTIC-STATISTICAL METHOD OF LONG-TERM FORECAST OF ANOMALLY HOT TEMPERATURE CONDITIONS IN THE LOWER VOLGA REGION

E.V.Zav'yalova, S.V.Morozova, E.A. Polyanskaya

Saratov State University, Saratov, Russia

В настоящей статье с целью выявления прогностических связей рассматриваются особенности барического поля АТ-500 гПа в осенне-зимний предшествующий период отдельно для двух групп месяцев начала периода вегетации апрель-июнь (аномально теплых, аномально холодных и нормальных).

This article describes the prognostic dependences of the onset of abnormally cold and abnormally warm spring-summer seasons. The baric field of the middle troposphere was used as predictors. Dependences of high security connections were received.

Аномально жаркое и сухое лето 2010 года, повлекшее экономический ущерб и тяжело отразившееся на здоровье людей, продемонстрировало весь набор неблагоприятных погодных явлений, обусловленных наличием блокирующего антициклона экстремальной положительности и интенсивности [1]. В конкретных условиях каждого года и сезона надежный прогноз наступления блокирования позволил бы заранее принять меры для предупреждения или смягчения вредных последствий.

Целью настоящей работы является изучение блокирующих ситуаций на юго-востоке Европейской равнины с целью разработки синоптико-статистического способа прогнозирования атмосферных блокингов в Нижнем Поволжье для месяцев начала периода вегетации.

В качестве исходных данных послужили данные о средней месячной температуре воздуха по станции Саратов Юго-Восток для месяцев начала периода вегетации апрель – июнь с 1985 по 2018 гг. На основании этих данных была проведена классификация температурного режима каждого месяца по критерию Ю.Б. Храброва [2].

При выполнении синоптико-климатологической части работы для выявления циркуляционных особенностей различных в температурном отношении месяцев использовались Синоптические бюллетени (Северное полушарие) и архив полей геопотенциала на уровне 500гПа, представленных ежедневными данными в узлах регулярной сетки на пространстве первого естественного синоптического района (30°з.д 110°в.д и 70°с.ш. 35°с.ш), размещенных на <http> – сервере Гидрометцентра в коде GRIB.

По значениям осредненных данных о геопотенциале в узлах регулярной сетки стандартным образом проводились изогипсы с использованием ГИС- технологий по программе MAPINFO. Таким образом, построены средние барические поля для нужных месяцев.

Юго-восток ЕТР в том числе и Саратовская область относятся к одному из засухоопасных регионов России, поэтому остается актуальным прогноз аномально жарких условий для месяцев вегетационного периода с максимально возможной заблаговременностью.

Для составления такого прогноза использовался физико-статистический метод прогнозирования, основанный на положении Мультановского о фазировке макроциркуляционных процессов, суть которого в следующем: аномалии метеорологических характеристик определяются макроциркуляционными процессами, подготовка которых происходит в течение длительного предшествующего периода и прогностические признаки которых можно найти в определенных фазах, где наиболее контрастно выступают различия в атмосферной циркуляции перед явлениями противоположного характера [3,4].

Современное состояние земной климатической системы оценивается как вторая волна глобального потепления, и прогнозирование по прогностическим признакам, разработанным на материалах, относящихся к периоду стабилизации, может влиять на оправдываемость таких прогнозов. Поэтому представляется необходимым подобрать прогностические признаки на основе фазировки макропроцессов на более свежем материале, относящемся ко второй волне глобального потепления [5]. Поэтому в дальнейшем поиск предикторов для разработки прогностических указаний по температурному режиму месяцев первой половины периода вегетации проводился на материале 1985 – 2018 гг.

Объектом исследования явились месяцы начала периода вегетации апрель – июнь и средние поля геопотенциала на картах АТ-500 за 1985 – 2019 гг.

На этом временном интервале рассчитаны средние многолетние температуры воздуха для апреля она составила 8,3°C, для мая 16,1°C, для июня 20,5°C. Эти рассчитанные средние многолетние температуры сравнивались со средними многолетними температурами, вычисленными за 40 лет. Отклонения оказались незначительными и составили в апреле 0,02°C, мае 0,1°C, июне 0,3°C. В соответствии с вновь рассчитанными нормами по более короткому ряду все месяцы по температурному режиму были поделены на, экстремально теплые, теплые, холодные, экстремально холодные и нормальные по критерию Храброва [2]. Для поиска прогностических асинхронных зависимостей все месяцы были поделены на две группы. В первую группу вошли месяцы с повышенным температурным режимом (аномально теплые), во вторую с пониженным температурным режимом (нормальные и аномально холодные). Таким образом, для апреля в первую группу вошло 26% от общей выборки, во вторую 74%. Для мая 29% лет вошли в первую группу, 74% во вторую. Для июня 29% теплых лет и 71% остальных.

Анализ средних месячных карт АТ-500 гПа Северного полушария показал существенные различия в условиях циркуляции в экстремально теплых и экстремально холодных апреле, мае и июне в Нижнем Поволжье. Так, экстремально теплые месяцы в большинстве случаев формируются в условиях тропосферного высотного гребня над изучаемым регионом. А нормальные и холодные режимы в условиях западного переноса.

Анализ ежедневных карт поверхности АТ-500 гПа показал, что существование блокирующего антициклона не менее 10 дней в месяце приводит к формированию аномально теплого температурного режима месяца, что находит выражение в средних месячных полях.

С целью выявления прогностических связей рассмотрены особенности барического поля АТ-500 гПа в 360осеннее-зимний предшествующий период отдельно для двух групп месяцев.

Анализ среднемесячных полей АТ-500 гПа января в годы предшествующие аномально теплomu апрелю, показал, что в 75% случаев наблюдается западный перенос или волны малой амплитуды над атлантико-евразийским сектором полушария. А в годы предшествующие нормальным и холодным апрелям в 84% случаев наблюдается хорошо выраженная высотная ложбина над Восточной Европой. Причем в большинстве случаев ось ложбины была ориентирована, строго меридианально между 50 – 60° в.д., либо наклонена и ориентирована с Таймыра на Балканы.

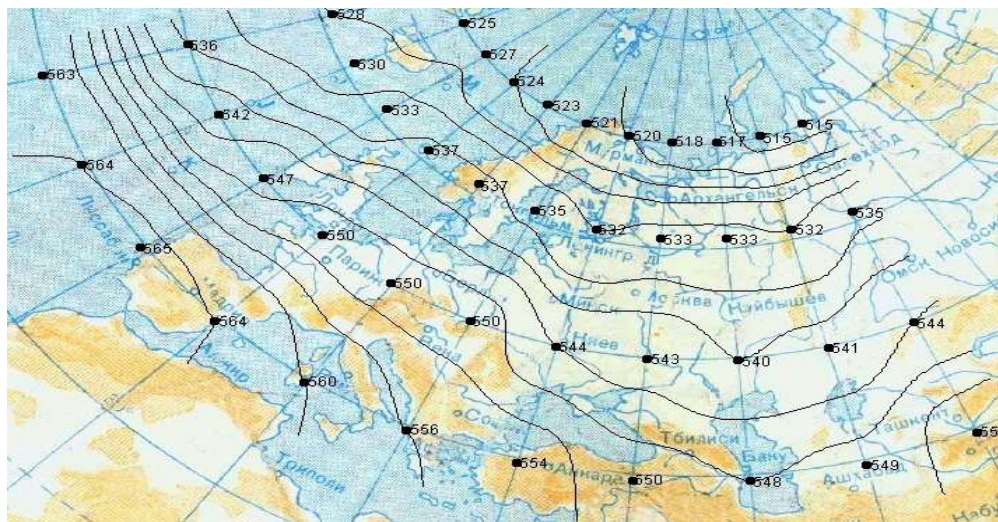


Рис. 1 Среднее барическое поле на карте АТ-500 гПа в январе 1998 года (составлен автором)

В качестве примера приведем январь 1998 года (Рис. 1). Из рисунка видно, что на АТ-500 гПа большая часть Европы занята обширной ложбиной с осью ориентированной вдоль 50° в.д., а на остальной части и Атлантикой наблюдается западный перенос.

На основе подобного анализа месяцев предшествующих аномально теплым и аномально холодным маям никаких прогностических признаков не выявлено.

Для июня было обнаружено, что на карте АТ-500 гПа перед аномально теплыми июнями в 70% случаев в феврале наблюдается западный перенос или волны малой амплитуды над атлантико-евразийским сектором полушария; или гребень над Восточной Европой. А перед аномально холодными и нормальными июнями в 83% случаев наблюдается хорошо выраженная ложбина над Восточной Европой.

В качестве примера был взят февраль 2010 года предшествующий аномально теплomu июню с аномалией +3,8°С (Рис. 2) . На данном рисунке видно, что на территории Восточной Европы на среднем поле АТ-500 гПа наблюдается хорошо выраженный барический гребень ось которого проходит примерно по 50° в.д.

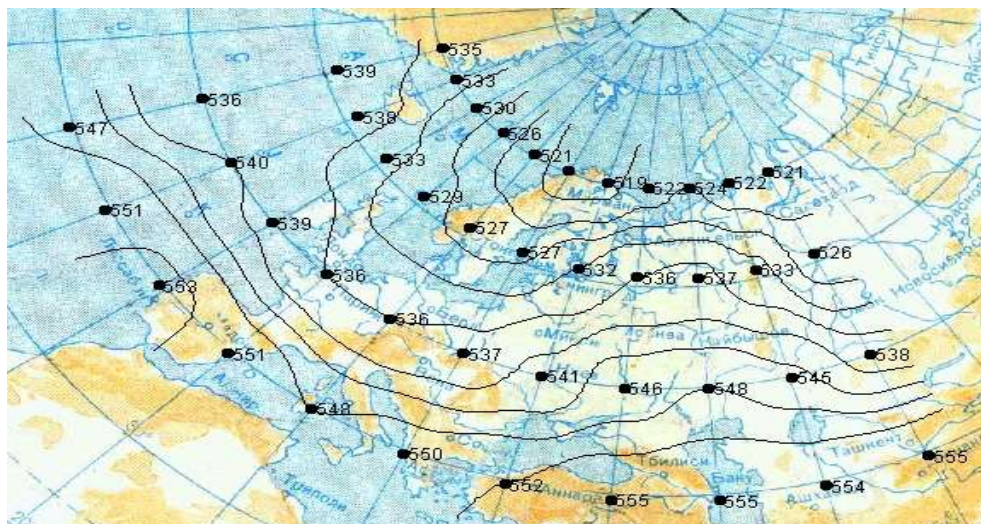


Рис. 2 Среднее барическое поле АТ-500 в феврале 2010 года (составлен автором)

По найденным прогностическим указаниям был составлен прогноз на апрель и июнь 2019 года. В январе этого года на среднем поле АТ-500 гПа наблюдаются волны малой амплитуды в связи, с чем ожидаем температурный режим апреля выше нормы (Рис. 3).

На основании выявленных прогностических указаний для июня по характеру циркуляции на среднем месячном поле АТ-500 гПа февраля, где над Восточной Европой имеет место барическая ложбина (Рис. 4), ожидаем нормальные или аномально холодные условия июня 2019 года.

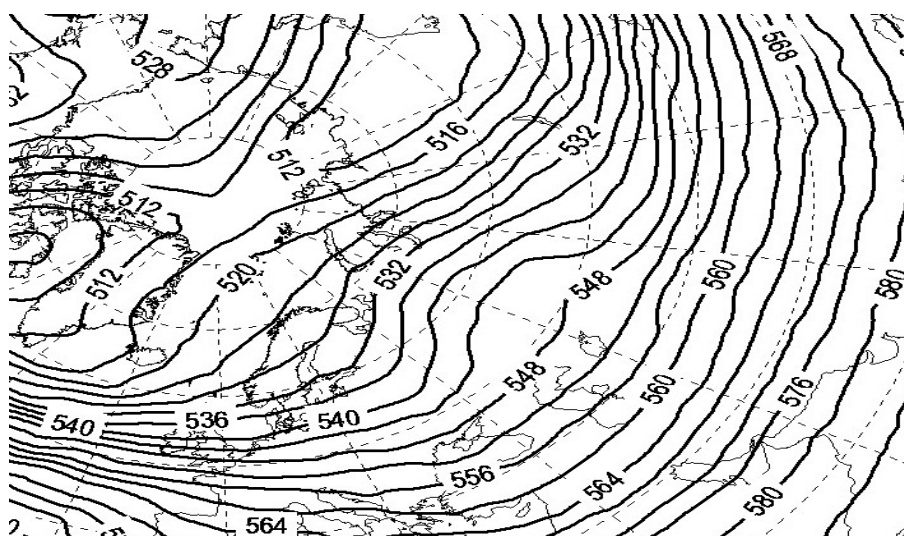


Рис. 3 Среднее барическое поле АТ-500 гПа в январе 2019 года [6]

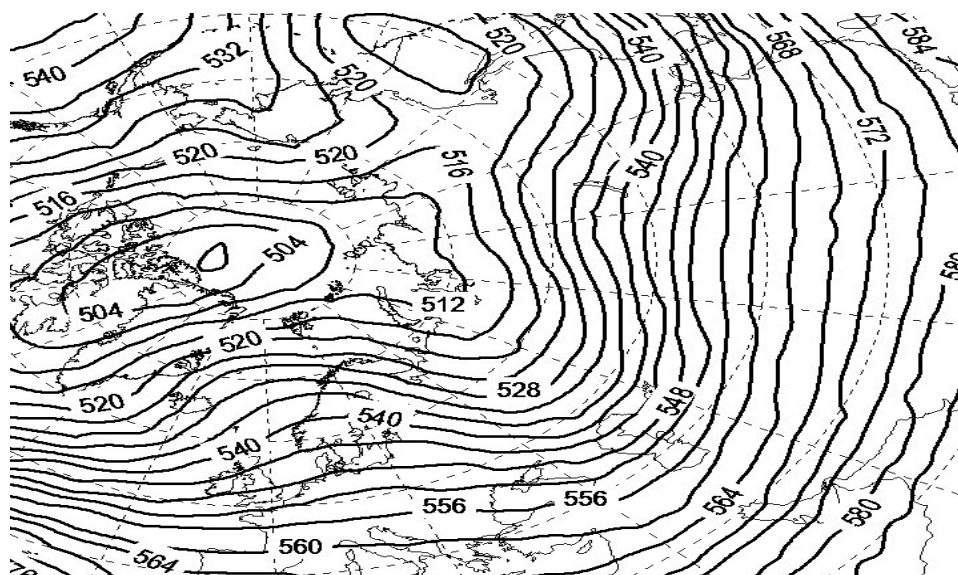


Рис. 4 Среднее барическое поле АТ-500 в феврале 2019 года [6]

Литература

1. Шакина Н.П., Иванова А.Р., Бирман Б.А., Скриптунова Е.Н. Блокирование: условия лета 2010 года в контексте современных знаний // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года. Сборник докладов / под ред. д-ра физ.-мат. наук проф. Н.П. Шакиной/ГУ «Гидрометцентр России». М.: Триада, лтд, 2011. С. 6 – 21.
2. Храбров Ю. Б. Календарные особенности волн тепла и холода. Тр. ЦИП. Вып. 150. 1967. 155 с.
3. Угрюмов А. И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Учебное пособие. Спб, изд. РГГМУ, 2006. 84 с.
4. Савичев А.И., Цепелев В.Ю. Прогноз погоды на месяц по методу типовых макропроцессов [Электронный ресурс]
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том I. Изменения климата. Москва: Росгидромет, ГУ «НИЦ Планета», 2008. – 228с
6. <http://mcc.meteorf.ru>
7. Мохов И.И. действие как интегральная характеристика климатических структур: оценки для атмосферных блокингов // Доклады РАН. 2006. Т. 409. №3. С. 403 – 406.
8. Адрианова Л.В. К вопросу о возможности долгосрочного прогноза теплого и холодного мая в Нижнем Поволжье // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. Вып. 7(14). Межвузовский научный сборник. Изд-во Саратов. ун-та, 1982. С. 120 – 127.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ И СТОКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ДЛИНЕ РЕКИ НЕВА

О.В. Задонская, О.М. Кузнецова

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург, Россия

VARIATION OF POLLUTANTS CONCENTRATIONS AND RUNOFF BY THE LENGTH OF NEVA RIVER

O.V. Zadonskaya, O.M. Kuznetsova

State Hydrological Institute, S.-Petersburg, Russia

Представлено изменение концентраций и стока органических и биогенных веществ, а также металлов по длине р. Нева за период 2000-2017 гг. Наиболее загрязненной можно считать воду в реке Нева ниже впадения крупных притоков Ижоры и Охты, испытывающих значительную антропогенную нагрузку.

The change in the concentrations and runoff of organic matters and nutrients, as well as metals along the length of the Neva river is presented for the period 2000-2017. The most polluted the Neva river water is after the large tributaries of Izhora and Okhta, experiencing significant anthropogenic pressure.

На государственной сети наблюдений (ГСН) за качеством и состоянием водных объектов на р. Нева осуществляется мониторинг в 8 створах на 2 гидрохимических постах в г. Кировск (исток) и г. Санкт-Петербург (нижнее течение). В г. Кировск створы находятся выше (ств.1) и ниже (ств.2) города. В Санкт-Петербурге верхние створы находятся в 0,5 км ниже впадения основных притоков реки Нева: р. Тосна (ств.1), р. Ижора (ств.2), р. Славянка (ств.3) и р. Охта (ств.4). Створ 5 находится в 0,1 км выше Литейного моста, а створ 6 в 1,4 км выше устья Большой Невы. Створ 3 также совпадает с гидрологическим постом р. Нева – д. Новосаратовка. Наблюдения за гидрохимическими показателями в данном створе были начаты в 1946 г., в остальных – в период с 1967 по 1986 годы.

Для анализа вариаций содержания и стока с речными водами были выбраны в первую очередь вещества, по которым в устье наблюдается превышение рыбохозяйственных ПДК, а также биогенные вещества (различные формы азота и фосфора), которые оказывают значительное влияние на процессы эвтрофикации в водоемах, включая Финский залив. Таким образом, были собраны данные по следующим показателям (всего 14): рН, БПК₅, ХПК (бихроматная окисляемость), азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, азот общий, фосфор фосфатов (фосфор минеральный), фосфор общий, фосфор валовый, железо общее, медь, марганец, цинк.

Средние многолетние годовые величины различных химических показателей в р. Нева за период 2000-2017 гг. представлены на рисунке 1. Средние величины рН по различным створам изменялись от 7,23 до 7,56 и были близки к нейтральным. В створе ниже впадения р. Ижора отмечались наибольшие значения рН, что может быть связано с антропогенным загрязнением этой реки.

Показатель содержания легкоокисляемых органических веществ (БПК₅) на всем протяжении р. Нева в среднем за период достаточно высок и составляет 1,48-2,24 мг/дм³, и в створе ниже р. Ижора (ств.2) превышает предельные допустимые концентрации (ПДК) по рыбохозяйственным нормативам [1]. Превышение ПДК рыбхоз в отдельные годы наблюдалось на 7 из 8 створах по р. Нева.

Показатель ХПК, отражающий содержание как легко-, так и трудноокисляемых органических веществ в воде, в р. Нева преимущественно изменяется в пределах 20,5-23,1 мг/дм³, но в створе ниже впадения р. Тосна (ств.1) значительно выше и составляет 29,1 мг/дм³.

Средние многолетние годовые концентрации азота аммонийного в воде р. Нева колебались в пределах 0,043–0,093 мг/дм³. Однако в створе ниже реки Охта, находящейся под большим

антропогенным воздействием, эта величина возрастала до 0,19 мг/дм³. Также в створе 2 ниже впадения р. Ижоры, отмечены повышенные концентрации азота нитритного и азота нитратного, в том числе и превышение ПДК рыбхоз по содержанию азота нитритов (0,02 мг/дм³).

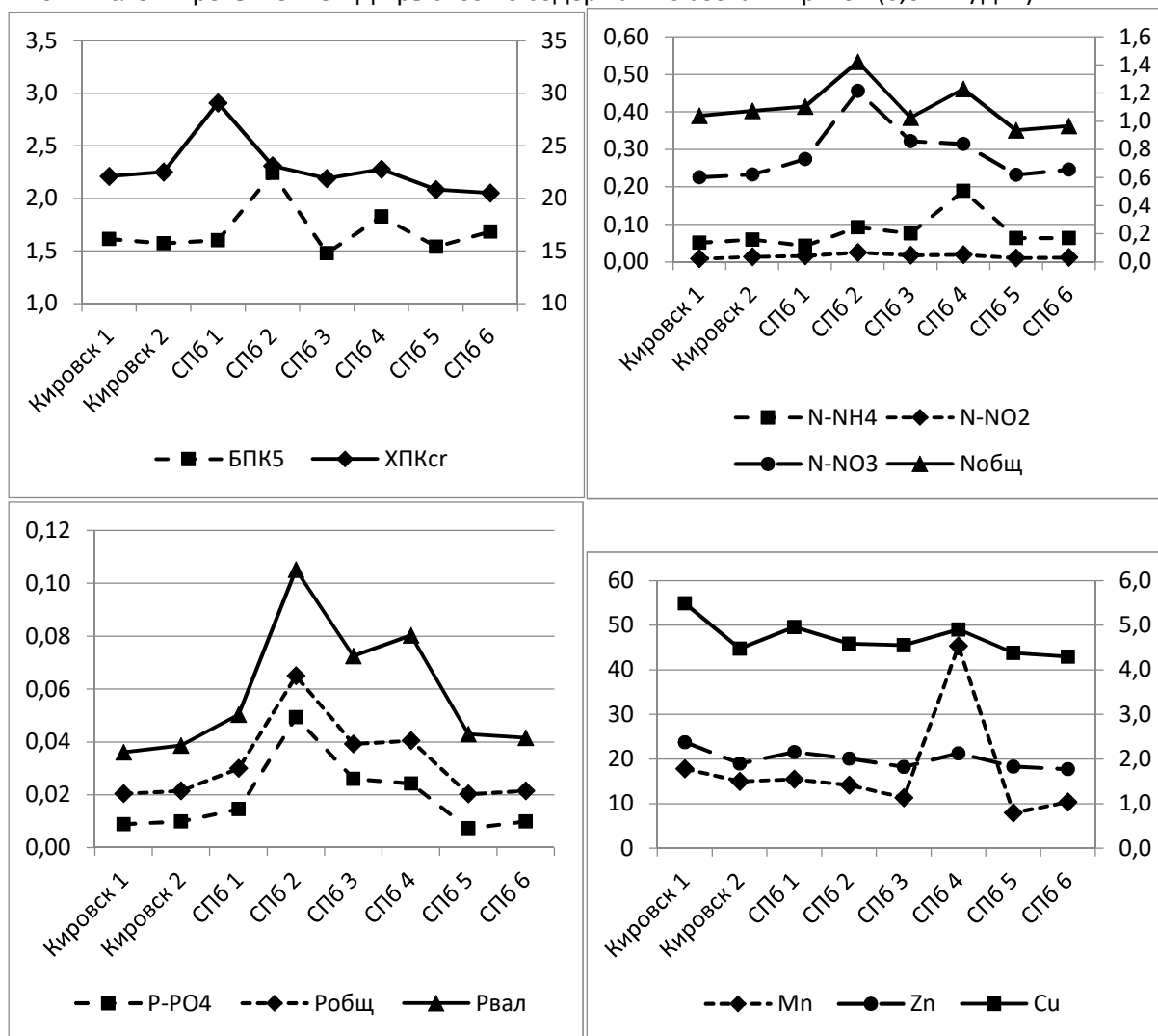


Рис.1. Среднемноголетние годовые величины различных химических показателей в воде р. Нева, 2000-2017 гг.

По содержанию азота общего отмечены достаточно высокие концентрации почти на всем протяжении р. Нева (наибольшие концентрации наблюдались в створах ниже впадения загрязненных рек Ижора и Охта).

Наиболее высокие концентрации по различным формам фосфора (минеральный, общий и валовый) отмечались в р. Нева в створе ниже впадения р. Ижора. Также повышенные концентрации валового фосфора отмечались в р. Нева в створе ниже впадения р. Охта. При этом средние многолетние концентрации в истоке и в устье р. Нева практически одинаковы и указывают на достаточно хорошую ассимиляцию этого вещества в речных водах.

По содержанию железа общего наибольшие концентрации отмечались в створах 1 и 4 (ниже впадения рек Тосна и Охта) на р. Нева – 0,26 мг/дм³. В остальных створах концентрации не превышали 0,17 мг/дм³ и были наибольшими в истоке реки. Высокие средние концентрации марганца (более 40 мкг/дм³) были получены в ниже впадения р. Охта в реке Нева. Достаточно высокие средние концентрации по цинку, превышающие ПДК рыбхоз. были получены почти на всех створах.

Таким образом, очевидно, что колебания содержания химических веществ в воде р. Нева достаточно велики даже в среднем за многолетний период, что связано с поступлением как природного, так и антропогенного загрязнения от точечных и диффузных источников с водосбора с различными притоками. Наиболее загрязненной за период 2000-2017 гг. можно считать воду в реке Нева ниже впадения рек Ижора и Охта.

Сток загрязняющих веществ с водами реки Нева был рассчитан по данным 2000–2017 гг. по 13 показателям. При расчете использовались данные о месячном стоке воды и срочные данные гидрохимических наблюдений. Сток ЗВ определялся умножением этих величин и был рассчитан в тоннах (в том числе и для металлов). Если гидрохимические определения проводились не ежемесячно, а раз в сезон, то для расчета стока между месяцами, в которые было выполнено наблюдение, использовались среднеарифметические значения концентраций, рассчитанные между ближайшими двумя измерениями.

Так как в рядах гидрохимических показателей возможны значительные выбросы (в максимальную сторону) по величине (что часто связано с кратковременным антропогенным поступлением ЗВ), то использование этих данных, особенно для расчетов годовых величин по сезонным значениям, может привести к завышению оценки стока ЗВ. Поэтому выбросы, превышающие границу 99,7% доверительного интервала («правило трех сигм»), были «срезаны» до этой границы.

На рисунке 2 и в таблице 1 представлен средний многолетний сток различных химических веществ в устьевой части реки Нева (створы 3 и 5 – Новосаратовка и Литейный мост) за период 2000-2017 гг. Так как рассчитанный сток имеет большой разброс значений для разных веществ, то на графиках использована логарифмическая шкала.

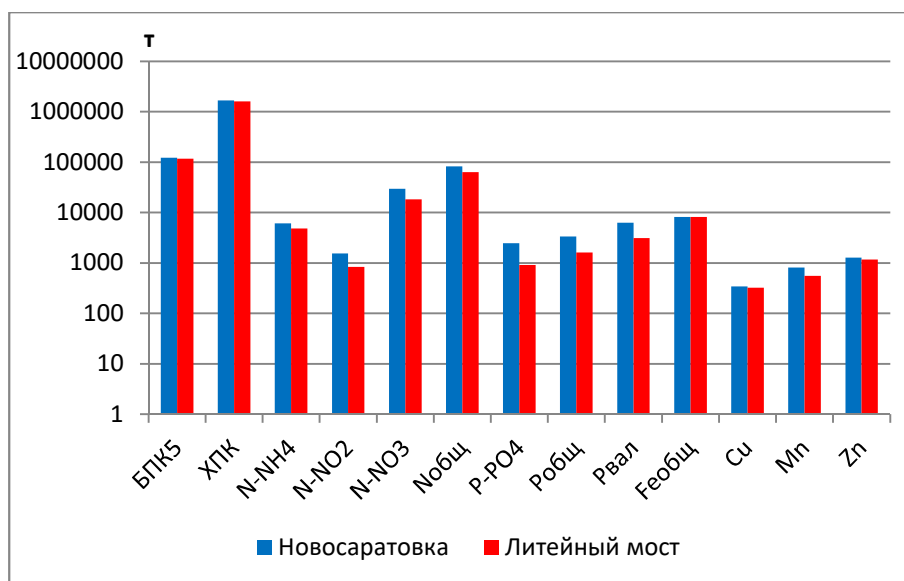


Рис.2. Среднемноголетний сток ЗВ по р. Нева, 2000-2017 гг.

Таблица 1 – Среднемноголетний сток химических веществ по р. Нева, 2000-2017 гг.

	БПК ₅	ХПК	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Нобщ	P-PO ₄	Робщ	Рвал	Феобщ	Cu	Mn	Zn
р. Нева – Новосаратовка	121288	1673216	6133	1539	29413	82384	2480	3367	6318	8177	340	812	1273
р. Нева – Литейный мост	117384	1596106	4819	832	18176	62858	917	1616	3099	8198	325	556	1173

Сток легкоокисляемых органических веществ по показателю БПК₅ в створе Новосаратовки и в створе Литейного моста составил 121 и 117 тыс. тонн (таблица 1), при этом межгодовые колебания для двух створов составляли 63,2–189 тыс. тонн. Сток органических веществ по ХПК был почти в 14 раз выше и составил 1673 и 1596 тыс. тонн соответственно (при годовых колебаниях от 842 до 2119 тыс.тонн).

Средний за период сток азота общего оценивался для створа р. Нева – д. Новосаратовка в 82,4 тыс. тонн, для створа р. Нева – Литейный мост в 62,9 тыс. тонн (таблица 1). Такие различные оценки связаны с тем, что измерения концентраций биогенных веществ (разных форм азота и фосфора) в створе у Литейного моста проводятся только раз в сезон и поэтому их сток рассчитан с пониженной точностью. Кроме того, не всегда отборы проб проводились на 3 вертикалях (у берегов и посередине), что также могло повлиять на точность оценок стока. Этот вопрос требует дальнейшего исследования. Изменения годовых величин стока азота общего для створа в д. Новосаратовка составляли 51,9–127 тыс. тонн, для створа у Литейного моста – 29,2–107 тыс. тонн.

Наибольшую долю в стоке азота составляет азот нитратов, который в среднем за период для верхнего и нижнего створа составил 29,4 и 18,2 тыс. тонн соответственно (35,7% и 28,9%). Доля азота аммонийного составляла 7,7-7,4%, а доля азота нитритного – 1,9–1,3%. Таким образом, суммарно доля минеральных форм азота в общем стоке азота составляет в среднем за период 45,0–37,9%.

По различным формам фосфора оценки для двух створов очень разнятся. Поэтому анализ ниже дается по данным створа в д. Новосаратовка, измерения на котором проводились чаще (как во времени, так и в пространстве). Сток валового фосфора в среднем за период 2000-2017 гг. оценивается в 6,32 тыс. тонн, межгодовые колебания составляли 2,88–11,7 тыс. тонн. При этом доля общего фосфора (растворенного) составляла в среднем 53,3% от валового фосфора, а доля фосфора фосфатов – 39,3%. Важно отметить, что сток фосфора не связан напрямую с водностью года (рисунок 3).

Оценки стока металлов по двум створам р. Нева были близки (кроме стока марганца). Средний за период для верхнего и нижнего створа годовой сток железа общего оценивается в 8177–8198 тонн, меди – 340–325 тонн, марганца – 812–556 тонн и цинка – 1273–1173 тонн.

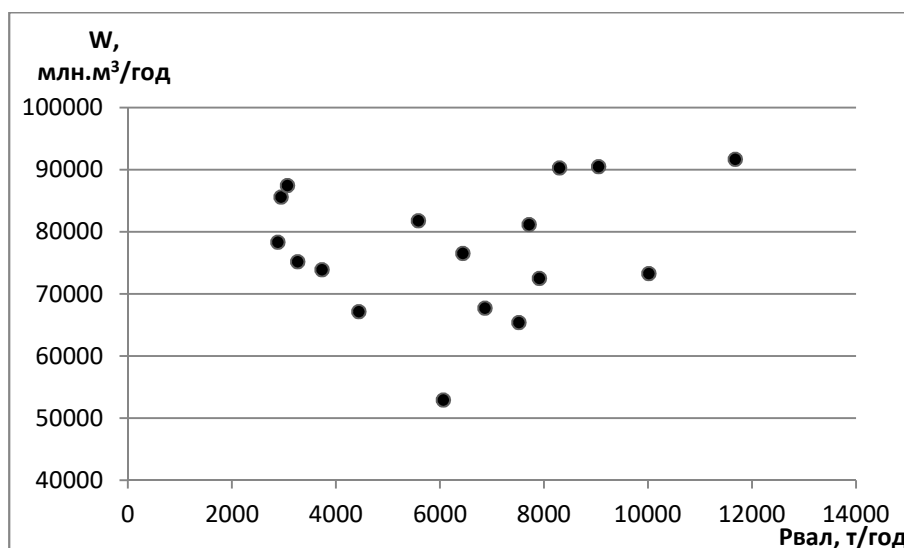


Рис.3. Связь между годовыми значениями стока воды и стока валового фосфора на ГП р. Нева – д. Новосаратовка

Таким образом, межгодовые колебания концентраций и стока загрязняющих веществ в Балтийское море со стоком р. Невы достаточно значительны. Средние многолетние значения в замыкающем створе не превышают существующих рыбохозяйственных ПДК, однако ниже

впадения загрязненных притоков – рек Охта и Ижора – встречаются превышения по БПК5 и азоту нитритов. Расчет стока ЗВ по р. Нева рекомендуется проводить по данным наблюдений на ств.3 (у д. Новосаратовка), т.к. здесь частота наблюдений и охват всей ширины реки обеспечивают более надежные данные.

Литература

1. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения (утв. приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20).

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА СТОКА ВОДЫ КРУПНЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА В XXI ВЕКЕ

О.В. Задонская

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург, Россия

WATER RUNOFF MODE CHANGES IN THE LARGE NORTH-WEST RIVERS IN THE XXI CENTURY

O.V. Zadonskaya

State Hydrological Institute, S.-Petersburg, Russia

Представлено изменение стока воды крупных рек Северо-Запада РФ (Нева, Луга, Нарва) за 2000-2016 гг. Наблюдаемые расходы воды находятся в пределах, по крайней мере, 150-летних естественных колебаний.

Changes in the large rivers of the North-West of RF water runoff (Neva, Luga, Narva) for 2000-2016 are presented. Observed water discharges are in the range of at least 150 years of natural fluctuations.

Для оценки стока воды крупных рек Северо-Запада (Нева, Луга, Нарва) были использованы данные по 2 гидрологическим постам, а также по Нарвской ГЭС. Список постов и их основные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики гидрологических постов на крупных реках СЗ РФ

№ п/п	Код поста	Название водотока - Название поста	Координаты		Расст. от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период	Продолжи- тельность, лет
			Широта	Долгота				
1	72818	р. Нева - д. Новосаратовка	5950	3033	27	281000	1859-2016	158
2	72577	р. Луга - г. Кингисепп	5923	2836	60	12800/544	1944-2016	73
3	41009	р. Нарва – XIII ГЭС				56000	1956-2016	61

Изменение годовых значений стока

Характерные расходы воды в крупных реках Северо-Запада в период 2000-2016 гг. представлены на рисунках 1-2. Сравнение характерных расходов воды в реках за период 2000-2016 годов и за многолетний период представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение многолетних и средних за период 2000-2016 годов характерных расходов воды (м³/с) на крупных реках Северо-Запада РФ

№ п/п	Код поста	Название водотока - Название поста	Q _{ср}		Q _{макс}		Q _{мин лет}		Q _{мин зим}		Амплитуда		
			мн/лет	2000- 2016	мн/лет	2000- 2016	мн/лет	2000- 2016	мн/лет	2000- 2016	мн/лет	2000- 2016	%
1	72818	р. Нева - д. Новосаратовка	2504	2438	4590	3770	1250	1580	540	548	3748	2330	62
2	72577	р. Луга - г. Кингисепп	98,8	103	1190	1020	6,61	9,87	2,95	10,4	1181	999	85
3	41009	р. Нарва – XIII ГЭС	384	386	1470	1200	0,1	0,1			1411	1033	73

Изменения расходов в XXI веке составляли от 62% до 85% по годовой амплитуде от многолетних амплитуд. На зарегулированных крупными озерами реках с более сглаженным стоком воды годовые амплитуды были меньше и не превышали 73% от многолетней годовой амплитуды расходов (реки Нева и Нарва). На р. Луга колебания расходов более значительны.

Максимальные расходы за последний период не превысили максимальных многолетних расходов за весь период наблюдений и составляли 82-89% от них. На реках Луга и Нарва максимальные измеренные расходы отмечались в 2010 г., на реке Нева – в 2005 г.

Минимальные расходы воды за 2000-2016 годы были близки к многолетним величинам на реках Луга и Нарва. Обновились минимальные значения на р. Нарва - XIII ГЭС. В р. Нева в период открытого русла сток воды был на 26% выше, чем в многолетнем разрезе. В зимнее же время наблюдались очень низкие расходы в декабре 2002 г., которые почти сравнялись с многолетним минимумом (таблица 2).

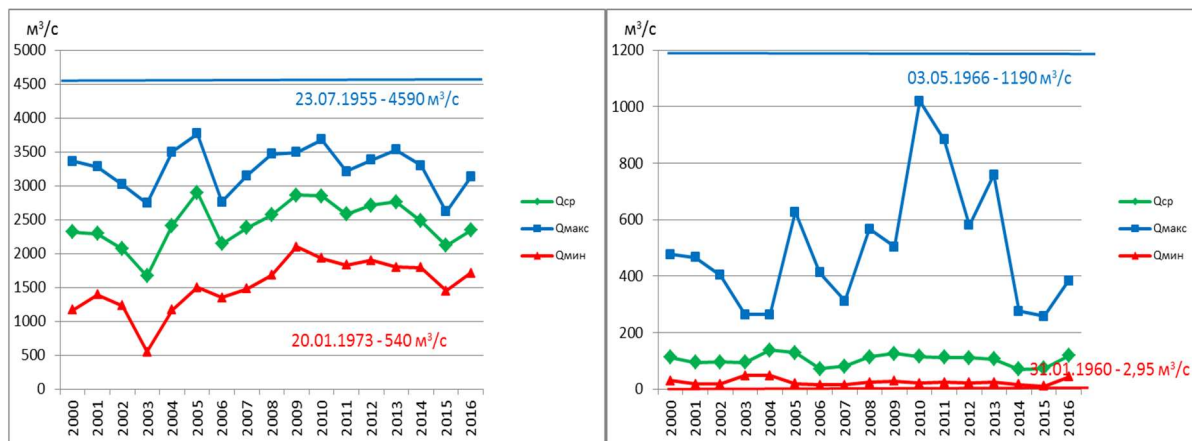


Рисунок 0 – Характерные расходы воды на ГП р. Нева – д. Новосаратовка и р. Луга – г. Кингисепп, 2000-2016 гг.

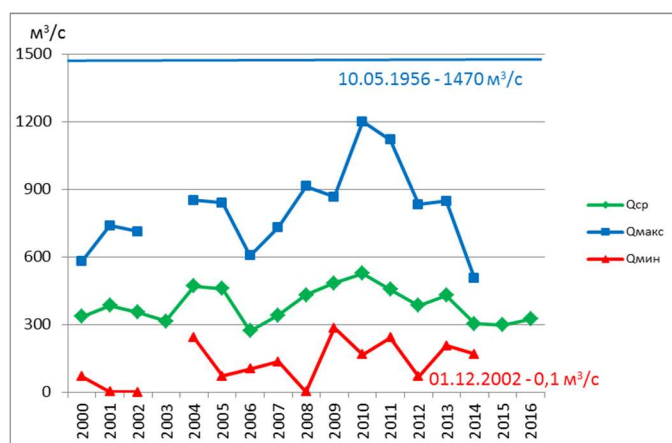


Рисунок 2 – Характерные расходы воды на ГП р. Нарва – XIII ГЭС, 2000-2016 гг.

Это позволяет говорить о том, что наблюдаемые в настоящее время максимальные и минимальные расходы воды в крупных реках СЗ находятся в пределах, по крайней мере, 150-летних естественных колебаний.

Изменение сезонных значений стока

Сезонный сток воды крупных рек Северо-Запада в период 2000-2016 гг. и его процентное распределение внутри года представлены на рисунках 3-5. Согласно данным ГВК, в р. Нева распределение сезонов выполнено следующим образом: весна – апрель-июнь (3 месяца), лето/осень – июль-ноябрь (5 месяцев), зима – декабрь-март (4 месяца). В реках Луга и Нарва это распределение несколько другое, соответствующее более южному положению рек: весна – март-май (3 месяца), лето/осень – июль-ноябрь (6 месяцев), зима – декабрь-февраль (3 месяца).

На р.Нева наибольшее количество воды стекает в летне-осенний период с июля по ноябрь (рисунок 3). В период 2000-2016 гг. колебания стока этого сезона составляли от 26,0 (2003 год)

до 42,4 км³ (2005 год) и в среднем летне-осенний сток составил 34,3 км³, что на 7,5% ниже чем за многолетний период. Сток в весенний период несколько больше, чем в зимний, и по сравнению с многолетним периодом почти не изменился. Зимний сток увеличился на 1,4 км³, т.е. на 7,3% по сравнению с многолетней величиной. В процентном соотношении летне-осенний сток немного уменьшился, а зимний – вырос. Доля стока весеннего периода за весь период наблюдений составляет в среднем 28,8%, летне-осеннего периода 47,1%, зимнего периода 24,1%. В целом, изменчивость стока р. Невы, зарегулированного Ладожским озером, невелика и межгодовые колебания долей сезонного стока за период 2000-2016 гг. не превышают 14%. Минимальный размах колебаний у летне-осеннего стока (5,7%), максимальный – у зимнего (что связано с частыми заторами и зажорами на реке).

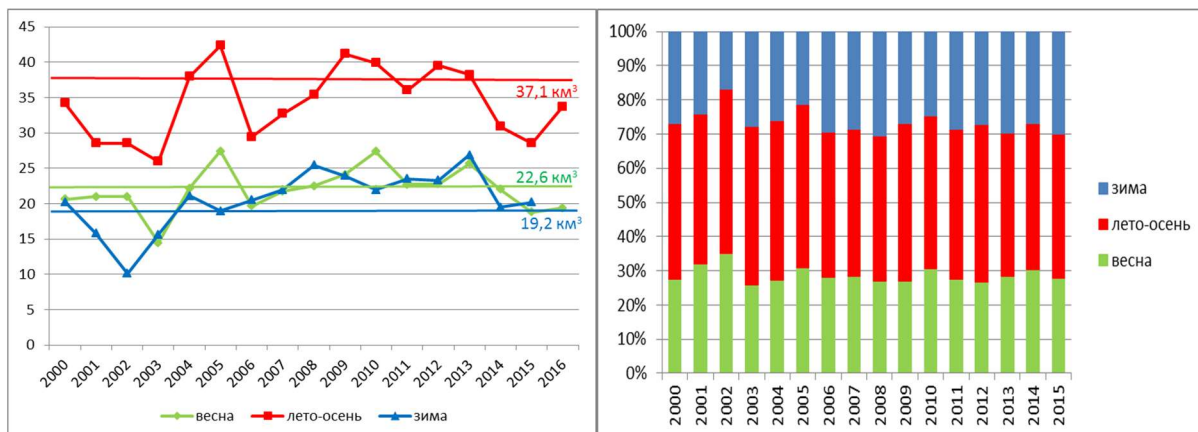


Рисунок 3 – Сезонный сток воды (км³) на ГП р. Невы – д. Новосаратовка и его соотношение в различные годы, 2000-2016 гг.

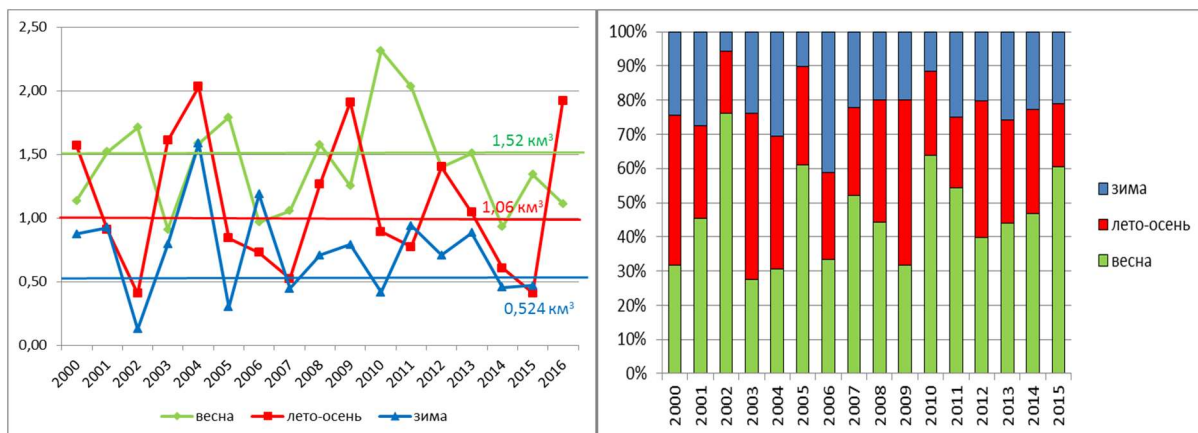


Рисунок 4 – Сезонный сток воды (км³) на ГП р. Луга – г. Кингисепп и его соотношение в различные годы, 2000-2016 гг.

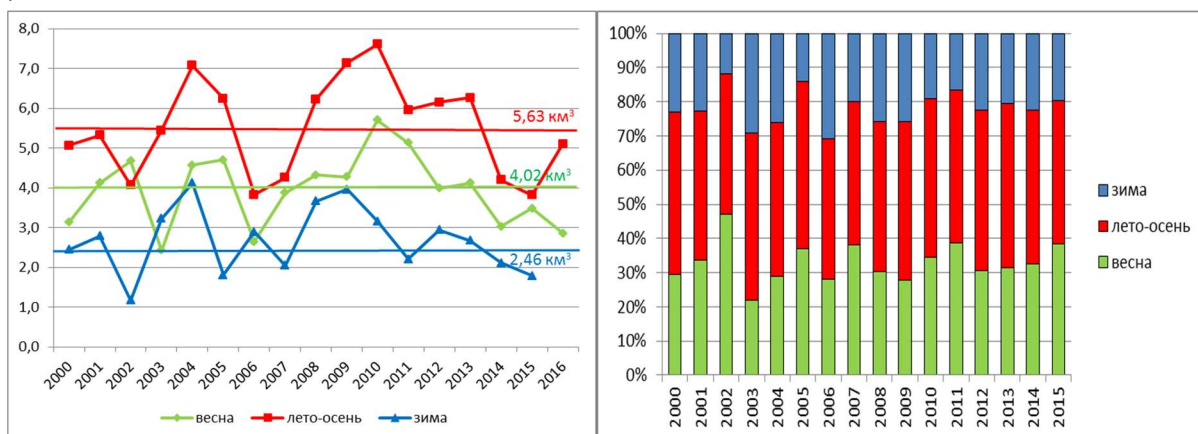


Рисунок 5 – Сезонный сток воды (км³) на ГП р. Нарва – XIII ГЭС и его соотношение в различные годы, 2000-2016 гг.

На р. Луга доля весеннего стока (в период март-май) в среднем за многолетний период составляет 50,8% или 1,52 км³. В последние годы (2000-2016) эта доля снизилась на 4,3%. Также на 1,0% снизилась по сравнению с многолетними значениями и доля летне-осеннего стока – до 31,5% (рисунок 4). В то же время доля зимнего стока (за декабрь-февраль) возросла на 5,3% и составляет за период 2000-2016 гг. в среднем по посту 22,0%. Необходимо отметить очень большую межгодовую изменчивость сезонного стока на р. Луга, которая даже для периода 2000-2016 гг. для весеннего сезона составляет 27,5-76,2%, для летне-осеннего – 18,1-48,5%, для зимнего 5,7-41,2%.

Кроме того, важным изменением во внутригодовом распределении стока воды является увеличение доли зимнего стока в последние годы (2000-2016 гг.). Так, за последние 17 лет зимний сток превысил весенний или летне-осенний сток в 5 случаях, а за предыдущие 55 лет с начала наблюдений таких случаев было всего 4.

Режим стока воды на р. Нарва в створе ГЭС (рисунок 5) в значительной степени напоминает режим стока р. Нева, зарегулированного Ладожским озером. В годовом разрезе преобладает сток летне-осеннего периода, который составляет в среднем за период 2000-2016 гг. 45,1% (5,54 км³). Доля весеннего стока несколько больше, чем в р. Нева, что связано с предположительной сработкой водохранилища, и составляет в среднем за период 33,0%. Доля зимнего стока – 21,9%. По сравнению с многолетним периодом (с начала функционирования плотины ГЭС в 1956 г.) внутригодовое распределение стока практически не изменилось.

Изменение месячных значений стока

Месячный сток крупных рек Северо-Запада за период 2000–2016 годов имеет свои различия в зависимости от их зарегулированности и площади водосборов. Зарегулированные крупными озерами реки Нева и Нарва имеют схожий внутригодовой режим стока воды – плавное начало весеннего половодья, пик которого приходится в р. Нева на май, а в р. Нарва на апрель, и постепенное снижение стока в летне-осенний период. Минимум стока на обеих реках наступает в феврале. Средние величины месячного стока для р. Невы изменяются от 4,31 до 7,74 км³/мес, для р. Нарвы – от 0,849 до 1,49 км³/мес.

Река Луга имеет характерный для многих рек Северо-Запада гидрограф стока с высоким весенним половодьем в апреле, снижением стока в летне-осенний период и незначительным его повышением после осенних паводков и в зимний период. Средние величины месячного стока воды в течение года за период 2000–2016 гг. изменяются от 0,131 до 0,778 км³.

Выводы

Изменения расходов на крупных реках Северо-Запада РФ в период 2000–2016 гг. составляли от 62% до 85% по годовой амплитуде от многолетних амплитуд. На зарегулированных крупными озерами реках с более сглаженным изменением стока воды годовые амплитуды были меньше и не превышали 73% от многолетней годовой амплитуды расходов (реки Нева и Нарва).

Максимальные расходы за последний период не превысили максимальных многолетних расходов за весь период наблюдений и составляли 82-86% от них. На реках Луга и Нарва максимальные измеренные расходы отмечались в 2010 г., на реке Нева – в 2005 г.

Минимальные расходы воды за 2000-2016 годы были близки к многолетним величинам на реках Луга и Нарва. Обновились минимальные значения на р. Нарва - XIII ГЭС. В р. Нева в период открытого русла сток воды был на 26% выше, чем в многолетнем разрезе. В зимнее же время наблюдались очень низкие расходы в декабре 2002 г., которые почти сравнялись с многолетним минимумом.

Это позволяет говорить о том, что наблюдаемые в настоящее время максимальные и минимальные годовые расходы воды в крупных реках СЗ находятся в пределах, по крайней мере, 150-летних естественных колебаний.

Зарегулированные крупными озерами реки Нева и Нарва имеют схожий внутригодовой режим стока воды – плавное начало весеннего половодья, пик которого приходится в р. Нева на май, а в р. Нарва на апрель, и постепенное снижение стока в летне-осенний период. Минимум стока на обеих реках наступает в феврале. Река Луга имеет характерный для многих рек Северо-Запада гидрограф стока с высоким весенним половодьем в апреле, снижением стока в летне-осенний период и незначительным его повышением после осенних паводков и в зимний период.

В сезонном разрезе на р. Нева наибольшее количество воды стекает в летне-осенний период с июля по ноябрь – в среднем летне-осенний сток составил $34,3 \text{ км}^3$, что на 7,5% ниже, чем за многолетний период (47,1%). Доля стока весеннего периода несколько больше, чем зимнего. В целом, изменчивость стока р. Невы, зарегулированного Ладожским озером, невелика и межгодовые колебания долей сезонного стока за период 2000-2016 гг. не превышают 14%.

На р. Луга доля весеннего стока (в период март-май) составляет 50,8%. Можно отметить очень большую межгодовую изменчивость сезонного стока на р. Луга. Кроме того, важным изменением во внутригодовом распределении стока воды является увеличение доли зимнего стока в последние годы (2000-2016 гг.).

Режим стока воды на р. Нарва в створе ГЭС в значительной степени напоминает режим стока р. Нева, зарегулированного Ладожским озером. В годовом разрезе преобладает сток летне-осеннего периода, который составляет в среднем за период 2000-2016 гг. 45,1% ($5,54 \text{ км}^3$). Доля весеннего стока несколько больше, чем в р. Нева, что связано с предполоводной сработкой водохранилища, и составляет в среднем за период 33,0%. По сравнению с многолетним периодом (с начала функционирования плотины ГЭС в 1956 г.) внутригодовое распределение стока практически не изменилось.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЗАСУХИ НА ГАЗООБМЕН ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ ПОЛИГОНА «ТАЕЖНЫЙ ЛОГ» ВАЛДАЙСКОГО ФИЛИАЛА ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Замолодчиков Д.Г.¹, Шилкин А.В.², Гитарский М.Л.³, Карелин Д.В.⁴, Иващенко А.И.⁵

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия

²НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

³Институт глобального климата и экологии имени Ю.А. Израэля. Росгидромета-РАН, Москва, Россия

⁴Институт географии РАН, Москва, Россия

⁵Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

THE INFLUENCE OF EXTREMAL DROUGHT ON CO₂ EXCHANGE IN SOUTH TAIGA SPRUCE FOREST AT EXPERIMENTAL SITE “TAEZHNY LOG” OF VALDAY BRANCH OF STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE

Zamolodchikov D.G.¹, Shilkin A.V.², Gytarsky M.L.³, Karelin D.V.⁴, Ivaschenko A.I.⁵

¹ Center for Ecology and Productivity of Forests, Moscow, Russia

²“Typhoon” Research and Production Association, Obninsk, Russia

³ Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

⁴Institute of Geography, Moscow, Russia

⁵M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Полигон «лог Таежный» насчитывает 75-летнюю историю гидрологических и экологических исследований. С начала 2010-х годов на полигоне проводятся интенсивные исследования и мониторинг потоков парниковых газов на основе метод микродинамических пульсаций. Представлено сравнение сезонной динамики чистого экосистемного обмена углерода за 2010 и 2018 гг. В оба года зарегистрирована конверсия обмена со стока на источник углерода в период с 20 июля по 15 августа. Среднесезонный уровень стока углерода составлял в 2010 г. $-1.53 \text{ г C м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, а в 2018 г. лишь $-0.43 \text{ г C м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Причина снижения стока углерода состоит в усилении распада елового древостоя, активизированного экстремальной засухой 2010 г.

The “Log Tayezhny” experimental site accounts for 75-year history of hydrologic and environmental studies. Since the beginning of 2010th the intensive research and monitoring of greenhouse gas fluxes have been carried out at the site with the use of eddy covariance. The comparison of seasonal dynamics of net carbon ecosystem exchange is presented for 2010 and 2018. The conversion of exchange from sink to source of carbon is registered from 20 of July to 15 of August for both years. Mean seasonal carbon exchange was $-1.53 \text{ g C м}^{-2} \text{ day}^{-1}$ in 2010 and $0.43 \text{ g C м}^{-2} \text{ day}^{-1}$ in 2018. The main reason of carbon sink decrease is dieback of spruce stand after extreme hot weather of 2010 summer.

Современные изменения климата приобретают все более выраженный характер, существенно модифицируя функционирование природных систем различного пространственного уровня, от экосистем до биосферы в целом. В этой связи повышается роль долговременных стационарных наблюдений, которые обеспечивают возможность выявления текущих трендов ключевых свойств экосистем. Одним из наиболее долгосрочных пунктов стационарных наблюдений за функционированием лесных экосистем в нашей стране является полигон «лог Таежный» Валдайского филиала Государственного гидрологического института (ВФ ГГИ). Наблюдения за поверхностным стоком здесь были начаты в 1939 г. (Молчанов, 1973), прерваны войной и возобновлены с начала 1950-х годов. В 1970-е на полигоне проводились детальные исследования всех компонентов водного баланса (Федоров, 1979), а также многих других структурных и функциональных характеристик лесной экосистемы, (Ватковский и др., 1972 и др.) С начала 2010-х годов при поддержке Росгидромета на полигоне стартовали интенсивные исследования потоков парниковых газов с использованием метода микродинамических пульсаций. К настоящему времени опубликован ряд результатов этих работ (Замолодчиков и др., 2017, Мониторинг потоков..., 2017). Цель настоящей работы состоит в характеристике динамики экосистемного обмена CO₂ (*NEE*) за теплый сезон на полигоне «лог Таежный».

Полигон расположен на территории Валдайского р-на Новгородской обл. Согласно лесотаксационным работам, проведенным в 2010 г., древостой имел формулу 9Е1С, средний диаметр 37 см; среднюю высоту 31 м, полноту 0.6, бонитет 1. Объемный запас стволовой древесины составлял $479 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, сухостоя $109 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, валежа $70 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Исследуемый южнотаежный ельник находится в состоянии возрастной сукцессионной дигрессии которая началась в 2009 г. и ускорилась из-за засухи 2010 г. На фоне уменьшения запаса живой древесной растительности растут изреженность лесного полога и отпад. К 2018 г. запас сухостоя и валежа увеличился более чем втрое, а полнота елового древостоя снизилась до 0.4.

Регистрацию компонентов углеродного и водного баланса проводили методом микродинамических пульсаций (eddy covariance). Ключевой набор сенсоров (газоанализаторы и звуковые анемометры) размещен на высотной мачте на высоте 37 м при высоте окружающего древостоя 32 м. Дополнительный набор сенсоров включает регистраторы радиационного баланса, фотосинтетически активной радиации (ФАР), осадков, влажности воздуха, температуры воздуха и почвы на различных уровнях, потоков почвенного тепла, влажности почвы. Эксплуатация установки осуществляется Валдайским филиалом ГГИ совместно с НПО «Тайфун». Измерения проводились с мая 2010 г. по август 2011 г., после чего они были прерваны по техническим причинам. Устойчивое возобновление измерений осуществлено в августе 2017 г., после чего они продолжают до настоящего времени. Результаты представлены значениями балансового потока CO_2 между экосистемой и атмосферой, также называемого чистым экосистемным обменом (NEE), испарения (эвапотранспирации), турбулентного потока тепла, затрат тепла на испарение для 30-минутных интервалов всего периода измерений, а также величинами температур и прочих параметров, усредненных на тех же 30-минутных интервалах.

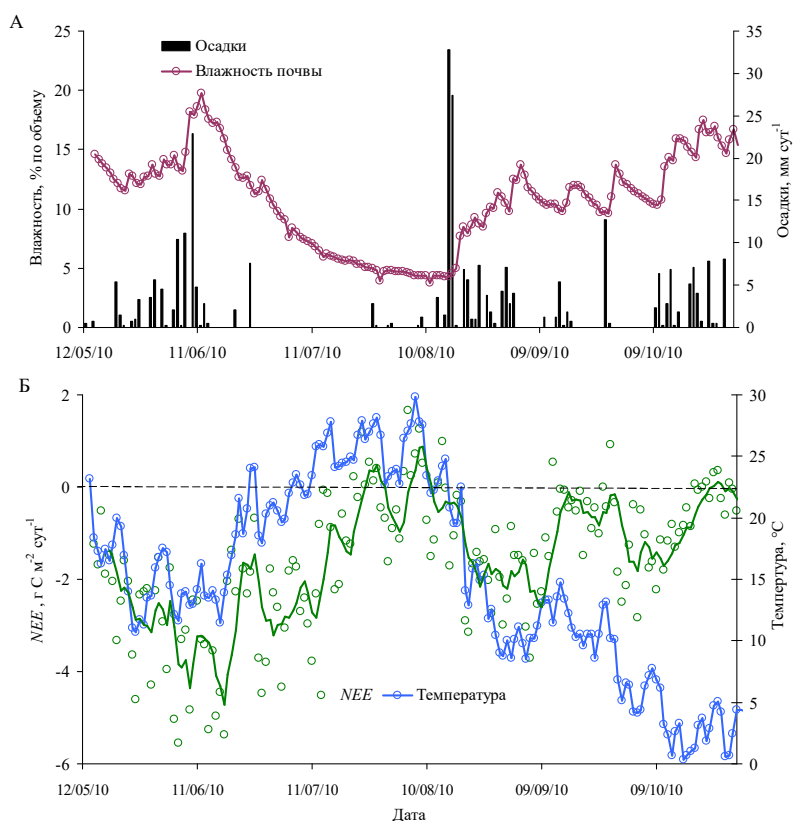


Рисунок 1. Динамика осадков и влажности почвы (А), температуры воздуха и NEE (Б) за май-октябрь 2010 г. в южнотаежном ельнике. Отрицательные значения NEE означают сток углерода в экосистему.

На рис. 1 представлена динамика осадков, влажности почвы, температуры воздуха и NEE за май-октябрь 2010 г. Напомним, что в июле-августе этого года отмечалась аномальная жара и засуха на территории Европейской части России. В регионе исследования среднесуточные температуры воздуха выше 25 °С наблюдались с 10 июля до 15 августа, суммарные осадки за этот период составили 5 мм. Жаркая и сухая погода привела к выраженному снижению влажности почвы от 12% в начале июля до 5% в середине августа. В течение июля происходило сокращение стока углерода, и с 20 июля по 15 августа ельник преимущественно был источником углерода. Ранее мы интерпретировали этот факт как конверсию углеродного баланса ельника под действием повышенных температур (Замолодчиков и др., 2017). В мае-октябре 2018 г. не отмечено длительных экстремальных погодных ситуаций (рис. 2), среднесуточные температуры не превышали 25°C, влажность почвы варьировала в пределах 10-20%. Однако конверсия углеродного обмена со стока на источник все равно произошла около 20 июля и оставалась в силе до начала августа.

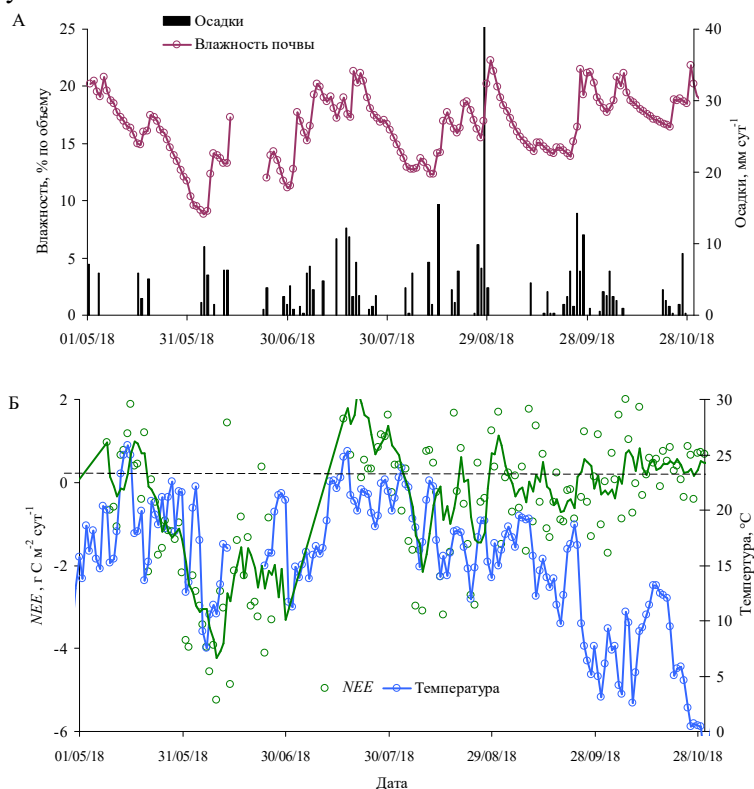


Рисунок 2. Динамика осадков и влажности почвы (А), температуры воздуха и NEE (Б) за май-октябрь 2018 г. в южнотаежном ельнике.

Рассмотрим связи NEE с температурой и влажностью в обсуждаемые сезоны. Связь NEE с температурой имеет унимодальную форму (рис. 3 А и рис.4 А), максимум стока имеет место при 15 °С. В 2018 г. линия связи проходит несколько выше, чем в 2010 г. Среднесезонный уровень стока углерода составлял в 2010 г. -1.53 г C м² сут⁻¹, а в 2018 г. лишь -0.43 г C м² сут⁻¹. Наиболее вероятная причина такого межгодового изменения связана с усиливающимся распадом елового древостоя.

Зависимость NEE от влажности почвы в 2010 г. имеет выраженный линейный характер (рис. 4А), причем при повышении влажности сток углерода растет. Однако в 2018 г. зависимость имеет противоположный характер (рис. 4 Б), а сток углерода понижается при повышении влажности. Причины различий состоят в том, что в 2010 г. влажность преимущественно варьировала на низких значениях (от 5 до 15%), а в 2018 г. на высоких (от 10 до 25%).

Обобщенная зависимость NEE от влажности, вероятно, имеет нелинейный характер с наличием оптимального диапазона для максимального стока.

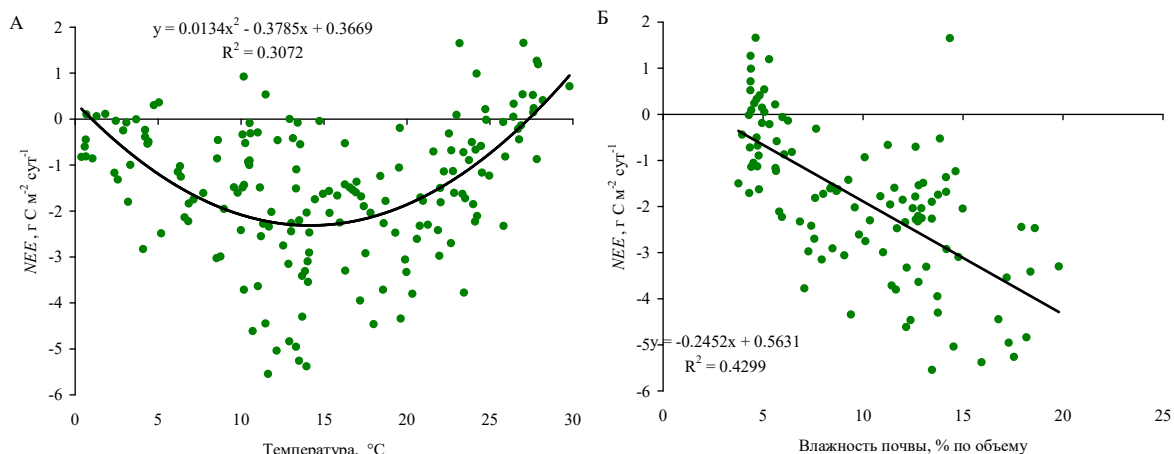


Рисунок 3. Связь NEE с температурой воздуха (А) и влажностью почвы (Б) в южно-таежном ельнике за май-октябрь 2010 г.

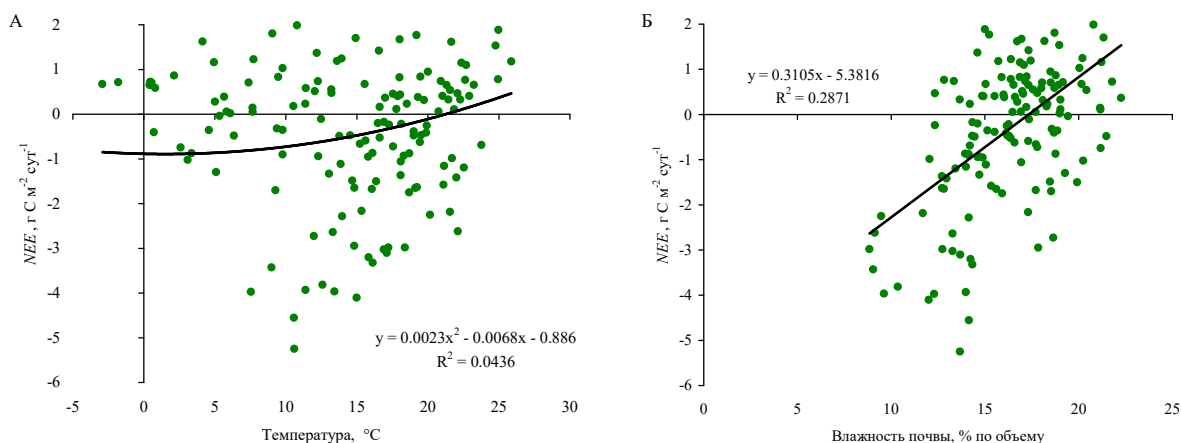


Рисунок 4. Связь NEE с температурой воздуха (А) и влажностью почвы (Б) в южно-таежном ельнике за май-октябрь 2018 г.

Полигон «лог Таежный», представляющий южно-таежные ельники, обладает 75-летней историей гидрологических и экологических наблюдений. Возможности анализа рядов данных по этому стационару в целях понимания эффектов изменения климата далеко не исчерпаны. В этой связи представляется целесообразным продолжение мониторинга массо- и энергообмена на полигоне с применением современных инструментальных методов, в частности, пульсационного подхода.

Исследование поддержано РНФ № 19-77-30015 (анализ данных), а также темы госзадания № АААА-А18-118052400130-7 Центра по проблемам экологии продуктивности лесов РАН.

Литература

1. Ватковский О.С., Гришина Л.А., Лидов В.П., Бабьева И.П. 1972. Почвы и продуктивность ельников Валдая – В кн.: Почвы и продуктивность растительных сообществ. Вып. 1. – М.: Изд-во МГУ, с. 131-149.
2. Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л., Шилкин А.В., Марунич А.С., Карелин Д.В., Блинов В.Г., Иващенко А.И. Мониторинг циклов диоксида углерода и водяного пара на полигоне «Лог Таежный» (Валдайский национальный парк). // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2017. №1. — С. 54-68.
3. Молчанов А.А. 1973. Влияние леса на окружающую среду. – М.: Наука, 360 с.
4. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах (Под ред. Д.Г. Замолодчикова, Д.В. Карелина, М.Л.Гитарского, В.Г. Блинова) – Саратов: Амирит. 2017. – 279 с.
5. Федоров С.Ф. 1977. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР. – Л: Гидрометеиздат, 264 с.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН НА ПЕРСПЕКТИВУ (ПРЕДЛОЖЕНИЯ)

Ә.К.Зәуірбек

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Физической и экономической географии, Евразийского национального университета им.Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

CONCEPTUAL BASICS FOR IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL CONDITION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN THE FUTURE (PROPOSALS)

A.K.Zauirbek

Doctor of Engineering Sciences, professor, professor of department of Physical and economic geography, Eurasian national university of L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

Предмет работы. Экологическое состояние окружающей среды в Казахстане. **Цель работы.** Разработка научно-методологических основ улучшения экологического состояния окружающей среды в Казахстане на среднесрочную и долгосрочную перспективы. **Методология.** На основе анализа современного состояния, подходов и тенденции в решении экологических проблем и принимая в руководство программные документы международных организаций и Республики Казахстан по использованию и охране природных ресурсов, разработать принципиальные позиции по улучшению экологического состояния окружающей среды в Казахстане. **Основные результаты исследования.** С уровнем развития государства, экологическое состояние окружающей среды по территории Казахстана ухудшается. Разработаны рекомендации к разработке принципиальных позиции Республики по улучшению экологического состояния окружающей среды в Казахстане. **Область их применения.** Правительственные органы в области охраны окружающей среды и экологии занимающиеся и принимающие решения по управлению использованием природных ресурсов и охраны окружающей среды. **Выводы.** Установлен рейтинг Казахстана по индексу развития человеческого потенциала (ИРЧП) и возможное его место к 2050 году. Доказано необходимость установления состояния окружающей среды в случаях согласования уровня техногенной нагрузки на экосферу, с «возможной выносливостью природной среды» для любого уровня использования природных ресурсов в пределах 5-95%. Разработаны рекомендации по стабилизации и улучшению экологической обстановки в окружающей среде в Казахстане на среднесрочную и долгосрочную перспективы.

Subject of work. Ecological state of environment in Kazakhstan. **Purpose of the work.** Development of scientific and methodological basics for environmental improvement in Kazakhstan for the medium and long term. **Methodology.** On the basis of the analysis of the current state, approaches and trends in solving environmental problems and taking into account the policy documents of international organizations and the Republic of Kazakhstan on the use and protection of natural resources, develop principled positions to improve the environmental state of Kazakhstan. **Main results of the study.** With the level of development of the state, the ecological state of the environment in the territory of Kazakhstan is deteriorating. Recommendations for the development of a principled position of the Republic to improve the environmental situation in Kazakhstan have been developed. **Scope of their application.** Governmental bodies in the field of environmental and ecological protection which are responsible for making and taking decisions on management of natural resources and environmental protection. **Conclusions.** Kazakhstan's rating on the Human Development Index (HDI) established and its possible place by 2050. The need to establish the state of the environment in cases of matching the level of man-made load on the ecosphere with the "possible endurance of the natural environment" for any level of use of natural resources within 5-95% has been proved. Recommendations to stabilize and improve the environmental situation of the vocal environment in Kazakhstan for the medium and long term have been developed.

Введение. В результате антропогенного воздействия на природные комплексы биосферы и возрастанием уровня использования природных ресурсов появились локальные техногенные катастрофы в регионах Байконура и Семей. Общеизвестны негативные последствия от неразумного управления водными ресурсами, экологическая катастрофа в бассейне Аральского

моря и, в особенности, в зоне Приаралья. В современных условиях приобретенная в процессе эволюции замечательная способность природы к саморегулированию стала нарушаться. Человек, внося искусственные изменения в природную среду и биогеоценозы, не считаясь с законами природы, лишает их устойчивости, что часто приводит к коренным изменениям в экосистемах, прогрессирующему разрушению биосферы.

Дальнейшее развитие отраслей экономики в определенном регионе немислимо без строгого обоснования системы природоохранных мероприятий, направленных на регламентацию взаимоотношений между природой и обществом. Однако, до сих пор не разработан единый методологический подход к установлению допустимой нагрузки на природную среду. Поэтому разработка принципов рационального использования природных ресурсов и научно-методологических принципов расчета экономически устойчивого развития на территории и обеспечения экологической безопасности в окружающей среде составляет актуальную проблему современности.

Цель статьи. Разработка научно-методологических основ рекомендации для улучшения экологического состояния окружающей среды в Казахстане на среднесрочную и долгосрочную перспективы.

Основная часть. Анализ естественных процессов показывает, что на Планете происходили значительные изменения. Например, формирование современного состава атмосферного воздуха произошло 400 млн. лет назад. Этому периоду в биосфере соответствовало определенное состояние экологического равновесия, которое можно обозначить как II-ое равновесное состояние в биосфере. Экологическое состояние, на нашей планете соответствовавшее периоду возникновения жизни на Земле, можно характеризовать как I-ое, а экологическое состояние в период образования нашей планеты описывается как «O (нулевой)» уровень равновесного состояния, рис.1.

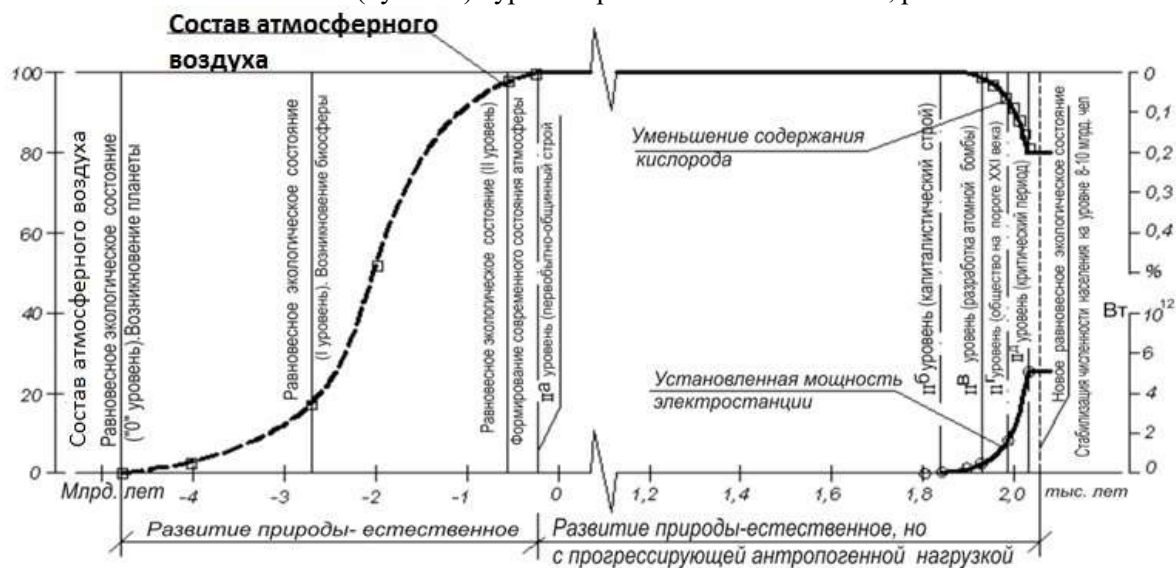


Рис. 1. Экологическое состояния биосферы за ретроспективные и возможные их изменения на перспективные периоды [1]

Уровень производства энергетических ресурсов положительно коррелируются с уровнем развития общества и его техновооруженностью. Расчеты показывают, что к 2030 году будет использовано около 1000 млрд. т.у.т., что составляет около 27% всех наличных энергетических ресурсов мира. Это означает, что суммарная установленная мощность всех электростанций мира составит $5 \cdot 10^{12}$ Вт. Термодинамический (тепловой) лимит биосферы - суммарная энергия, усваиваемая живыми организмами биосферы в совокупности с другими энергетическими процессами, происходящими на поверхности Земли, может составить $(140...150) \cdot 10^{12}$ Вт [2]. К 2030 году суммарная установленная мощность всех электростанций мира достигнет 70-75 % от 5 % термодинамического лимита биосферы. Отсюда можно заключить, что 2030 год может оказаться критическим периодом для биосферы, в частности, и для развития цивилизации. Этот уровень отмечен, как, уровень II^л-ое критическое, рис. 1.

В 2018 году международная группа учёных из Норвегии, Швеции, Америки и Японии провела исследования по проекту Сеточной модели углеродного следа в мире [3]. Столица Южной Кореи оказалась самым опасным для экологии городом мира. Сеул вырабатывает до 276,1 мегатонны углекислого газа в год. В этом списке четыре города Казахстана: Алматы – на 95-м месте антирейтинга (25,2); Астана – на 178-м месте (12,9); Шымкент – на 298-м месте (7,3); Актобе – на 421-м (5,3 мегатонны углекислого газа в год).

По средней продолжительности жизни населения, наша страна занимает 150 место из 223 стран и в 2014 году составила 70,24 года. Индивидуальный реальный внутренний валовой продукт (ВВП) на душу населения в Республике на 2013 год составлял порядка 13 000 \$ США. По индексу грамотности 99,7% Республика занимает достойное место. В целом Казахстан с показателем 0,745 занимает 68 место из 187 государств в рейтинге стран по индексу развития человеческого потенциала (ИРЧП). Принята стратегическая задача по вхождению в число 30 высокоразвитых государств мира и по переходу страны на «зеленый» путь развития [4]. Динамика изменения показателей ИРЧП по Республике в сопоставлении с соответствующими показателями развитых государств занимающих 30 место (рис. 2) показывает, что Казахстану войти в намечаемый лагерь государств затруднителен. Так как, по третьему показателю – индексу продолжительности жизни не могут достичь желаемого результата (рис.3).

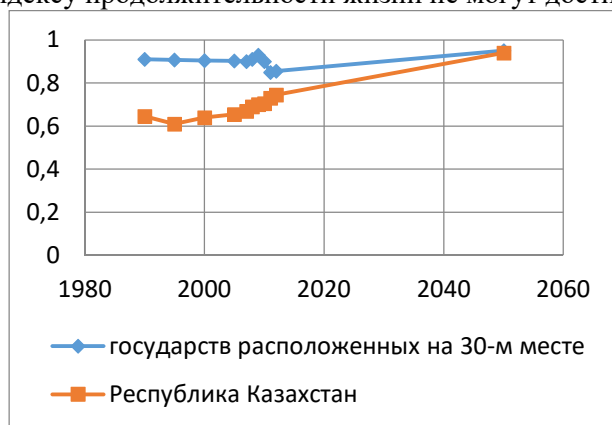


Рис. 2. Динамика изменения ИРЧП в Республике Казахстан и Государств, расположенных на 30-м месте на 1990-2050 годы

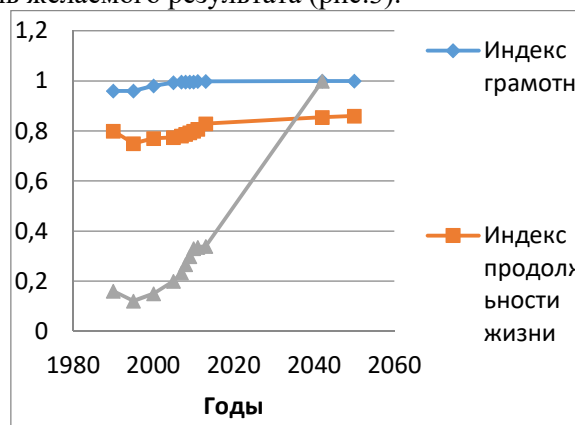


Рис.3. Фактические и предполагаемые изменения составляющих ИРЧП Республики Казахстан за 1990-2050 годы

Катастрофические экологические последствия вызваны не соблюдением требований основополагающего принципа Декларации в Рио-де-Жанейро [5]. Использование 5% природных ресурсов, уже свидетельствует о наличии чрезмерных внешних нагрузок на экосистему. На сегодняшний день 5-и % рубеж уровня использования природных ресурсов, превышен почти повсеместно. Если же невозможно ограничить уровень использования природных ресурсов до 5% рубежа, то для любого промежуточного уровня 5-95%, необходимо установить состояние окружающей среды и возможность согласования уровня техногенной нагрузки на экосферу с «возможной выносливостью природной среды» уже на новом уровне.

В резюме. Все мировое сообщество и в том числе отдельно взятое государство для создания комфортных условий для своего устойчивого развития, всемерно должны снижать, влияние антропогенной нагрузки на окружающую среду. При этом, Республика Казахстан, для решения амбициозной цели по вхождению в число 30 развитых государств мира, должна идти в числе лидирующих государств. Таковое возможно, если в основу в ново разрабатываемого Экологического кодекса Республика Казахстан будут заложены, стратегически важные показатели (индикаторы):

1.С 1 января 2021 года, новые потребители природных ресурсов (предприятия или любые народнохозяйственные объекты) включаются в эксплуатацию, если в соответствующем регионе

или области, районе, городе, аульных или поселковых советах будут достигнуты определенные достижения по уменьшению уровня загрязнения окружающей среды. В свою очередь, период с 01 октября 2019 года по 31 декабря 2020 года отводятся на разработку и утверждение природоохранных мероприятий по регионам и областям Республики Казахстан.

2. На первом этапе (до 2030 годов) уровень нагрузки на состояние окружающей среды должны снижаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом, а на втором этапе (до 2050 годов) до 50 процентов. Что это означает:

2а. Объемы выбросов в атмосферный воздух и сбросы в водоемы и водотоки повсеместно в разрезе отдельного региона, области, района, города, аульного или поселкового совета должны снижаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом. Относительно возможных возникаемых в пресективе новых ингредиентов – то уровни их влияния на состояние окружающей среды, не должны превышать показателей принятых на мировом уровне.

2б. Состояние природных комплексов (флоры и фауны, биоразнообразия, рыбоводных, рыбопрудовых, охотнических и других звероведческих хозяйств, пастбищ, сенокосных или других сельскохозяйственных угодий) должны улучшаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом.

2в. Городские свалки, или свалки аульных или поселковых советов должны быть преобразованы в современные объекты по хранению, утилизации и обработке твердых бытовых отходов (ТБО) или в полигоны ТБО усовершенствованного типа.

2г. Полигоны ТБО или другие виды их захоронения, хвостохранилища, санитарно-защитные зоны, пруды-охладители, поля фильтрации, отстойники, пруды сточных вод, а также другие объекты по хранению, утилизации и обработке отходов производств и предприятий должны снижать влияние на состояние окружающей среды на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом.

2д. Экологическое состояние национальных парков, заповедников, резерватов, отдельных элементов ландшафта, памятников, различных природных и архитектурных объектов, музеев различного рода открытого или закрытого видов, и других важных объектов народнохозяйственного значения должны улучшаться и соответствовать требованиям международного уровня.

2е. Стимулировать природоохранные мероприятия направленные на рациональное использование и охраны природных ресурсов (плата за использование природных ресурсов и дифференцированные ее нормативы, нормативы платы за истощение и загрязнение составляющих окружающей среды, критерии оценки загрязнения и истощения природных ресурсов, обоснование социально-эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий и др.).

3. Национальный доклад по природным ресурсам и охраны окружающей среды должен отражать уровень выполнения государственных планов (требований) по соответствующим направлениям в разрезе регионов, областей, районов, городов, аульных или поселковых советах и не повторять суть и содержание статистических ежегодников.

4. Статистический ежегодник должен отражать состояние выполнения природоохранных мероприятий принятых в экологическом кодексе Республики Казахстан. Для этого в статистическом ежегоднике предусматривается специальный раздел.

5. На втором этапе (до 2050 годов) уровень нагрузки на состояние окружающей среды должен снизиться на 50 % по сравнению с 2020 (базовым) годом. Требования и ход выполнения требований индикаторов идентичны поставленным целям на уровень 2030 годов. В отдельных случаях они могут быть дополнены и конкретизированы в зависимости от уровня выполнения требований первого этапа Экологического кодекса Республики Казахстан принятого на уровень - 2030 годов.

Литература

1. Заурбек А.К., Заурбеков М.А. Закономерности изменения экологической обстановки в бассейне реки (в порядке обсуждения) // Гидрометеорология и экология.- 2005, №3-С. 156-163.
2. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. - М.: Мысль, 1990.-637с.
3. Смог в Астане: синоптики считают ситуацию благоприятной, учёные – небезопасной. 28 февраля 2019, 18:29 // <https://informburo.kz/stati/smog-v-astane-sinoptiki-schitayut-situaciyu-blago>.

4.Послание Первого Президента Республики Казахстан - Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050» - новый политический курс состоявшегося государства».- Астана, Акорда, 2012 год.

5.Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию // Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро 3-14 июня 1992 года. - ООН,1992.- 9 с.

ВОЗМОЖНЫ ЛИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ОСОБО ОПАСНЫЕ И КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ НАВОДНЕНИЯ ПРИ РАБОТАЮЩЕЙ ДАМБЕ

Е. А. Захарчук^{1,3}, В.Ю. Цепелев², Н.А. Тихонова^{1,3}, В.Н. Гусев^{4,5}, Г.Н. Бессан²

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет,

²ФГБУ «Северо-Западное УГМС»

³Санкт-Петербургское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова»

⁴Институт вычислительной математики РАН, Москва

⁵Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

IF SAINT PETERSBURG POSSIBLE HAZARDOUS AND CATASTROPHIC FLOODS DURING OPERATING DAM

E. A. Zakharchuk, V.Yu. Tsepelev, N.A. Tikhonova, V.N. Gusev, G.N. Bessan

¹SPSU, ²North-West Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, ³SPB SOI,

⁴INM RAS, ⁵IO RAS

С помощью численных экспериментов на трехмерной бароклинной гидродинамической модели Балтийского моря оцениваются опасные подъемы уровня в Невской губе в условиях работающей Дамбы. Эксперименты проводятся при различных режимах ветра, интенсивности стока Невы и продолжительности работы Дамбы.

Using numerical experiments on a three-dimensional baroclinic hydrodynamic model of the Baltic Sea, dangerous level rises in the Neva Bay are estimated under the conditions of a working Dam. The experiments are carried out under different wind conditions, the intensity of the Neva runoff and the dam.

Для проведения численных экспериментов, целью которых было оценить влияние различных гидрометеорологических условий на изменение гидрологического режима Невской губы в период, когда закрыты затворы Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга (Дамбы), использовалась модель, разработанная на основе сигма-модели морской и океанической циркуляции Института вычислительной математики (ИВМ РАН), получившая название INMOM.

Реализация INMOM для условий Невской губы проводилась на сеточной области с переменным шагом и полюсом в Санкт-Петербурге, что позволило при расчете обойти проблемы вложенных сеток. Для модели создавалась расчетная область таким образом, что в районе Невской губы шаг по пространству составил около 50-150 м.

В ходе работы было проведено 3 эксперимента. Все эксперименты имеют одинаковые начальные условия, старт расчета происходит при закрытой Дамбе и начальном уровне в 130 см. В экспериментах принимались следующие граничные условия:

1. Расход Невы 4170 м³/с, ветер юго-западный 11 м/с
2. Расход Невы 4170 м³/с, ветер юго-западный 15 м/с
3. Расход Невы 2500 м³/с, ветер с 00:00 часов начала счета до 18:00 часов первых суток – юго-западный 11 м/с, затем в течение 6 часов с 18:00 часов до 24:00 часов первых суток линейно увеличивается до 25 м/с и с 24:00 часов первых суток до конца счета, составляет 25 м/с.

В 1-м численном эксперименте, через 24 часа после закрытия Дамбы (рис.1), при начальном уровне 130 см, расходе Невы 4170 м³/с и постоянном юго-западном ветре, дующем со скоростью 11 м/с, максимальный уровень моря в районе акватории Васильевского острова достигает 220-240 см. Такой подъем уровня по классификации наводнений относится к особо опасному наводнению. Через 48 часов после закрытия Дамбы в том же районе подъем уровня моря достигает значений 315-330 см, что является катастрофическим наводнением.

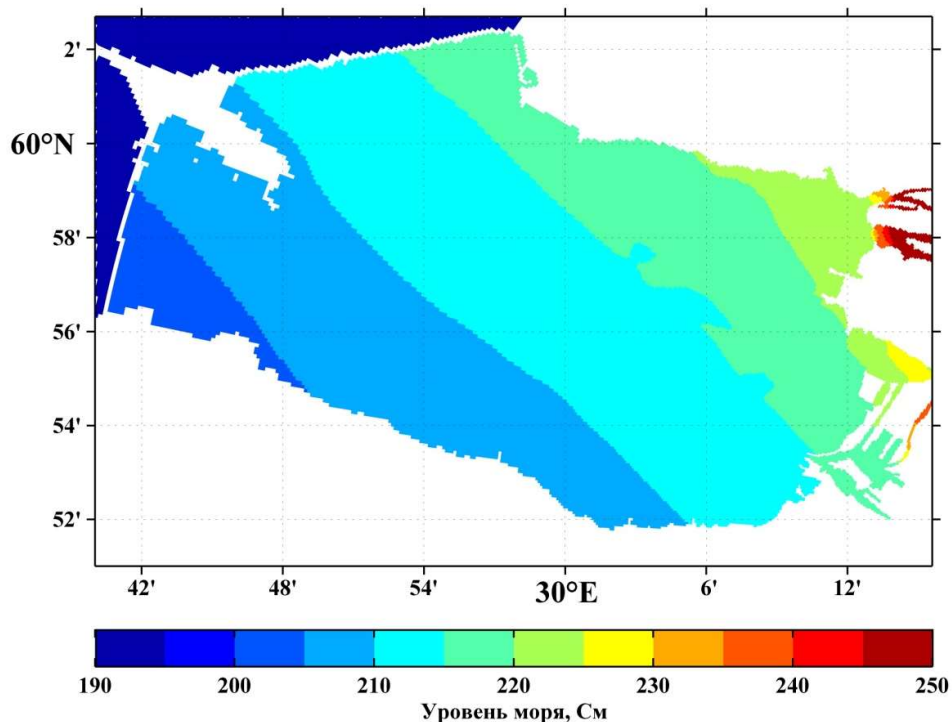


Рис.1. Эксперимент 1. Расход Невы 4170 м³/с, ветер юго-западный 11 м/с. Уровень моря через 24 часа после закрытия дамбы.

Во 2-м численном эксперименте, через 24 часа после закрытия Дамбы, при начальном уровне 130 см (рис.2), расходе Невы 4170 м³/с и постоянном юго-западном ветре, дующем со скоростью 15 м/с, подъем уровня моря в районе акватории Васильевского острова приводит к особо опасному наводнению со значениями уровня 230-240 см. Через 48 часов в том же районе отмечается катастрофическое наводнение со значениями уровня 320-330 см.

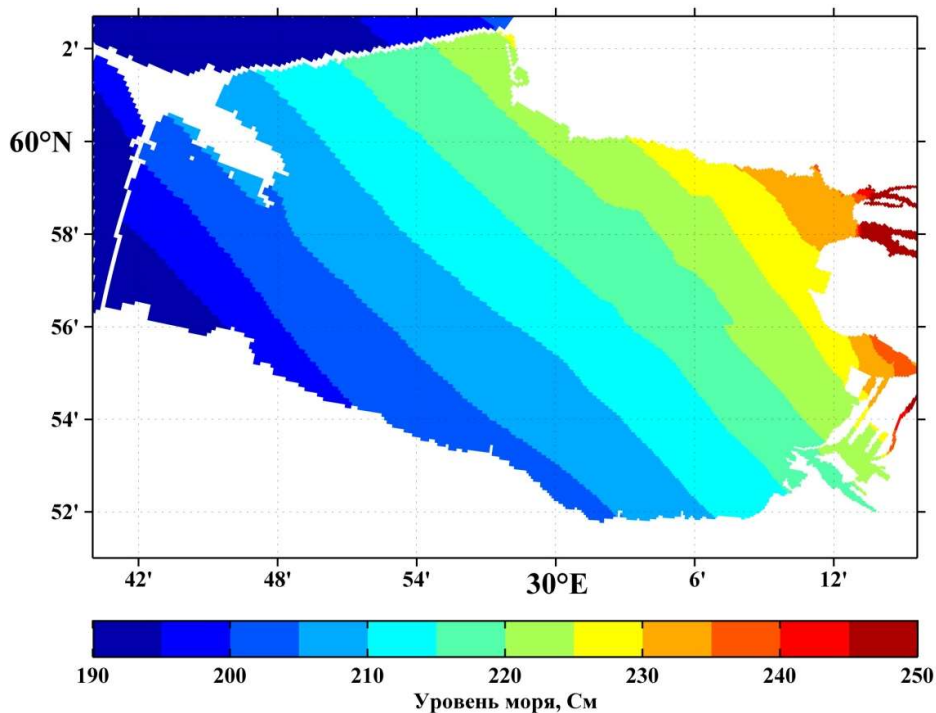


Рис.2. Эксперимент 2. Уровень моря через 24 часа после закрытия дамбы. Ветер ЮЗ 15 м/с. Расход Невы 4170 м³/с.

В 3-м численном эксперименте, через 24 часа после закрытия Дамбы, при начальном уровне 130 см, расходе Невы 2500 м³/с и переменном юго-западном ветре, дующем со скоростью от 11 до 25 м/с, максимальный уровень моря в районе акватории Васильевского острова достигает 230-245 см (особо опасное наводнение), а через 48 часов (рис.3) уровень моря повышается до 320-330 см (катастрофическое наводнение).

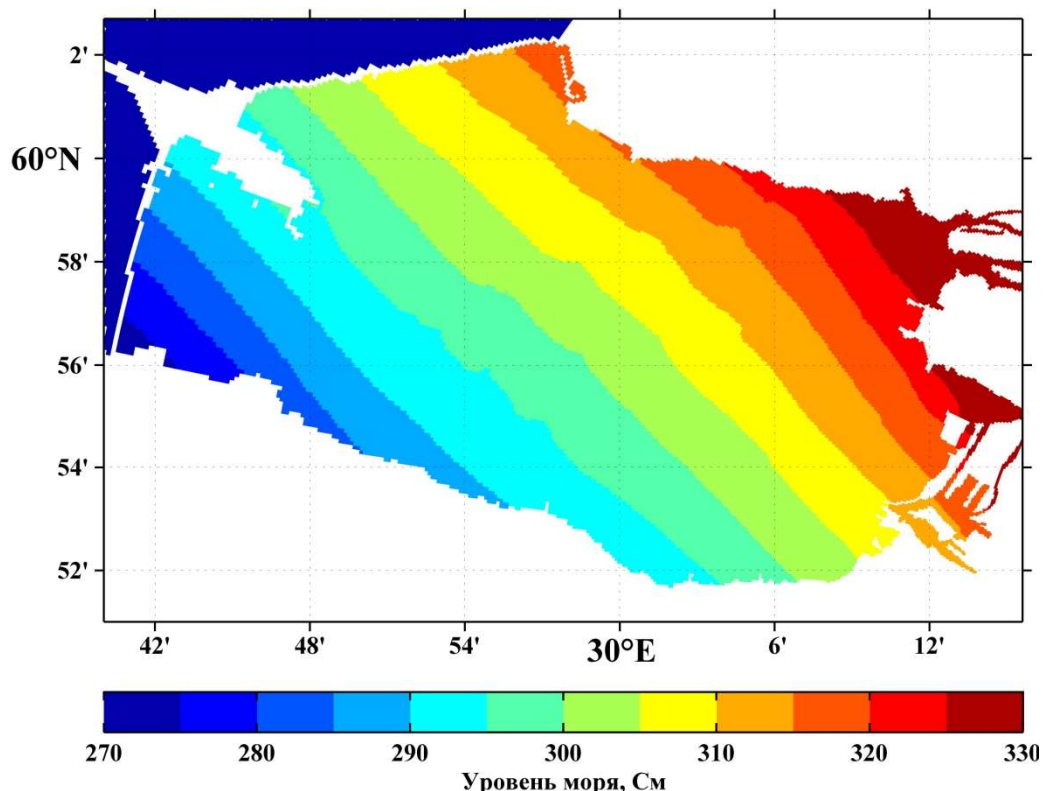


Рис.3. Эксперимент 3. Уровень моря через 48 часов после закрытия дамбы (ветер ЮЗ 11-25м/с).

Численные эксперименты показали также, что в условиях закрытой Дамбы и постоянном юго-западном ветре, дующем со скоростью 11 м/с, пространственный градиент уровня между его наименьшим значением (южнее Кронштадта) и акваторией в районе Васильевского острова составляет 25-30 см, при постоянном юго-западном ветре 15 м/с, перекося уровня увеличивается до 40-45см, при переменном ветре от 11 м/с до 25 м/с, максимальный градиент уровня достигает 60 см.

ВЫВОДЫ

1. Все 3 численных эксперимента на гидродинамической модели показали, что при принятых начальных и экстремальных граничных условиях в период закрытой в течение 24-48 часов Дамбы в Санкт-Петербурге возможны особо опасные и катастрофические наводнения.
2. Полученные нами результаты нельзя считать окончательными и не подлежащими сомнению, так как в численных экспериментах использовались идеализированные метеорологические условия.
3. Для проведения более представительного численного эксперимента для задания граничных условий на поверхности моря требуется восстановить реальные метеорологические условия, которые наблюдались во время катастрофического наводнения в Санкт-Петербурге, например в 1924 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОННОГО СЛОЯ В ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

А.Г. Зацепин, В.В. Кременецкий, О.И. Подымов, А.Г. Островский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

RESULTS OF THE BOTTOM LAYER RESEARCH AT THE BLACK SEA SHELF AND CONTINENTAL SLOPE

A.G. Zatsepin¹, V.V. Kremenetskiy, O.I. Podymov, A.G. Ostrovskii

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В докладе приводятся результаты долговременных автоматических измерений температуры, солености, плотности и концентрации растворенного кислорода, а также скорости течения в придонном пограничном слое (ППС) Черного моря на шельфе и верхней части континентального склона. Показано, что экмановский перенос вод в ППС вниз по склону не приводит к заметной вентиляции аэробного слоя моря.

The report presents the results of long-term automatic measurements of temperature, salinity, density and concentration of dissolved oxygen, as well as the flow velocity in the bottom boundary layer (BBL) of the Black Sea at the shelf and the upper part of the continental slope. It has been shown that the down slope Ekman water transport in the BBL does not lead to noticeable ventilation of the aerobic layer of the sea.

Черное море является водоемом с весьма тонким деятельным слоем. Лишь в верхнем 100–150 м слое есть кислород и имеются благоприятные условия для функционирования экосистемы. Основная толща вод - от 150 м и до дна, представляет собой безжизненную сероводородную среду. Такие специфические условия определяются наличием перманентного пикно-халоклина, ослабляющего вертикальное перемешивание и транспорт кислорода вглубь Черного моря. Тем не менее, воды черноморского пикно-халоклина некоторым образом перемешиваются и снабжаются кислородом, благодаря чему верхняя граница сероводородных вод удалена от поверхностных, сезонно стратифицированных слоев моря.

Очевидно, что значительную роль в вертикальном перемешивании вод в черноморском пикно-халоклине играет турбулентность, порождаемая вертикальным сдвигом скорости течения и обрушением внутренних волн. В тоже время, в области шельфа и континентального склона перенос кислородосодержащих вод вглубь может происходить в придонном экмановском слое. Этот механизм, надежно установленный и исследованный в лабораторных экспериментах с даунвеллинговыми вдольбереговыми течениями в двуслойно стратифицированной жидкости, в бассейне с наклонным дном, размещенном на вращающейся платформе, может действовать на всем периметре Черного моря. Однако он практически не изучен в натуральных условиях.

С целью проверки возможности поступления растворенного кислорода в придонном экмановском слое в черноморскую субоксильную зону и верхнюю часть анаэробной зоны, осуществлены три долговременные (1.5-2 месяца) постановки на дно комплексных измерительных станций в диапазоне глубин от 80 до 230 м на поперечном берегу разреза в северо-восточной части Черного моря на траверзе Толстого мыса Геленджикской бухты. Станции регистрировали гидрофизические (температура, соленость, плотность, скорость течения) и гидрохимические (концентрация растворенного кислорода) параметры на расстоянии 0.5 – 2.5 м от дна. Благодаря этим измерениям получены данные, пригодные для оценки пространственно-временных масштабов перемещения воды в придонном слое вверх и вниз по склону в зависимости от направления и интенсивности вдольберегового течения.

Предварительный анализ данных измерений всех трех постановок подтвердил наличие перемещений придонных вод по склону в перпендикулярном берегу направлении. При этом в случае интенсивного вдольберегового течения северо-западного направления в придонном слое наблюдалось опускание вод, а в противоположном случае – их подъем. Такой характер движения вод в придонном слое вполне соответствует динамике придонного экмановского погранслоя. Однако скорость этого движения и, соответственно, амплитуда перемещения вод вверх и вниз по склону быстро убывают с глубиной. Для наиболее глубокой станции (230 м), располагавшейся

в верхней части анаэробной зоны, концентрация растворенного кислорода в придонном слое ни разу не поднялась выше предела обнаружения. Это означает, что механизм поступления кислорода, обусловленный экмановской динамикой придонного погранслоя, вряд ли может поддерживать жизнедеятельность мейобентоса, обнаруживаемого в Черном море в анаэробной зоне в верхнем слое осадков на глубинах 220-250 м.

Основные гидрофизические результаты исследования заключаются в следующем.

Значительные короткопериодные изменения в ППС на наклонном дне термохалинных параметров и концентрации растворенного кислорода в области пикноклина свидетельствуют о существовании перемещений воды в направлении поперечном берегу.

Ранее предполагалось, что эти перемещения вызваны экмановским переносом (Зацепин и др., 2007; Ostrovskii, Zatsepin, 2016; Елкин и др., 2017). Однако анализ полученных данных не подтверждает этого предположения. Наблюдаемые перемещения практически полностью обусловлены геострофическим приспособлением поля плотности к полю течения, а роль экмановского переноса в ППС, по-видимому, весьма незначительна.

Существование интегрального экмановского переноса в ППС подтверждается тем, что отношение вдольбереговой скорости к поперечной берегу является преимущественно отрицательным, когда имеют место интенсивные течения, достигающие дна. Однако систематического «левого поворота» скорости течения при приближении ко дну в наших измерениях не наблюдалось.

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0149-2019-0004 и при поддержке гранта РФФИ №17-05-00381.

Литература

1. Зацепин А.Г., Голенко Н.Н., Корж А.О., Кременецкий В.В., Пака В.Т., Поярков С.Г., Стунжас П.А. Влияние динамики течений на гидрофизическую структуру вод и вертикальный обмен в деятельном слое Черного моря // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 3. С. 327–339.
2. Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G. Intense ventilation of the Black Sea pycnocline due to vertical turbulent exchange in the Rim Current area // *Deep-Sea Research I*. 2016. V.116. P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.07.011>.
3. Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Подымов, О.И., Островский А.Г. Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 4. С. 531–537.

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РУСЛОВОГО ПОТОКА НА УЧАСТКЕ РЕКИ ОБЬ У ВОДОЗАБОРА №1 ГОРОДА БАРНАУЛА

А.Т. Зиновьев, А.В. Дьяченко, К.Б. Кошелев, К.В. Марусин

ИВЭП СО РАН, Барнаул, РФ

NATURAL OBSERVATIONS AND MATHEMATICAL MODELING OF THE DYNAMICS OF THE RUSAL FLOW ON THE OB REGION AREA AT WATER INTAKE 1 OF BARNaul CITY

A.T.Zinoviev, A.V. Dyachenko, K.B. Koshelev, K.V. Marusin

IWER SB RAS, Barnaul, Russia

Построена уточненная компьютерная модель руслового потока на участке р. Обь в районе 1-го речного водозабора г. Барнаула. В основе построенной модели лежат двухмерные и трехмерные уравнения течения и данные натурных наблюдений расходов, уровней и морфометрии. Результаты выполненных модельных расчетов показали, что построенные модели течения правильно отражают наблюдаемые гидравлические эффекты, в частности, образование водоворотных зон и положение динамической оси потока.

A refined computer model of the channel flow in the area of the river was built. Ob in the area of the 1st river intake of Barnaul. The constructed model is based on two-dimensional and three-dimensional flow equations and field observations of flow rates, levels and morphometry. The results of the performed model calculations showed that the constructed flow models correctly reflect the observed hydraulic effects, in particular, the formation of whirlpool zones and the position of the dynamic axis of the flow.

Вот уже более полувека участок реки Обь в районе водозабора №1 г. Барнаула (рис. 1) остается объектом постоянного внимания инженеров и ученых. Он упоминается не только в специальной литературе, в том числе и фундаментального характера [1, 2, 3], но даже на страницах научно-популярных изданий [4]. Столь высокий интерес обусловлен, в значительной степени, тем негативным влиянием, которое оказывали и оказывают протекающие здесь русловые процессы на хозяйственную деятельность.

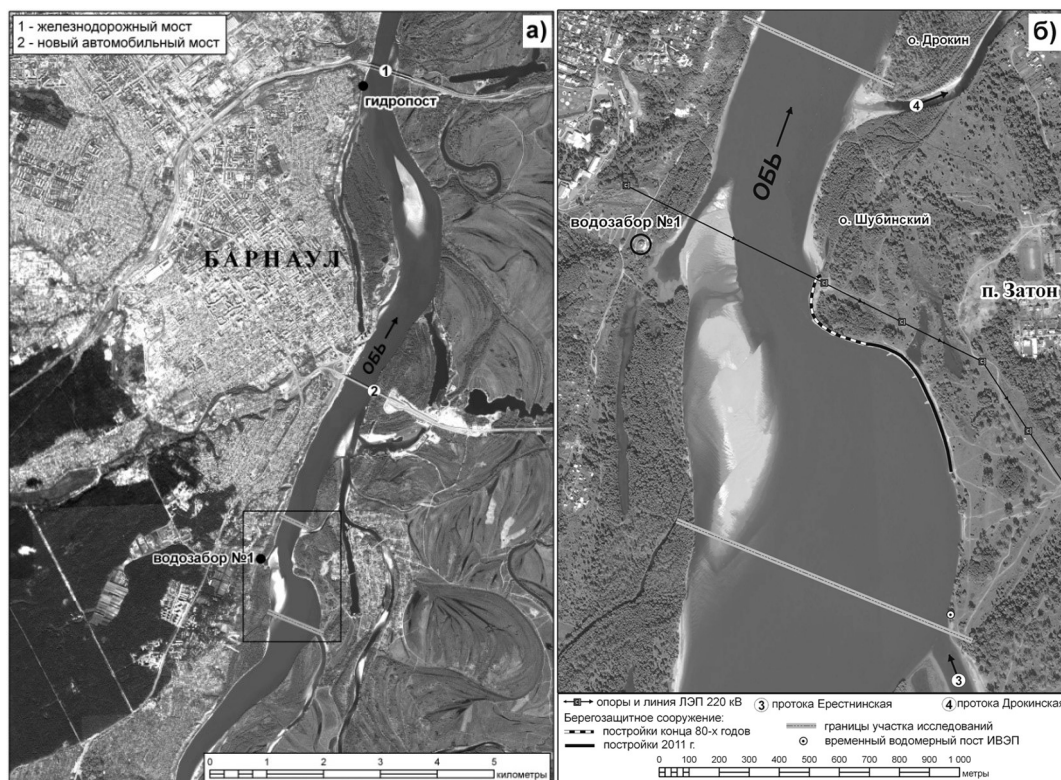


Рис. 1. Участок исследований: а) местоположение; б) общий вид участка. Подложка – спутниковый снимок 07.09.2016 г. (<https://www.google.ru/maps>)

Барнаульский водозабор №1 был введен в эксплуатацию в 1965 г. Однако, сформировавшийся к концу 80-х годов прошлого века непосредственно выше водозабора левобережный пойменный массив и прилегающая к нижней оконечности этого массива крупная надводная русловая форма – побочень блокируют его работу. Для обеспечения функционирования водозабора приходится практически ежегодно разрабатывать канал через тело побочня длиной более 300 м.

Правый вогнутый берег реки в окрестности водозабора в своем нижнем крыле интенсивно разрушался, что создавало угрозу опоре ЛЭП. Для предотвращения этой угрозы участок берега от створа перехода ЛЭП на 300 м вверх по течению в конце 80-х годов был укреплен каменно-набросным банкетом из крупнообломочной горной массы. Однако, продолжавшийся размыв вышележащего участка привел к «охвату» рекой верхнего фланга сооружения, причем с годами масштаб этого явления все увеличивался. Так что пришлось в 2011 г. продлить берегозащитное покрытие еще на 600 м вверх по течению.

Краткое, но емкое описание эволюции русла р. Обь в районе водозабора №1 в 50-х – 80-х годах прошлого века можно найти, например, в книге А.Б. Клавена и З.Д. Копалиани [3, стр. 235].

С 2010 года и по настоящее время ИВЭП СО РАН проводит регулярные натурные наблюдения за ходом руслового процесса на рассматриваемом участке. Ежегодно выполняемый комплекс работ на участке включает в себя русловую съемку и наблюдения за параметрами речного потока (уровнями и расходами воды) и исследования поля скоростей течения в различных гидрологических условиях. Для определения расходов воды и исследование поля скоростей течения используется акустический доплеровский профилограф-расходомер Sontek M9 River Surveyor Live [5, 6].

Накопленные натурные данные, в том числе и данные 2019г. были использованы для построения, калибровки и верификации новых компьютерных моделей – разработанной в ИВЭП

СО РАН плановой (2DH) модели речного потока [7] и модели Delft3D [8] для расчета трехмерной картины течения. Результаты выполненных модельных расчетов показали, что построенные модели течения правильно отражают наблюдаемые гидравлические эффекты, в частности, образование водоворотных зон и положение динамической оси потока (рис. 2).

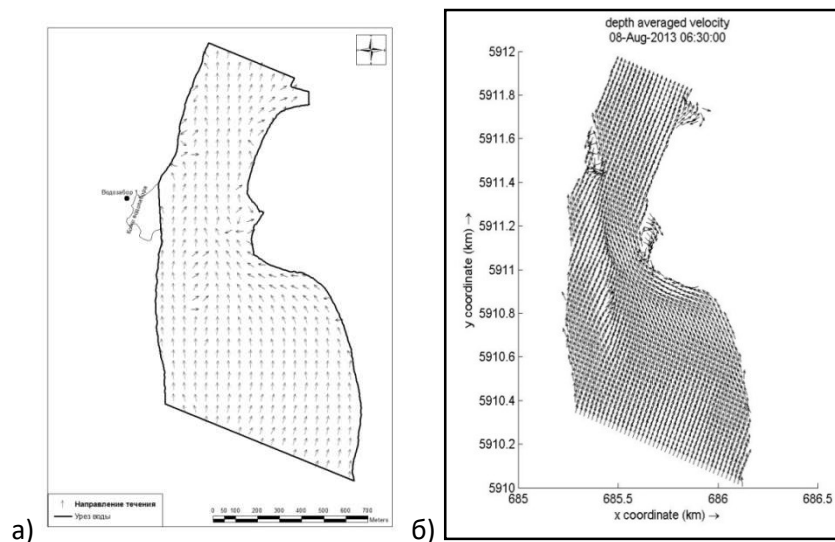


Рис. 2. Поле осредненной по глубине скорости течения на участке р. Обь в районе водозабора № 1, 8 августа 2013 г, расход воды – 2330 м³/с.: а) наблюдения, б) расчет

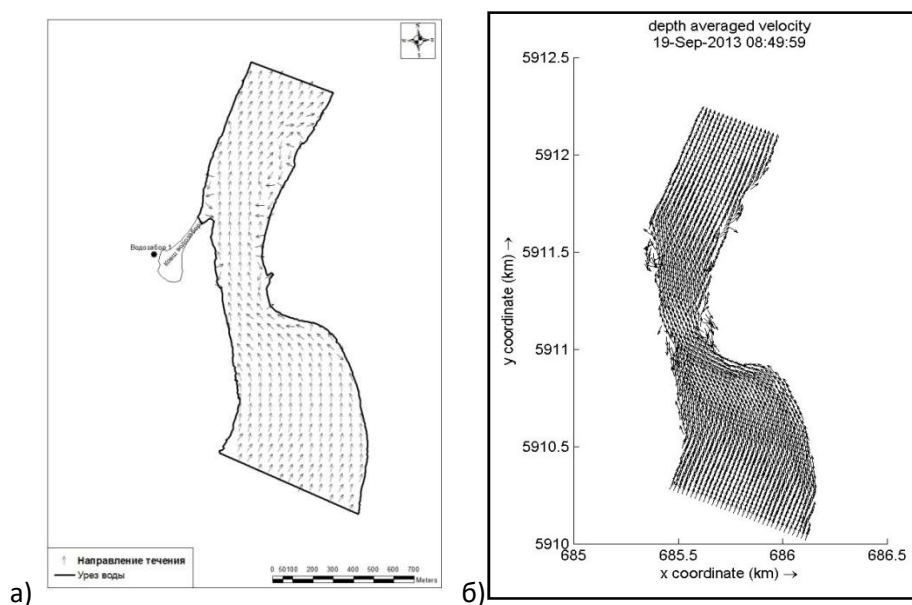


Рис. 3. Поле осредненной по глубине скорости течения на участке р. Обь в районе водозабора № 1, 19 сентября 2013 г., расход воды – 1350 м³/с.: а) наблюдения, б) расчет.

В настоящее время ведется работа по созданию компьютерной модели руслового потока, адекватно описывающей не только гидродинамику, но и морфодинамику русла р. Обь, его вертикальные и плановые деформации, на рассматриваемом участке в нестационарных гидрологических условиях на масштабах времени от нескольких суток до нескольких лет

(активных фаз гидрологического цикла). Создание такой модели позволит выявить общие тенденции и локальные особенности хода руслового процесса на рассматриваемом участке русла р. Обь; исследовать влияние руслового процесса на объекты хозяйственной инфраструктуры, расположенные в русле р. Обь и вблизи него (городские водозаборы, объекты судоходства, переходы ЛЭП, водовыпуски); исследовать влияние существующих и перспективных техногенных воздействий на русловой процесс (берегозащитные сооружения, мостовые переходы, дноуглубительные и русловыправительные работы).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-41-220001).

Литература

1. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. – М: КРАСАНД, 2011. – 960 с.
2. Русловые процессы на реках Алтайского региона. Под ред. проф. Р.С. Чалова. – М.: Изд-во Московского государственного университета, 1996. – 244 с.
3. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. – Спб.: Нестор-История, 2011. – 504 с.
4. Попов И.В. Загадки речного русла. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 168 с.
5. Марусин К.В., Дьяченко А.В., Коломейцев А.А., Вагнер А.А. Современная динамика русла реки Обь в районе Барнаульского водозабора №1 по данным натурных наблюдений / Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2017 – №4(47) – с. 52-61.
6. Дьяченко А.В., Марусин К.В., Коломейцев А.А., Вагнер А.А. Натурные исследования поля скоростей течения в излучинах реки Обь на территории города Барнаула / Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2018 – №2(49) – с. 58-66.
7. Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б. Моделирование процесса затопления пойменных территорий для участков крупных рек со сложной морфометрией русла и поймы // Водное хозяйство России. – 2013. – № 6. – С. 17-31.
8. Delft3D-FLOW User Manual. WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands, 2013. – 706 с.

ОЦЕНКА ТЕРМОХАЛИННОЙ ВИХРЕВОЙ АДВЕКЦИИ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Зинченко В.А.^{1,3*}, Колдунов А.В.¹, Гордеева С.М.^{1,2,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

ESTIMATION OF THERMOCHALINE VORTEX ADVECTION IN THE LOFOTEN BASIN OF THE NORWEGIAN SEA

Zinchenko V.A.^{1,2}, Koldunov A.V.¹, Gordeeva S.M.^{1,2}

¹St.Petersburg University, St.Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia

³Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В работе представлена оценка переноса тепла и соли вихрями Лофотенской котловины в период с 1993 по 2017 годы на основе данных реанализа GLORYS12V1.

This study shows an estimation of temperature and salinity transport by mesoscale eddies of the Lofoten Basin since 1993 to 2017 years based on GLORYS12V1 reanalysis data.

Лофотенская котловина (ЛК) является самым глубоким и широким резервуаром, в котором сосредоточены Атлантические воды, соответственно и высоко теплосодержание. Будучи транзитной зоной для теплой и соленой Атлантических вод на пути к Северному Ледовитому океану, ЛК играет важную роль в поддержании меридиональной термохалинной циркуляции, поскольку в этом районе Атлантическая вода теряет тепло при обмене с атмосферой и при смешении с водами соседних морей. Настоящий регион имеет самую высокую интенсивность мезомасштабной вихревой динамики [1, 2] из-за чего этот район называют «горячей точкой» северных морей. Аналогично другим частям мирового океана мезомасштабную вихревую ЛК активность характеризуют как циклонические, так и антициклонические вихри. Аномалии температуры и солёности внутри отдельных вихрей, как правило, движутся вместе с вихрями из-за адвективного захвата внутренних участков воды, поэтому вихревое движение вызывает перенос тепла и соли. Соответственно, в глобальном масштабе эти мезомасштабные вихри приводят к сильному горизонтальному переносу тепла и соли. В данной работе стараемся оценить роль таких вихрей в объеме при теплопередаче и переносе соли.

Теплосодержание и содержание соли в вихрях определялось на основе данных продукта глобального реанализа GLORYS12V1 (горизонтальное разрешение 1/12° (приблизительно 8 км) и 50 стандартных уровней), отличительной чертой которого является ассимиляция данных альтиметрии. Положение вихрей было определено в предыдущих исследованиях при прогоне данные AVISO об аномалиях уровня моря за период с 1993 по 2017 годы через алгоритм автоматической идентификации, разработанный Faghtous et al. (2015) [3].

Для исключения вихрей синоптического периода, а также ошибок, которые могли возникнуть в связи с малой дискретностью альтиметрических данных, были отброшены вихревые треки короче 35 суток (99 %). Все треки были разделены на 4 группы, по месту генерации и диссипации [4]. Анализ переноса тепла (AT) и солености (AS) был проведен для самых длинных треков из каждой группы (рис. 1 и табл. 1): $AT = \rho C_p \int T' dx dy dz$, $AS = \rho \int S' dx dy dz$.

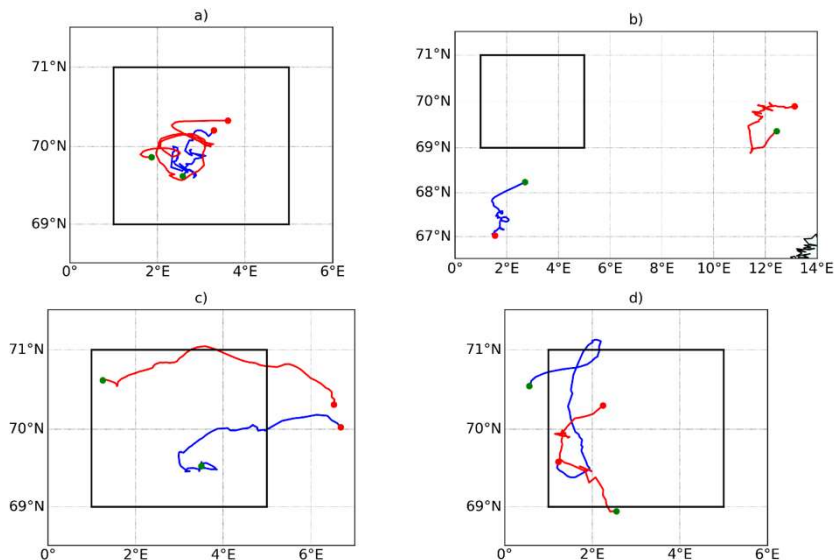


Рис. 1. Долгоживущие треки, используемые для анализа: (а) – группа 1, (б) – группа 2, (с) – группа 3, (д) – группа 4. Синие линии – циклонические треки, красные линии – антициклонические треки. Красная точка показывает место генерации вихря, а зеленая место диссипации.

Таблица 1. Термохалинное содержание и соответствующий интегральный перенос для долгоживущих вихрей

	Группа 1		Группа 2		Группа 3		Группа 4	
	Ц	Ац	Ц	Ац	Ц	Ац	Ц	Ац
Продолжительность жизни, сутки	68	132	81	120	72	76	64	48
Радиус, км	36.63	30.52	18.59	39.96	34.41	29.14	26.92	53.83
Скорость перемещения, м/с	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06
Аномалия тепла, Дж * 10 ¹⁹	-1.84	0.38	-0.15	1.23	-0.59	0.68	-0.6	1.76
Аномалия соли, кг * 10 ¹¹	-2.3	0.42	-0.18	0.87	-0.95	1.07	-1.02	2.87
Перенос тепла, Вт * 10 ¹³	-1.04	0.19	-0.12	0.27	-0.08	0.20	-0.37	1.3
Перенос соли, кг * с ⁻¹ 10 ⁵	-1.33	0.19	-0.14	0.19	-0.13	0.32	-0.68	2.05
Общий перенос тепла, Вт * 10 ¹³	-17.68	10.45	-10.56	39.42	0.88	1.6	-1.48	1.3
Общий перенос соли, кг * с ⁻¹ 10 ⁵	-22.61	10.45	-12.32	27.74	-1.43	2.56	-2.72	2.05

Результаты исследования говорят о наличии лишь незначительного переноса тепла и соли в область ЛК с периферии Норвежского течения. Величина переноса тепла и соли в область ЛК извне оценивается в $0,9 \cdot 10^{13}$ Вт и $1,8 \cdot 10^5$ кг*с⁻¹ соответственно, а среднегодовое значение составляет $3,6 \cdot 10^{11}$ Вт для тепла и $7,2 \cdot 10^3$ кг*с⁻¹ для транспортировки соли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Литература

1. Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Ожигин В.К., Норден Ю.Е. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря. Вестн. С.-Петербург. Ун-та. 2014. Сер.7. Вып. 2. С. 108-121.
2. Volkov, D. L., T. V. Belonenko, V. R. Foux (2013), Puzzling over the dynamics of the Lofoten Basin – a sub-Arctic hot spot of ocean variability, *Geophys. Res. Lett.*, 40 (4): 738-743. doi:10.1002/grl.50126
3. Faghmous, J.H., I. Frenger, Y. Yao, R. Warmka, A. Lindell, V. Kumar (2015), A daily global mesoscale ocean eddy dataset from satellite altimetry. *Sci. Data* 2: 150028. Doi:10.1038/sdata.2015.28.
4. Зинченко В.А., Гордеева С.М., Собко Ю.В., Белоненко Т.В. Мезомасштабные вихри Лофотенской котловины по спутниковым данным // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12, № 3. С. 46–54.
5. Volkov D. L., Kubryakov A. A., Lumpkin R. Formation and variability of the Lofoten basin vortex in a high-resolution ocean model // *Deep-Sea Res. I*. 2015. 105. 142–157. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.09.001>

ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ: СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Зинченко В.А.^{1,3*}, Колдунов А.В.¹, Гордеева С.М.^{1,2,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

EDDY DYNAMICS OF THE LOFOTEN BASIN: STATISTICAL DISCRPTION

Zinchenko V.A.^{1,2}, Koldunov A.V.¹, Gordeeva S.M.^{1,2}

¹St.Petersdurg University, St.Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia

³Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В работе представлен анализ изменчивости характеристик мезомасштабных вихрей Лофотенской котловины, выделенных по данным альтиметрии за период с 1993 по 2017 гг. методом автоматической идентификации.

This study shows a properties variability analysis of mesoscale eddies of the Lofoten Basin that have been identified by an automatic detection method on altimetry data since 1993 to 2017 years.

Целью настоящего исследования является изучение мезомасштабной вихревой динамики Лофотенской котловины Норвежского моря (ЛК), основываясь на статистическом анализе вихрей, выделенных методом автоматической идентификации, разработанным Faghmous et al. (2015) [1]. ЛК представляет собой понижение в рельефе дна Норвежского моря с максимальной глубиной 3250 м. Ее акватория ограничена координатами 5° з.д. - 20° в.д. и 64°-76° с.ш. – между хребтом Мона на северо-западе и Скандинавским полуостровом на востоке, с юга она ограничена плато Воринг (рис. 1). ЛК является основным резервуаром тепла для тех морей Северо-Европейского бассейна, где интенсивно происходят процессы обмена между океаном и атмосферой [2].

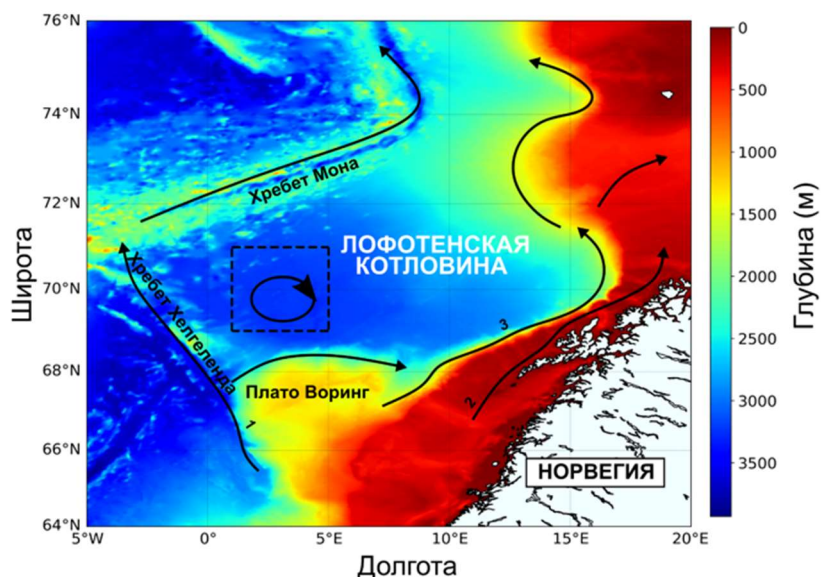


Рис. 1. Район исследования. Положение антициклонического Лофотенского вихря показано круговой стрелкой. Район наиболее вероятного расположения ЛВ показан пунктиром. Цветом показана топография дна (м), черными стрелками – ветви Норвежского течения (используются международные обозначения [3]): 1 – Норвежское фронтальное течение (NwAFC), 2 – Норвежское прибрежное течение (NCC), 3 – Норвежское склоновое течение (NwASC).

Этот район часто называют «горячей точкой» северных морей, потому что он обладает самой высокой интенсивностью мезомасштабной вихревой динамики [4, 5. Аналогично другим частям мирового океана мезомасштабную вихревую ЛК активность характеризуют как циклонические, так и антициклонические вихри.

Для обнаружения и отслеживания мезомасштабных вихрей ЛК был применен метод автоматической идентификации вихрей, разработанный в работе Faghmous et al. [1] и представленный в открытом коде, определяющий вихри как замкнутый контур аномалий уровня моря, содержащий один экстремум (минимум или максимум). Альтиметрические данные AVISO об аномалиях уровня моря с пространственным разрешением $1/4^\circ$ за период с 1993 по 2017 годы были взяты с портала Copernicus.

По результатам исследования были рассчитаны статистические характеристики параметров всех долгоживущих вихревых образований (120 циклонических и 210 антициклонических), разделенных на 4 группы, основываясь на расположении точек генерации и диссипации.

- 1 группа: вихри, появившиеся и распавшиеся в зоне ЛВ;
- 2 группа: вихри, появившиеся и распавшиеся вне зоны ЛВ;
- 3 группа: вихри, приходящие в зону ЛВ извне;
- 4 группа: вихри, выходящие из зоны ЛВ за его пределы.

Из таблицы 1 видно, что в ЛК для долгоживущих мезомасштабных вихрей преобладающим генетическим типом является вторая группа, т.е. вихри, появившиеся и распавшиеся вне зоны ЛВ. Это естественно, так как рассматриваемый регион ЛК по площади значительно превосходит зону ЛВ (рис. 1).

Таблица 1. Распределение мезомасштабных вихрей ЛК по группам (в %)

Группа	Тип вихрей	
	Циклоны (CEs): 120 треков	Антициклоны (ACEs): 210 треков
1	14,3 %	26,2%
2	73,3%	69,5%
3	9,2%	3,8%
4	3,3%	0,5%

Мы обнаружили три области формирования вихрей около фронтальной зоны NwASC, откуда вихри смещаются в северо-западном направлении, образуя три основные траектории перемещения. Изменчивость характеристик вихрей на треках во времени различается между группами вихрей, что связано с отличием механизмов формирования. Вихри ЛК имеют более выраженную изменчивость и больший масштаб характеристик по сравнению с вихрями на периферии Норвежского течения. В средней скорости перемещения вихрей просматривается ярко-выраженная сезонная изменчивость, с максимумами, для обоих типов вихрей, в зимний период (февраль-апрель) [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Литература

- Faghmous, J.H., I. Frenger, Y. Yao, R. Warmka, A. Lindell, V. Kumar (2015), A daily global mesoscale ocean eddy dataset from satellite altimetry. *Sci. Data* 2: 150028. Doi:10.1038/sdata.2015.28.
- Rosby, T., Ozhigin V., Ivshin V., Bacon S. An isopycnal view of the Nordic seas hydrography with focus on properties of the Lofoten Basin // *Deep-Sea Res. I.* 2009. 56, 1955-1971.
- Volkov D. L., Kubryakov A. A., Lumpkin R. Formation and variability of the Lofoten basin vortex in a high-resolution ocean model // *Deep-Sea Res. I.* 2015. 105. 142–157. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.09.001>
- Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Ожигин В.К., Норден Ю.Е. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря. *Вестн. С.-Петербург. Ун-та.* 2014. Сер.7. Вып. 2. С. 108-121.
- Volkov, D. L., T. V. Belonenko, V. R. Foux (2013), Puzzling over the dynamics of the Lofoten Basin – a sub-Arctic hot spot of ocean variability, *Geophys. Res. Lett.*, 40 (4): 738-743. doi:10.1002/grl.50126
- Зинченко В.А., Гордеева С.М., Собко Ю.В., Белоненко Т.В. Мезомасштабные вихри Лофотенской котловины по спутниковым данным // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2019. Т. 12, № 3. С. 46–54.

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В ОБСКОЙ ГУБЕ НА ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ

В. М. Ивахов¹, Н. Н. Парамонова¹, В. И. Привалов¹, А. В. Зинченко¹, Е. С. Семенец¹, И. Л. Кароль¹, А. А. Киселев¹, В. Ю. Полищук²

¹ ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», г. Томск, Россия

INFLUENCE OF WATER LEVEL VARIATIONS IN THE OB GULF ON GREENHOUSE GAS FLUXES IN THE LITTORAL ZONE

V. M. Ivakhov¹, N. N. Paramonova¹, V. I. Privalov¹, A. V. Zinchenko¹, E. S. Semenets¹, I. L. Karol¹, A. A. Kiselev¹, V. Y. Polishchuk²

¹ FSBI «Voeikov Main Geophysical Observatory», Saint-Petersburg, Russia

² FSBI «Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS», Tomsk, Russia

На примере Обской губы изучается влияние колебаний уровня воды на эмиссию CO₂ и CH₄ в литоральной зоне на глубинах от 0 до ~2.5 м. Попадание в атмосферу образовавшихся на дне газов зависит (1) от гидростатического давления воды, которое влияет на интенсивность пузырькового механизма переноса, (2) от доли окисленного в воде метана, определяемой через высоту водного столба. В зоне осушки прибрежной акватории анаэробные условия меняются на аэробные, тем самым изменяя скорость генерации CO₂ и CH₄.

By the example of the Gulf of Ob, the influence of water level fluctuations on the CO₂ and CH₄ emissions in the littoral zone at depths from 0 to ~2.5 m is studied. The release of formed at the bottom gases to the atmosphere depends (1) on the hydrostatic pressure of water, which affects the intensity of the bubble transport mechanism, (2) on the fraction of oxidized in water methane, determined through the height of the water column. In the drained zone of the coastal water area, anaerobic conditions change to aerobic, thereby changing the generation rate of CO₂ and CH₄.

Диоксид углерода и метан являются долгоживущими парниковыми газами (ПГ), вклад которых в увеличение радиационного форсинга за период с середины 18 века и до 2017 г. составил 66% и 17% (от 3.062 Вт/м) соответственно [4]. Баланс этих газов в атмосфере определяется совокупностью многочисленных и разнообразных источников и стоков, как естественного, так и антропогенного происхождения. Текущее состояние природных экосистем и их отклик на изменения климата с точки зрения эмиссии/поглощения парниковых газов является относительно малоизученным вопросом. Снижение антропогенной эмиссии метана является наиболее эффективной мерой по смягчению негативных последствий изменения климата. Наибольшей неопределенностью среди источников метана обладают водные экосистемы, такие как: болота, озера, реки и шельфы морей [3]. Поэтому уточнение оценок эмиссии CH₄ от перечисленных выше природных объектов является важной научной задачей, решение которой позволит более качественно прогнозировать изменения климата и проводить национальные инвентаризации выбросов ПГ, в частности, выбросов от водохранилищ.

В нашем исследовании мы задались целью оценить эмиссию основных парниковых газов в литоральной зоне Обской губы. В качестве экспериментальной площадки была выбрана Новопортовская бухта, в которой расположено сельское поселение Новый Порт, и где выполняются регулярные наблюдения за атмосферной концентрацией диоксида углерода и метана по программе «Глобальная служба атмосферы» Всемирной Метеорологической организации Северным УГМС и Главной геофизической обсерваторией (ГГО) Росгидромета. Подчеркнем, что под литоральной зоной подразумевается прибрежная часть акватории, глубина которой не превышает одного метра при минимальном уровне воды. Выбор объекта исследования в определенной степени субъективен, но он обусловлен тем, что именно в данной зоне происходят наиболее значимые изменения условий эмиссии CO₂ и CH₄, вызванные колебаниями уровня воды вследствие приливно-отливных и сгонно-нагонных явлений,

амплитуда которых по данным наблюдений за 2007-2016 гг. составила 159 см. От уровня воды зависят следующие показатели: (1) интенсивность пузырькового механизма переноса газа со дна водоема в атмосферу, (2) доля окисленного в воде метана, (3) доступность кислорода для метаногенных микроорганизмов, которая, по сути, сводится к площади осушки/затопления.

В период с 17 июля по 17 августа 2019 года в Новом Порте состоялась полевая кампания по изучению потоков ПГ в прибрежной зоне Обской губы. Наблюдения выполнялись методом статичных и плавающих камер. Эксперименты проводились с помощью двух рядом размещенных камер. Время экспозиции камер составляло 40-90 минут. Через равные интервалы времени с помощью шприца отбирались пробы воздуха (250 мл), которые затем перекачивались в 50 мл бутылки, герметично закрытые резиновой септой. Концентрация метана и диоксида углерода в пробах воздуха определялась в сентябре 2019 года на газовом хроматографе Кристалл-5000 в соответствии с [2] в лаборатории мониторинга малых газовых компонент атмосферы ГГО.

Для определения концентрации CH_4 и CO_2 наряду с отбором проб для лабораторного анализа была использована специально подготовленная автоматическая газоаналитическая система на основе малобюджетных датчиков для получения результатов на месте. В настоящее время на рынке появилось довольно большое предложение недорогих датчиков для различных газов, в том числе для метана и диоксида углерода. По чувствительности и точности они, разумеется, значительно уступают дорогостоящим приборам, используемым для прецизионных измерений. Однако они могут быть использованы в задачах, не требующих высокой точности измерения. К таким задачам можно отнести обнаружение и идентификацию источников и стоков парниковых газов, оценку их мощности. Литературный и опытный обзор характеристик электрохимических и оптических датчиков показал, что оптические детекторы (при сравнительной дороговизне) обладают значительно лучшей селективностью к измеряемым газам. Выводы по применению опытного образца автоматической газоаналитической системы во время полевых работ неоднозначные. Были отмечены как положительные, так и отрицательные моменты. Требуется дальнейшее исследование характеристик прибора в лабораторных и полевых условиях.

В лаборатории химии атмосферных осадков ГГО был выполнен химический анализ 15 проб воды, отобранных во время экспедиции. Установлено содержание аммония, калия, кальция, магния, цинка, сульфатов, хлоридов, нитратов, гидрокарбонатов, также определены показатели удельной электропроводности и pH. По химическому составу воды сделаны следующие предварительные выводы:

- сравнительно узкий диапазон изменения pH – 6.61–7.46 – слабокислая – нейтральная реакция среды – если сравнить с pH мирового океана – 8.2–8.3 – существенно ниже за счет наличия скорее всего динамики вод, создающей обмен и перемешивание водных масс; материкового стока; выпадения атмосферных осадков; разложения органических веществ; антропогенного фактора. Эти процессы влияют также на содержание главных ионов в воде, при этом наибольшим колебаниям подвержено содержание гидрокарбонатов, диапазон изменения концентрации которых составил 8.6–52.3 мг/дм³;
- Диапазон изменения минерализации – 18,0 – 90,4 мг/дм³;
- По анионному составу – преобладают гидрокарбонаты, хлориды, далее следуют сульфаты и нитраты;
- По катионному составу – кальций>магний>натрий>калий или аммоний;
- Концентрация биогенных веществ изменяется в широких пределах в зависимости от соотношения интенсивности процессов потребления и воспроизводства в данный момент и подвержена сезонным колебаниям. В целом в период проведения экспедиционных работ содержание биогенных веществ колебалось от 0.3 до 12.4% для нитратов (0.2-5.5 мг/дм³) и от 0.2 до 10% для аммония (0.1-0.7 мг/дм³);
- Содержание сульфатов в воде определяется процессом отмирания организмов, процессом окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения, а также в результате антропогенного воздействия и сбросом сточных вод. Диапазон изменения

сульфатов от 0.1 до 7.9 мг/дм³. Концентрация хлоридов составила в среднем 4.9 мг/дм³, с максимальным значением 8.6 мг/дм³.

Главным фактором, который определяет эмиссию CO₂ и CH₄ является наличие органического вещества, пригодного для разложения, в составе донного грунта. С этой точки зрения, как показала рекогносцировка местности в районе Новопортовской бухты, береговая линия крайне неоднородна. Грунт в бухте – синий ил, покрытый тонким слоем песка, на отдельных участках встречаются моховая и травяная дернина. В некоторых местах визуально наблюдался выход газовых пузырьков, но при этом внешне эти области никак не выделялись из общей картины. В результате мы выделили пять основных категорий донного грунта по величине ожидаемой эмиссии, главным образом, CH₄: твердые песчаные, вязкие песчаные, марши, устья маленьких рек, задерненные. Представленная классификация является общей и будет уточняться.

Для описания процессов образования углеродосодержащих парниковых газов в результате разложения органического вещества в донном грунте была разработана модель гумификации и минерализации органического вещества [1], которая послужит основой для моделирования влияния колебания уровня воды на эмиссию ПГ. В настоящее время ведется подготовка к проведению лабораторного эксперимента по изучению влияния изменения уровня воды в инкубаторе с образцом донного грунта из Обской губы на динамику эмиссии ПГ.

Благодарности: работа выполняется при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-00677а и №18-05-00982, также авторы выражают благодарность ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ООО «Фертоинг» за предоставленные данные по уровню воды.

Литература

1. Зинченко А.В. Модель гумификации и минерализации органических веществ в почве и ее использование для расчета составляющих углеродного баланса болотных экосистем // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2017. № 2 (8). С. 3–17.
2. Парамонова Н.Н., Привалов В.И. Методика измерений методом газовой хроматографии РД 52.04875-2019. Молярная доля метана и диоксида углерода в пробах атмосферного воздуха // 2019.
3. Saunois M. [и др.]. The global methane budget 2000–2012 // Earth System Science Data. 2016. № 2 (8). С. 697–751.
4. WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017 2018.

ШТОРМОВЫЕ НАГОНЫ И ИХ РОЛЬ В ИНТЕНСИФИКАЦИИ БЕРЕГОВЫХ ПРОЦЕССОВ АЗОВСКОГО МОРЯ НА ФОНЕ ПОДЪЕМА УРОВНЯ

Л.А. Беспалова, А.Е. Цыганкова, Е.В. Беспалова, А.Р. Иошпа, О.В. Ивлиева
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

STORM SURGES AND THEIR ROLE IN THE INTENSIFICATION OF COASTAL PROCESSES OF THE SEA OF AZOV AGAINST THE BACKGROUND OF SEA LEVEL RISE

L.A. Bespalova, A.E. Tsygankova, E.V. Bespalova, A.R. Ioshpa
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Сделана оценка динамики уровня по данным наблюдений на морской береговой сети Азовского моря по данным 8 уровенных постов (Керчь, Мысовое, Гениченск, Таганрог, Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк, Тамань) за период 1923-2016 гг. Имеющийся ряд наблюдений за уровнем и динамикой опасных береговых процессов позволил выявить циклы активизации и стабилизации абразионно-оползневых процессов и нагонных повышений уровня.

The assessment of dynamics of level observations on marine coastal network of the Sea of Azov according to 8 level posts (Kerch, Mysovoe, Genichensk, Taganrog, Yeisk, Primorsko-Akhtarsk, Temryuk, Taman) for the period 1923-2016 years. A number of observations of the level and dynamics of dangerous coastal processes have revealed cycles of activation and stabilization of abrasion and landslide processes and surging level increases.

Берега Азовского моря, поражены комплексом опасных береговых процессов (ОБП) таких как абразионные, абразионно-обвальные, абразионно-оползневые что обусловлено, помимо геолого-геоморфологических условий, главным образом подъемом уровня моря и частотой проявления штормовых нагонов.

Для оценки состояния уровня Азовского моря были обработаны данные наблюдений на морской береговой сети Азовского моря за период 1923-2016 гг. Использовались стандартные методы обработки гидрометеорологической информации.

В многолетнем ход отмечается постоянный рост уровня моря. Так, средний уровень Азовского моря, вычисленный за 1923-1972 гг. по данным 8 уровенных постов (Керчь, Мысовое, Гениченск, Таганрог, Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк, Тамань) с учётом площадей, режим которых они характеризуют, равен 470 см [3]. В период 1977-2002 гг. уровень Азовского моря поднялся до отметок 482 см, а в 2003-2016 г. до 486 см. За 94 летний период наблюдений средний годовой уровень повысился на 17 см, т.е. подъем достигал, в среднем, 0.18 см/год.

Полученные результаты сопоставлены с данными о тенденции изменений уровня Мирового океана и Черного моря. Согласно межправительственной группы экспертов по изменению климата, интенсивность повышения уровня Мирового океана составляла за последние 100 лет в среднем 0.17 см/год. Скорость подъема уровня Черного моря за 100 лет достигала 0.16-0.18 см/год [1, 2].

В последние десятилетия наблюдается увеличение темпов роста уровня Азовского моря, что обусловлено климатическими изменениями (табл. 1). Так, в Таганрогском заливе начиная с 1977 г., уровень повышался в Таганроге со скоростью 0,47 см/год, в Ейске - 0.44 см/год. Многолетний ход уровня в собственно море имел такие же тенденции (табл. 1). Темпы роста уровня в Приморско-Ахтарске составили 0.36 см/год, в Темрюке - 0.61 см/год, в Тамани с 2003 по 2015 гг. скорость подъема уровня достигала 0.82 см/год [4].

На Азовском море экстремальные уровни формируются под воздействием штормовых ветров более 15 м/с, повторяемость которых составляет примерно 6 - 10% в год. Для оценки повторяемости экстремальных уровней выбраны случаи изменений уровня, которые выходят за пределы критических отметок неблагоприятного явления (НЯ) и опасного явления (ОЯ) за период 1991-2016 гг.

Анализ проведенных исследований показал, что за период 1991-2016 гг. в прибрежной зоне моря наблюдалось 216 случаев опасных колебаний уровня. Причем количество неблагоприятных

явлений (НЯ) и опасных явлений (ОЯ) нагонов (149 случаев - 69%) преобладало над сгонами (67 случаев – 31%).

Наибольшее число случаев стояния уровня на отметках НЯ и ОЯ – 59 случаев за на восточном побережье Азовского моря (ГМС Приморско-Ахтарск) зафиксировано в период 1991-2016 гг., на южном - в Темрюке – 58 случаев. Более 70% экстремальных уровней связаны с нагонами. Напротив, на северном побережье в Таганрогском заливе из 55 случаев аномальных уровней 90% - сгоны.

Имеющийся ряд наблюдений за уровнем и динамикой ОБП позволил выявить циклы активизации и стабилизации абразионно-оползневых процессов и нагонных повышений уровня. Периоды 1980-2002 гг. и 2006-2010 гг. характеризовались стабилизацией процесса абразии, средние скорости в это время не превышали 1 м/год, периоды 2004-2006 гг. и 2010-2014 гг. отличаются интенсификацией этих процессов, что связано с увеличением частоты штормовых нагонов с западной составляющей (рис. 1, 2).

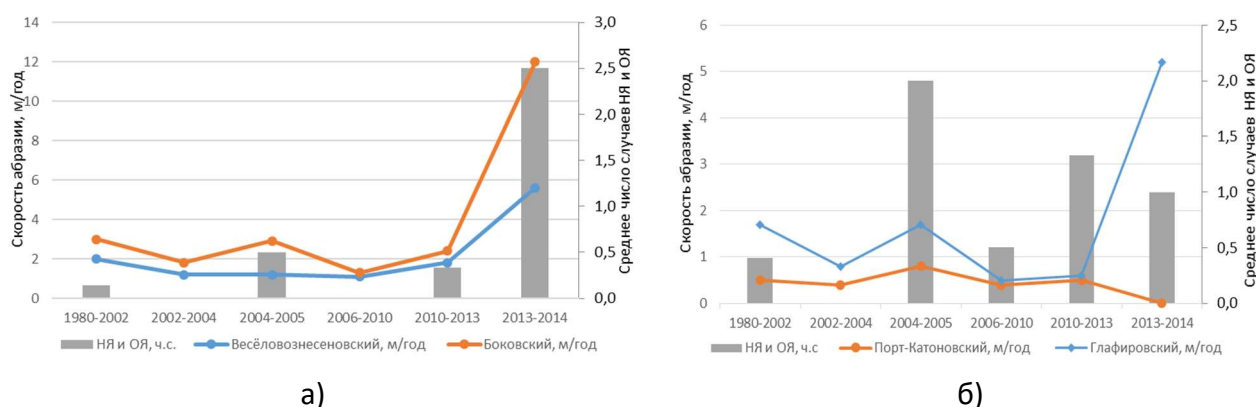


Рис. 1. Динамика повторяемости экстремальных нагонов и скоростей абразии на северном (а) и южном (б) побережье Таганрогского залива по периодам [5]

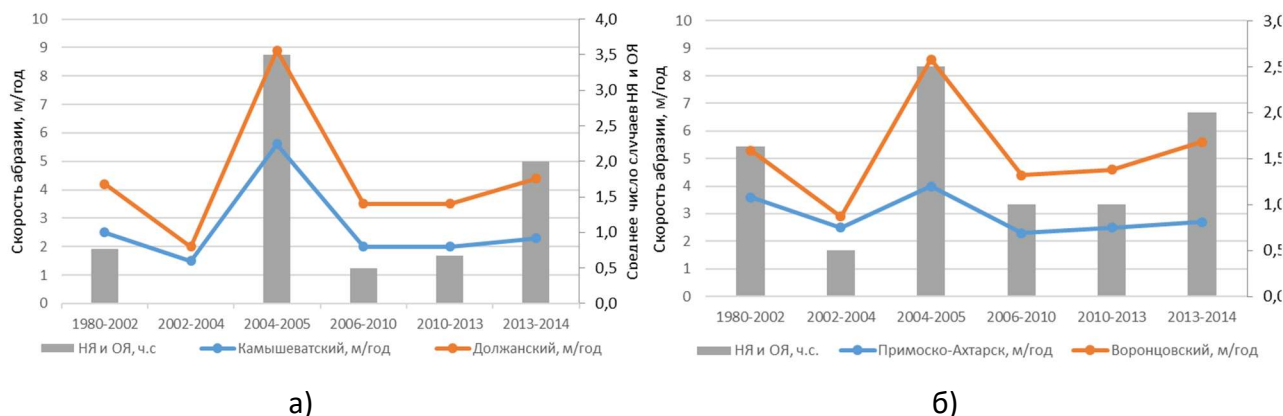


Рис. 2. Динамика повторяемости нагонов и скоростей абразии на северо-восточном (а) и восточном (б) побережье Азовского моря по периодам [5]

Выводы

Проведенные исследования показали, что современный период характеризуется аномальным поведением уровня по многим параметрам отмечается:

- тенденция повышение уровня Азовского моря для всех ГМС и увеличение темпов роста уровня в современный период;
- высокая частота проявления экстремальных уровней в ряду стонно-нагонных колебаний, в целом для моря более 9 случаев в год;

- цикличность (10-11 летние циклы) в проявлении ОБП, связанных с экстремальными нагонными колебаниями уровня;

- резкое увеличение скоростей абразии берегов Азовского моря в годы проявления НЯ и ОЯ уровней, что характерно для настоящего периода.

Исследования выполнены по проекту РФФИ №18-05-80082 "Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений" и внутреннему гранту ЮФУ ВнГр-07/2017-14 «Разработка методических основ и рекомендаций для комплексного управления прибрежной зоной Азовского моря в условиях роста опасных экзогенных процессов, рекреационной нагрузки, климатической изменчивости».

Литература

1. Адрианова О.Р. Сравнительный анализ тенденций изменения уровня на побережьях Атлантического океана, Средиземного и Черного морей // Вісник Одеського Національного університету / Географічні та геологічні науки, 2012. Том 17. № 3(16), С. 48-60.
2. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / Научная монография. - Севастополь: Изд-во: Гидрофизический институт, 2006. - 210 с.
3. Жилиев А.П. Справочник. Расчет колебаний уровня Азовского моря. - М.: Изд. «Наука», 1977. Том 12. С. 62-82.
4. Bepalova L.A., Ivlieva O.V., Bepalova E.V., Kazachkova E.M. 2017. Extreme levels of the Sea of Azov. 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, Volume 17, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems, issue 31, Hydrology and Water Resources, Marine and Ocean Ecosystems (29 June – 5 July). Albena, Bulgaria: 863-869.
5. Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е., Беспалова Е.В., Мисиров С.А. Опасные штормовые нагоны и разрушение берегов Азовского моря. Наука Юга России. 2019. Т. 15. № 2. С. 29-38.

УДК 556.18.004

ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ АРАКС

Ф.А. Иманов¹, Х.Б. Маммадов²

¹Научно-исследовательский и проектный институт «Суканал», Баку, Азербайджан

²Гянджинский Государственный Университет, Гянджа, Азербайджан

CHANGES OF THE ANNUAL FLOW OF ARAS RIVER

F.A.Imanov¹, Kh.B.Mammadov²

¹“Sukanal” Scientific-Research and Design Institute, Baku, Azerbaijan

²Ganja State University, Ganja, Azerbaijan

В статье рассмотрены основные виды хозяйственной деятельности в бассейне трансграничной реки Аракс и выполнена оценка антропогенного снижения ее годового стока. Показано, что в бассейне реки наблюдается водный стресс различной степени.

The article reviewed the main types of economic activity in the basin of the transboundary river Aras and assessed the anthropogenic reduction of annual flow. It is shown that, in the river basin is observed varying degrees of water stress.

Введение

Трансграничная река Аракс самый крупный приток Куры и протекает по территории Турции, Армении, Ирана и Азербайджана. Она берет начало в Турции и впадает в Куру в пределах Азербайджана. Ее площадь водосбора составляет 102000 км².

Значения условно-естественного годового стока реки Аракс были восстановлены различными авторами [1,2,3,4]. Согласно этим работам, общие водные ресурсы бассейна р.Аракс составляют около 9,15 км³. Однако оценки водных ресурсов по отдельным странам, расположенным в бассейне реки, существенно различаются [4,5].

Развитие антропогенной деятельности в бассейне реки

Водные ресурсы бассейна р.Аракс интенсивно используются на различные хозяйственные нужды, и прежде всего для орошения. Орошение и строительство водохранилищ являются основными антропогенными факторами в изучаемом бассейне.

В настоящее время в азербайджанской и армянской частях бассейна р.Аракс орошаемые площади составляют по 300 тыс.га. В Турции орошается около 100 тыс. га. [3].

В иранской части бассейна имеется 636 тыс. га земель, пригодных для сельского хозяйства и из них 270 тыс. га земель обрабатываются. Орошаемые земли находятся на Муганской равнине (90 тыс. га) и вдоль р.Аракс. Общий объем водных ресурсов, используемых для орошения составляет 3,270 км³. Из них 2.277 км³ приходится на долю поверхностных, а 0.993 км³ подземных вод [6]. В бассейне реки Карасу (правый приток р.Аракс в Иране) построено 46

водохранилищ, с общим объемом 403 млн. м³. Планируется строительство новых водохранилищ и увеличение этого объема до 737 млн. м³ [7].

В соответствии соглашения между СССР и Турцией от 1927г. обе страны забирали одинаковое количество воды из реки Западный Арпачай (Ахурян), являющейся левым притоком р.Аракс. В 1980г. с целью орошения Игдырской равнины Турции на границе с Арменией был построен Сардарабадский гидроузел. В Армении построено более 30-и водохранилищ. В наиболее крупных четырех из них аккумулированы около 0.974 км³ вод. Из рек Аракс, Ахурян, Азат и др. проведены несколько магистральных каналов [3].

На территории Азербайджана существенное нарушение естественного режима р.Аракс началось с введением в строй Баграмтапинского гидроузла в 1959г. Из этого гидроузла берут воду несколько магистральных каналов. В 1970г. построено Аразское водохранилище, с объемом 1.35 км³ и в 1972г. сдан в эксплуатацию Миль-Муганский гидроузел. Из этого гидроузла иранская сторона также забирает воду [8]. Выше и ниже Аразского водохранилища имеются насосные станции, которые из р.Аракс забирают суммарно около 29,5 м³/с вод.

В бассейне реки, особенно в армянской ее части осушены более 25 тыс. га земель. Из Мингечаурского водохранилища по Верхнему Карабахскому каналу осуществляется переброска в среднем 25 м³/с воды в Баграмтапинский гидроузел.

Рост безвозвратных водозаборов для орошения и строительство водохранилищ приводят к снижению водности рек и нарушению естественных закономерностей внутригодового распределения стока.

Уменьшение годового стока реки

Средний многолетний условно-естественный годовой сток р.Аракс составляет 290 м³/с. В 1971-1977гг. уменьшение стока составило 148 м³/с (51%) [2]. Это связано строительством Аразского водохранилища и Миль-Муганского гидроузла.

В данной работе для оценки антропогенного уменьшения годового стока р.Аракс были использованы данные по 8-ми гидрологическим пунктам наблюдения: 1 пункт расположен в Турции (Кагизман), 2 в Армении (Сурмалу, Каракала) и 5 в Азербайджане (Кывраг, Кызыл Ванк, Гыз Каласы, Карадонлу, Новрузлу).

Для пункта наблюдения Кагизман, который находится в Турции, использована среднемноголетняя величина годового стока за 1953-2007гг. Для остальных пунктов периоды наблюдения не одинаковые. Не удалось восстановить и удлинить стоковые ряды этих пунктов. Так, начиная с верховья реки осуществляются водозаборы. Только для 2-х пунктов – Сурмалу и Кызыл Ванк имеются данные наблюдений по 2005-2010гг., а для пункта Саатлы (Новрузлу) по 2016г.

Результаты исследований свидетельствуют о снижении годового стока реки (рис.1).

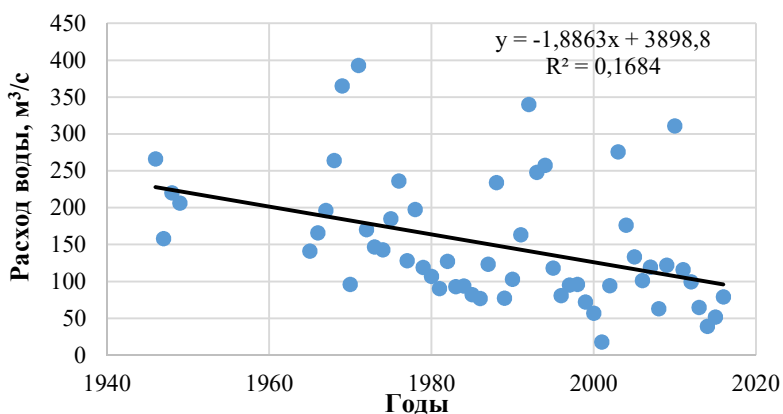


Рис 1. Динамика изменения среднегодовых расходов воды р. Аракс в створе Новрузлу

Установлено, что начиная с границы Турции и Армении (Сурмалу) наблюдается антропогенное уменьшение годового стока р.Аракс (18-23%). В нижнем бьефе Аразского водохранилища снижение стока составляет 36%. В замыкающем створе реки (Новрузлу) годовой сток уменьшился за весь период наблюдения на $128 \text{ м}^3/\text{с}$ или 44%, а за период 1991-2016 гг. на $160 \text{ м}^3/\text{с}$ или 55% (табл. 1).

Для анализа состояния водных ресурсов применена международная классификация по коэффициенту использования $K_{исп}$ или нагрузки на водные ресурсы. Установлено, что в настоящее время в среднем течении реки имеет место высокая нагрузка ($K_{исп} = 20-40\%$), а в нижнем течении очень высокая нагрузка ($K_{исп} = 40-60\%$) [9].

Снижение стока и в дальнейшем продолжится, так как в Иране на р.Аракс уже построено Худаферинское водохранилище с объемом $1,6 \text{ км}^3$ и строится новое водохранилище Гыз Каласы (62 млн.м^3). Планируется строительство большого количества малых ГЭС в Азербайджане и Армении. На самой р.Аракс Иран и Армения проектируют совместные Гарачиларский и Мегринский ГЭС, а Иран и Азербайджан Мазраидский и Ордубадский ГЭС [10].

Таблица 1: Изменения годового стока р.Аракс по ее длине

№	Пункт наблюдения	$Q_{наб.}$ $\text{м}^3/\text{с}$	Весь период наблюдения			1991-2010/16 гг.		
			$Q_{наб.}$	ΔQ		$Q_{наб.}$	ΔQ	
				$\text{м}^3/\text{с}$	%		$\text{м}^3/\text{с}$	%
1	Сурмалу	99.2	80.8	-18.4	18.0	76.0	-23.2	23.0
2	Каракала	99.2	48.6	-50.6	51.0	-	-	-
3	Кывраг	(169)	133	-36.0	21.3	-	-	-
4	Кызыл Ванк	188	136	-52.0	27.6	119	-69.0	36.0
5	Гыз Каласы	268	236	-32.0	11.9	-	-	-
6	Кубектала (Карадонлу)	(287)	227	-50.0	17.4	-	-	-
7	Новрузлу (Саатлы)	290	162	-128	44.0	130	-160	55.2

В результате влияния антропогенных факторов изменилось и внутригодовое распределение стока (рис. 2). Как видно из этого рисунка, после заполнения Аразского водохранилища в замыкающем створе реки весенний сток уменьшился, а зимний, наоборот увеличился. Гидрографы за 1971-2016 и 1991-2016гг. почти совпадают.

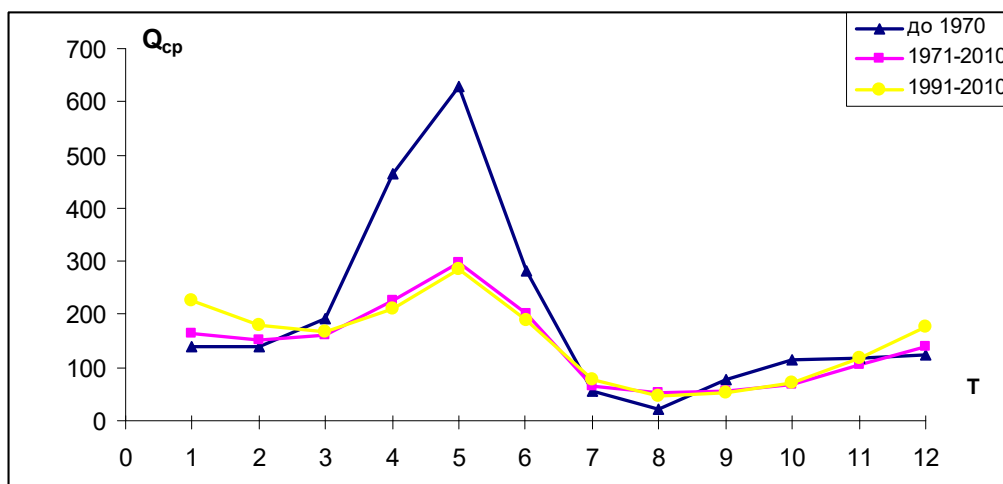


Рис.2. Гидрографы р. Араз в с.Новрузлу

Выводы

За последние 2-3 десятилетия под воздействием антропогенных факторов годовой сток трансграничной реки Аракс существенно изменился. В среднем течении реки имеет место высокая, а в нижнем течении очень высокая нагрузка на водные ресурсы. К концу 2016 года в замыкающем створе реки годовой сток уменьшился на 55,2%.

Литература

1. Шикломанов И.А., Фатуллаев Г.Ю. Антропогенные изменения стока реки Куры // Метеорология и гидрология, №8, 1983. – С.71–78.
2. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку. Элм, 1989.- 184 с.
3. Фатуллаев Г.Ю. Современные изменения водных ресурсов и водного режима рек Южного Кавказа (в пределах Каспийского бассейна), Баку, 2002. – 167 с.
4. Водные ресурсы Закавказья (Под ред. Г.Г.Сванидзе и В.Ш.Цомае) Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 264 с.
5. Öziş, Ü., Y. Özdemir. Turkey's Transboundary watercourses and the Euphrates-Tigris Basin.// Transboundary Waters and Turkey. Istanbul. 2009.-Pp.21-57.
6. UNDP/GEF. 2006. Исходный TDA для бассейна Кура–Аракс. Иран.
7. Imanov Farda, Heydarali Heydari Aranchi. Water Balance Study in Garasu and Mughan Watershed by using Raster Models // Baltica, Volume 27, № 1, 2014. Pp.350-359.
8. Иманов Ф.А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры. - Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. - 164 с.
9. Иманов Ф.А., Алиева И.С. Оценка влияния антропогенных факторов на годовой сток рек Азербайджана // Водное хозяйство России. №2, 2019, С.20-30.
10. UNDP/GEF. 2013.Обновленный TDA для бассейна Кура–Аракс.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА СКОРОСТЬ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В БОЛОТАХ В ГОЛОЦЕНЕ (НА ПРИМЕРЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Л.И. Инишева*, К.И. Кобак**, И.Е. Турчинович**

* Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия

** Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

CLIMATE INFLUENCE ON THE RATE OF CARBON ACCUMULATION IN SWAMPS IN THE HOLOCENE (ON THE EXAMPLE OF THE TAIGA ZONE OF WESTERN SIBERIA)

L. I. Inisheva*, K.I. Kobak**, I.E. Turchinovich**

* Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, RF

** State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, RF

Целью данного сообщения ставились анализ скорости аккумуляции углерода в голоцене и определение современных скоростей аккумуляции углерода на территории Западной Сибири. Современные скорости аккумуляции углерода и линейного прироста торфа определяли балансовым методом, а также по модели Климо в модификации И. Турчинович. Полученные результаты подтверждают тот факт, что процесс торфообразования в настоящее время активно продолжается.

The purpose of this communication was to analyze the rate of carbon accumulation in the Holocene and to determine current carbon accumulation rates in Western Siberia. Modern rates of carbon accumulation and linear peat growth were determined by the balance method, as well as by the Klimo model modified by I. Turchinovich. The results obtained confirm the fact that the peat formation process is currently actively ongoing.

Как справедливо отмечают авторы монографии [1] причиной изменения биогеоценоза болот является изменение климата, о котором в течение почти двух десятилетий ведется широкая дискуссия среди климатологов.

Проведем сравнение полученных результатов по активности торфонакопления с климатом Западной Сибири в голоцене, воссозданным В.М. Жуковым [2] на основе методов палеотемпературной реконструкции, гидролого-климатических расчетов по В.С. Мезенцеву, а также абсолютных датировок на примере отдельных болот. В.М. Жуковым выделено 4 климатических периода в проявлении процессов болотообразования и соответственно торфонакопления (рисунок). Первый период – слабого проявления болотообразовательных процессов (от 12 до 11 тыс. лет назад, в пределах древнего голоцена). Второй период (от 11 до 2 тыс. лет назад, в пределах раннего и среднего голоцена) характеризовался длительным потеплением и уменьшением количества осадков. Процесс торфообразования активно развивался. Третий период (2000–500 лет назад, в пределах позднего голоцена) характеризовался усилением процесса торфообразования. Так, в это время в южно-таежной зоне в результате понижения теплоэнергетических ресурсов тепла уменьшилось суммарное испарение до 462–485 мм, что определило избыточное увлажнение. Четвертый период (от 500 лет назад до настоящего времени, в пределах позднего голоцена) характеризуется повышением теплоэнергетических ресурсов до 35–42 ккал/см², а также уменьшением увлажнения. Торфообразовательный процесс продолжает прогрессировать. В последние 500 лет процесс

болотообразования в целом замедлился, однако проявление зональности в трансгрессии болот на окружающие их леса сохранилось.

Рассмотрим прирост торфа в Западной Сибири за периоды голоцена [3] на основании сопоставления результатов палинологических анализов и радиоуглеродных датировок торфяных залежей с результатами изучения их строения и мощности. Для этого было выбрано более 65 опорных торфяных разрезов из различных природных зон Западно-Сибирской равнины. В целом по голоцену выявляется следующая закономерность: в первую половину голоцена средняя вертикальная скорость торфонакопления отличалась более высокими показателями, чем во вторую половину. Это также подтверждается изменениями климатических условий в сторону похолодания и усиления континентальности (рисунок).

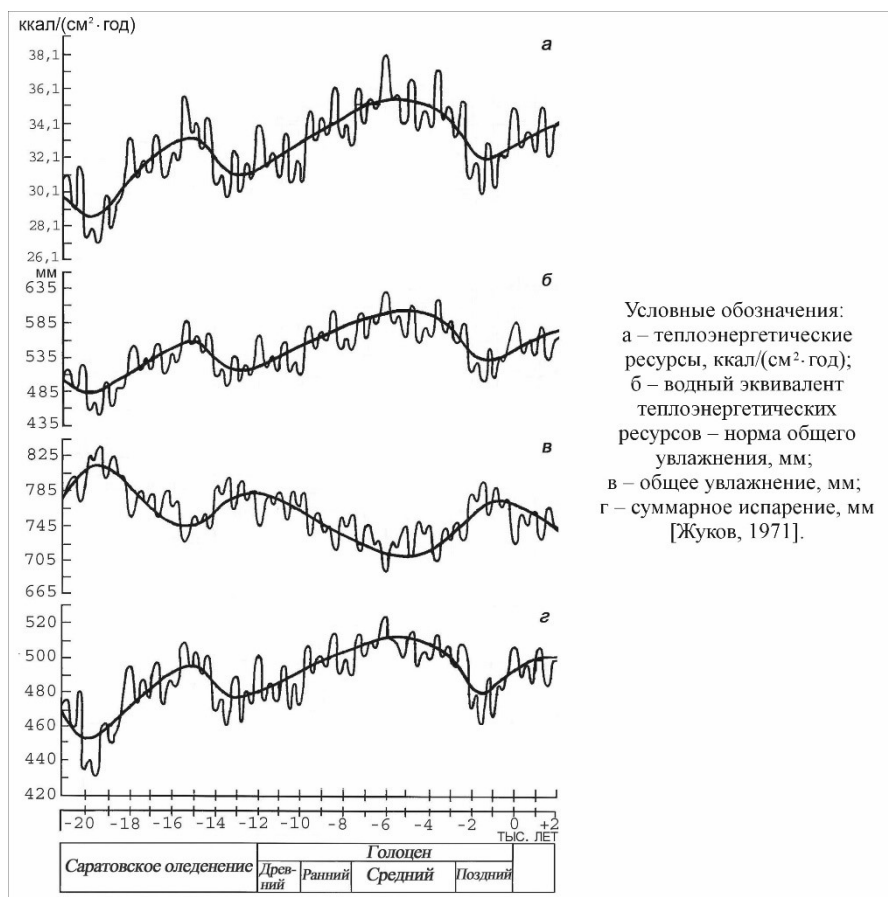


Рисунок. Вероятные циклические изменения количества тепла и влаги в болотных зонах в средних столетних значениях.

Совершенно очевидно, что скорость трансгрессии болот так же, как и их вертикальный рост, не были одинаковыми в разных районах и в разные временные отрезки голоцена. В северной тайге, тундре и лесотундре Западной Сибири скорость торфонакопления в бореале была максимальной за весь голоцен, достигая 1,4–1,6 мм/год, что в два раза превышало интенсивность накопления торфа в северных экосистемах Европейской части России [4]. В суббореальное время темпы трансгрессии болот на суходолы снизились до 5–10 см/год, а скорость торфонакопления уменьшилась до 0,4 мм/год. Последние 2,5 тысячелетия

характеризуются самыми низкими темпами роста болот (4 см/год), а интенсивность торфонакопления в северной тайге не превышает 0,2 мм/год. В средней тайге скорость линейного прироста торфа составила 0,57 мм/год. В лесостепной зоне, особенно в займищах, процесс торфонакопления также был замедлен – 0,73 мм/год и более интенсивно протекает только в рямах – 1,64 мм/год. Уменьшение торфонакопления в травяных займищах, несмотря на сравнительно их высокую биологическую продуктивность, объясняется интенсивным разложением растительных остатков в условиях высокой теплообеспеченности и переменной увлажненности.

На современном этапе условия заболачивания на исследуемой территории сохраняются, что определяется климатом и возможными тектоническими подвижками. Вновь обратимся к расчетам, приведенным в статье В.М. Жукова [2] для периода с 1890 до 2040 гг. для 60° с.ш. Можно предположить, что полученные тенденции изменения климата будут сохранены на всей территории Западной Сибири. На основании этих расчетов следует, что в таежной зоне в этот период остаются условия избыточного увлажнения территории на общем фоне чередования периодов подсыхания и переувлажнения. Выявляется цикличность изменения климатических параметров в 44 года. В перспективе (до 2040 г.) сохраняются условия избыточного увлажнения. По теплоэнергетическим затратам 2040 г. будет аналогичен 1890 г. Таким образом, в районах, где климатические условия одинаковы, но различаются почвенно-грунтовые и геоморфологические условия, возможно, как заболачивание, так и сокращение площадей болот.

Сведения о современной скорости заболачивания и интенсивности накопления торфа и углерода в болотных экосистемах России далеко не полны и носят фрагментарный характер. Для определения современной скорости аккумуляции углерода в болотных экосистемах может быть применена модель вертикального роста болот, разработанная для исследования верховых болот [5]. При расчетах в таблице были использованы собственные экспериментальные значения нетто-продуктивности, мощности верхнего слоя, плотности сложения абсолютно сухого вещества в верхнем слое, а также из литературных источников [6, 7] (табл. 1). Оценки выполнены без учета потерь органического вещества в толще торфяной залежи, образованной за время существования болота, и мы полагаем, что они несколько завышены.

Таблица 1. Поток органического вещества из акротелма в катотелм и максимально возможный линейный прирост торфа в некоторых типах болот Сибири в современную эпоху

Тип болот	Продуктивность фитомассы, кг/(м ² ·год) (АСВ)	Плотность торфа в акротелме, кг/м ³ (АСВ)	Толщина акротелма, м	Константа разложения в год	Поток органического вещества в катотелм, кг/(м ² ·год) (АСВ)	Линейный прирост торфа, мм/год
Грядово-мочажинные верховые	0,43–0,52	30–50	0,38–0,44 * 0,42–0,49 p	0,01–0,05	0,070	0,88–0,93
Верховые облесенные,	0,21–0,63	30–50	0,49–0,54 * 0,47–0,58 p	0,01–0,04	0,063–0,079	1,00–1,10

Низинные (лесные)	0,78	140	0,85	0,06	0,02	0,10–0,20
Низинные травяно-лесные	0,72	100 ПО	0,49	0,01	0,10	0,70–0,90

Примечания: * – данные полевых наблюдений, р – расчетные данные, АСВ – абсолютно сухое органическое вещество.

Балансовые исследования накопления углерода проводили на верховом болоте, которые включали изучение поступления и выделения углерода, а также его потери с болотными водами. Надземную продукцию определяли укосным методом, подземную – методом монолитов. Чистая первичная продукция рассчитывалась как сумма надземной и подземной продукции [8], эмиссия парниковых газов – камерно-статическим методом. С целью изучения стока углерода с водным потоком отбирались образцы воды для проведения анализа и также была разработана математическая модель выноса углерода.

Кратко рассмотрим отдельные результаты определения современной скорости аккумуляции углерода балансовым методом на примере сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозов в разные по метеорологическим условиям годы. Результаты исследований были также опубликованы в ряде работ [9-12].

В исследуемых верховых болотах чистая первичная продукция (NPP) изменялась в пределах от 206 до 337 г С/(м²·год) (табл. 2). Её экстремальные значения принадлежали году с гидротермическим коэффициентом 0,80 (сухой год).

Таблица 2. Элементы углеродного баланса в сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозах, г С/(м²·год)

Годы по гидротермическому коэффициенту	Поступление	Выделение CO ₂ и CH ₄	Депонирование
0,8	<u>206–337</u> 264,6 ± 38,43	<u>61–80</u> 69,0 ± 6,96	<u>140–276</u> 195,6 ± 50,40
1,3	<u>277–301</u> 290,3 ± 7,06	<u>45–111</u> 72,0 ± 24,46	<u>166–248</u> 218,3 ± 32,14
1,8	<u>214–245</u> 227,0 ± 11,37	<u>31–79</u> 47,7 ± 19,20	<u>166–189</u> 179,3 ± 8,44
Среднее	260,6 ± 15,69	62,9 ± 8,94	197,7 ± 16,24

Примечание. В числителе – экстремальные, в знаменателе – средние значения, «±» – доверительный интервал.

Особый интерес представляет оценка суммарного потока углерода за вегетационный период. Средние значения потоков углерода в виде CO₂ и CH₄ за три года исследования составили – 69, 72, 47,7 г С/(м²·год). Экстремально большое выделение отмечалось в год с

гидротермическим коэффициентом 1,3–111 г С/(м²·год). Большая часть потерь углерода была обусловлена эмиссией CO₂ (в среднем 61,3 г С/(м²·год), или 23,5 % чистой первичной продукции. Доля CH₄ значительно меньше (1,6 г С/(м²·год) или 0,6 % чистой первичной продукции). В сумме доля выноса была равна 24,1 % чистой первичной продукции. В результате расчетов по модели за весенне-летний период вынос общего углерода с водосборной площади был определен в количестве 7,9 г С/(м²·год). Таким образом, потери углерода с болотными водами составили 3,0 % чистой первичной продукции. На основании полученных результатов в разные по погодным условиям теплые периоды можно сделать вывод о преобладании аккумуляции углерода в торфяных залежах ландшафтного профиля (197,7 г С/(м²·год)).

Полученные результаты подтверждают тот факт, что процесс торфообразования в настоящее время активно продолжается.

Литература

1. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо) / Под ред. С. М. Новикова, В. И. Батуева. Санкт-Петербург: ГГИ, 2019. 448 с.
2. Жуков В.М. Климат и процесс болотообразования // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1971. С. 13–30.
3. Инишева Л.И., Березина Н.А. Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине // Вестник Том. гос. ун-та. 2013. № 366. С. 172–179.
4. Васильев С.В. Скорость торфонакопления в Западной Сибири //Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. С. 56–59.
5. Clymo R.S. Limits to peat bog growth // Phil. Trans. Royal Soc. – 1984. – V.303b. – P. 605–654.
6. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 294 с.
7. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / под редакцией К.Е. Иванова, С.М. Новикова. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 448 с.
8. Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снитков И.А.1988. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Новосибирск:Наука. 1988.-134 с.
9. Inisheva L.I., Kobak K.I., Inishev N.G. Paludification on vasyugan mire // Contemporary Problems of Ecology, 2017. V. 10. No. 2. Pp. 105-110. Published in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2017. No 2. Pp. 119-126. DOI: 10.1134/S1995425517020044.
10. Inisheva L.I., Sergeeva M.A., Golovchenko A.V. Biochemical processes and conditions in bogs of different geneses. Contemporary Problems of Ecology.2015, T.8, №4, С.470-4792.
11. Инишева Л.И., Земцов А.А., Лисс О.Л., Новиков С.М., Инишев Н.Г. Васюганское болото (природные условия, структура и функционирование. 2-е изд. Томск, ЦНТИ., 2003, 212 с.
12. Инишева Л.И., Головацкая Е.А. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот // Экология. – 2002. № 4. С. 242–249.

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАСХОДОВ ВОДЫ ОТ УРОВНЕЙ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ.

Н.Б. Барышников, Д.И. Исаев, Кузьмин Ю.А., Лагай Н.В.

РГГМУ, Санкт-Петербург, РФ.

DRAWING WATER FLOW CURVES TO LEVELS IN ENGINEERING SURVEYS

N.B. Baryshnikov, D.I. Isaev, Yu.A. .Kuzmin, N. V Lagay

RSHU, St. Petersburg, Russian Federation.

В статье приведены особенности построения кривых $Q-f(H)$ при отсутствии регулярных наблюдений. Предлагается учитывать, как строение долины реки, так и возможные русловые деформации.

The article presents the features of the construction of the curves $Q-f(H)$ in the absence of regular observations. It is proposed to take into account both the structure of the river valley and possible channel deformations.

Ключевые слова: расход воды, уровень воды, русловой процесс.

water consumption, water level, channel process

При инженерно-гидрометеорологических изысканиях построение кривой зависимости расходов воды от уровней на участке, где отсутствуют посты Гидрометслужбы, выполняются по морфостворам, на основе уравнений равномерного движения. Одним из основных гидравлических параметров, определяемых при полевых работах является уклон водной поверхности. Наиболее точным методом определения уклона следует признать нивелировку по урезным кольям. На практике изыскатели часто применяют электронные тахеометры и ГНСС системы спутникового позиционирования. При применении последних ошибки определения уклонов воды, особенно на равнинных реках, могут достигать неприемлемых величин. Полученные при полевых работах значения уклонов зачастую используются в формуле Шези при построении кривых зависимости $Q=f(H)$ практически во всем диапазоне изменения уровней воды. Следует отметить, что при расчетных максимальных расходах воды значения уклонов свободной поверхности могут значительно изменяться.

Следует отметить результаты исследований А.В. Гордикова и М.В. Россомахина [1], установивших резкое отличие уклонов водной поверхности русловых потоков от пойменных. Более того, авторы на примере реки Иртыш установили отставание изменений уровней пойменных потоков от русловых.

Второй вывод из их работы свидетельствует о наличии однонаправленного уклона водной поверхности от русла в сторону поймы во все фазы паводка. Этот вывод является спорным и может рассматриваться как частный случай. Так Ю.И. Каменков [2] на основе натурных данных по реке Чулым в паводочный период установил, что на сегментных поймах имеются отдельные участки, на которых во все фазы паводка уклоны были направлены в сторону поймы, что подтверждает выводы Гордикова и Россомахина. На остальных же участках поймы уклоны водной поверхности были переменного направления в зависимости от фазы паводка.

Интересные сведения также получены Б.В. Поляковым по результатам измерений на реках Волге и Дону. Он установил наличие поперечных уклонов, изменяющих свое направление в различные фазы паводка.

М.А. Великанов [3] установил зависимость уклонов от морфологических особенностей строения расчетного участка.

Более поздние специальные исследования, проведенные сотрудниками ГГИ на реках Луга, поселок Толмачево и Пьяна, деревня Камкино, посвященные исследованию процесса взаимодействия русловых и пойменных потоков, позволили оценить воздействие этого эффекта на уклоны водной поверхности и средние скорости русловых и пойменных потоков, а так же оценить эффективность методов расчетов параметров взаимодействующих потоков.

Одним из первых, на основе этих материалов, пытался решить проблему эффективности применения гидравлических методов к расчетам параметров взаимодействующих потоков, в частности, методики расчетов движения потоков с переменным по длине расходом воды Д.Е. Скородумов [4]. Используя натурные данные по этим рекам, он представил уравнение движения для русловой составляющей взаимодействующих потоков в конечных разностях в виде (1) и оценил веса его членов на основе данных по приведенным выше двум рекам.

$$I = \frac{V^2}{C^2 h} + \frac{\alpha_{\text{КН}} V_{\text{Н}}^2 - \alpha_{\text{КВ}} V_{\text{В}}^2}{2gL} + \frac{V - V_g}{gF} \frac{Q_{\text{Н}} - Q_{\text{В}}}{L} + \frac{\alpha_{\text{Б}}}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{Б}}$ и $\alpha_{\text{К}}$ - соответственно коэффициенты Буссинеска и Кориолиса;

V_g – проекция скоростей притекающих или оттекающих вод на направление движения руслового потока; индексы «н» и «в» обозначают, что параметры соответственно относятся к нижнему или верхнему створам;

L – расстояние между этими створами.

Обозначив правые части уравнения (1) ε_1 , ε_2 и ε_3 он рассчитал для первых двух членов (ε_1 / I и ε_2 / I) их наибольшие значения $\varepsilon_1 / I \approx 59\%$ и $\varepsilon_2 / I \approx 19\%$, т.е. они являются значимыми.

Наибольшее значение ε_3 было получено Е.С. Субботиной и Н.Б. Барышниковым [5] и составило $\varepsilon_3 / I \approx 5\%$, при средней величине - доли процента, т.е. не является значимым. Скородумов не привел методику определения параметра L , в значительной степени определяющей величины ε_1 и ε_2 . К сожалению, методика расчетов величины L вообще не разработана.

Анализ форм кривых свободной поверхности показал, что на соседних створах даже сравнительно небольшого участка реки изменение уклонов воды с ростом уровней может происходить по-разному – они могут увеличиваться, уменьшаться или слабо изменяться. Так Н.Б. Барышников на основе анализа данных об измеренных расходах воды на сети Гидрометслужбы показал [6], что при расширении потока при выходе его на пойму (второй тип взаимодействия руслового и пойменного потоков – расхождение их динамических осей) наблюдается тенденция к увеличению уклонов (см. рис.1)

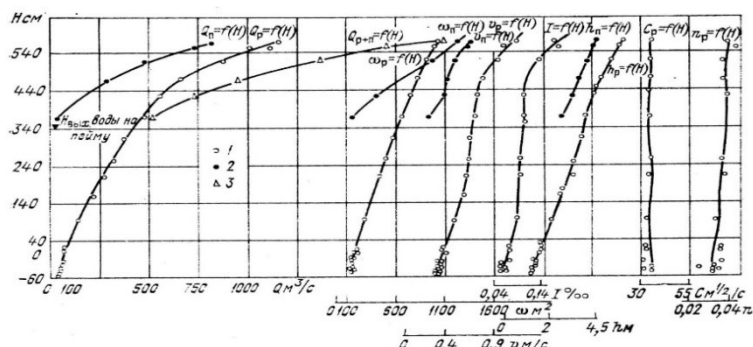


Рис 1. Зависимости расходов воды, площади живого сечения, средней скорости, уклона, средней глубины, коэффициентов Шези и шероховатости от уровня воды. Р.Десна –с.Разлеты.

При пересечении динамических осей руслового и пойменного потоков (третий тип взаимодействия по [6]) расходы воды в русле могут даже уменьшаться с ростом уровней воды

При двусторонней пойме, когда наблюдается пересечение транзитного пойменного и руслового потоков характер кривых зависимостей гидравлических элементов потока с ростом уровня воды может носить весьма сложный характер.

Анализ морфологического строения долины реки позволяет судить о возможных отклонениях уклонов свободной поверхности от среднего уклона дна долины и от измеренного в полевых условиях. При этом становится очевидной несостоятельность применения расчетного математического аппарата, основанного на уравнениях равномерного движения. Даже уравнения Сен-Венана в одномерной идеализации при гидравлических расчетах участка реки дают более адекватные результаты. Такой подход позволяет учитывать наличие на участке лимитирующих створов с наименьшей пропускной способностью, сужений и расширений бортов долины и оказывающих существенное влияние на ход уровней воды в расчетном створе. Все это требует существенного увеличения объема исходной информации. Если для долины реки развитие спутниковых технологий позволяет получать цифровую модель рельефа практически любого участка земной поверхности с достаточной для расчетов точностью, то сведения о глубинах в русле можно получить только из лоцманских карт. На неизученных реках рекомендуется при планировании гидрометеорологических изысканий расширять участки промеров, учитывая особенности морфологии русла и долины, а также характер руслового процесса.

При построении кривых $Q=f(H)$ никак не учитывается возможное их изменение во времени. Такое изменение может быть связано со смещением русловых мезоформ к расчетному створу. В работах В.М. Католикова [7 и др.] показано, насколько может быть велико влияние на пропускную способность русла русловых мезоформ. Парадоксально – смещение мезоформ учитывается при построении предельного профиля размыва и прогнозе плановых и высотных деформаций русла и совершенно не учитывается при процедуре построения кривых $Q=f(H)$, поскольку эти построения ведутся для поперечного профиля, полученного на момент изысканий [8].

Как показывают поверочные расчеты, при движении русловых мезоформ характер кривых $Q=f(H)$ может существенно изменяться. На рисунке 2 показаны совмещенные профили участка р.Северная Двина в районе Кобыльниковского переката.

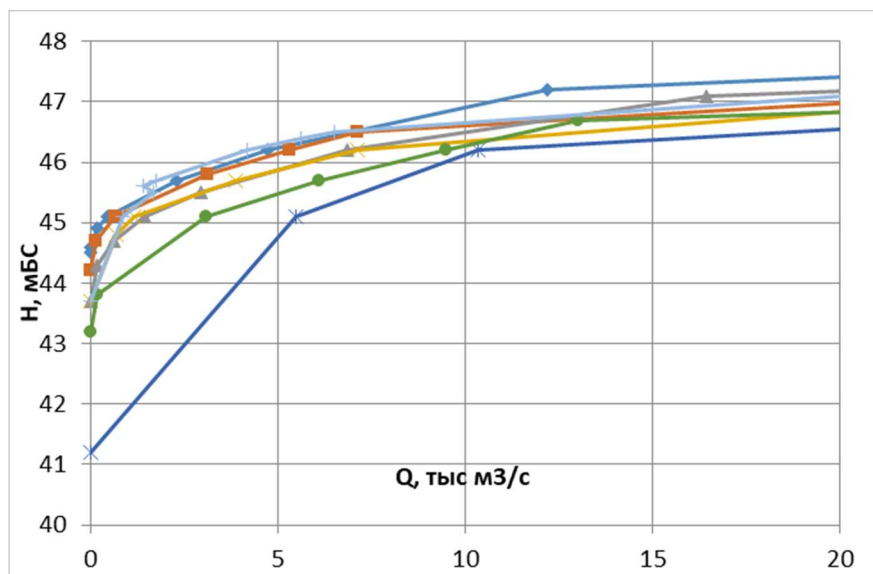


Рис.2. Семейство кривых $Q=f(H)$ для семейства поперечных профилей на участке р.Северная Двина.

Нетрудно рассчитать скорость перемещения мезоформ, сравнивая съемки различных лет и определить длину участка реки с которого через расчетный створ за время эксплуатации ГТС пройдут имеющиеся там в настоящее время мезоформы. Построив кривые $Q=f(H)$ для каждого профиля можно получить семейство кривых. Верхняя огибающая этого семейства будет соответствовать наихудшей пропускной способности русла, а нижняя – наилучшей. Аналогичным образом для прогноза русловых деформаций определяется предельный профиль размыва. При гидравлических расчетах следует принимать во внимание не только статистические характеристики стока, но и учитывать динамику русловых мезоформ, а также особенности морфологического строения участка реки.

Литература

1. Гордилов А. В., Россомахин М. В. Поперечные уклоны водной поверхности затопленной поймы (на примере р. Иртыша). // Труды ГГИ, 1961, вып. 88, с. 109—124.
2. Каменсков Ю.И. Учет пойменных процессов меандрирующих рек при выявлении мелиоративного фонда.—Автореф. дисс. на соискание ученой, степени канд. геогр. наук. —Л., 1979.— 19 с.
3. Великанов М.А. Гидрология суши.—Л.: Гидрометеиздат, 1958.-530 с.
4. Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды. // Труды ГГИ, 1965, вып. 128, с. 3—96.
5. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм.—Л.: Гидрометеиздат, 1984.—280 с.
6. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков.—СПб.: Издательство РГГМУ, 2016.—342с.
7. Католиков В.М., Католикова Н.И. Влияние динамики средних русловых форм на пропускную способность многорукавного русла Амура.// Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений водных путей. Т.1: сб. материалов конференции/ под ред. Г.Л. Гладкова и К.П. Моргунова.-СПб.: изд-во ГУМРФ им адм. С.О. Макарова, 2017.-364с.

8. Методы расчетов максимальных расходов воды руслопойменных потоков в условиях изменения климата. Барышников Н.Б., Исаев Д.И., Сакович В.М. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29. № 1. С. 90-96.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ВЕБ-СЕРВИС АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О КЛИМАТЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Э.Э. Казаков, С.А. Журавлёв, Л.С. Курочкина, Г.В. Айзель

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

GEOINFORMATION WEB SERVICE FOR ANALYSIS AND VISUALIZATION OF DATA ON CLIMATE AND HYDROLOGICAL REGIME OF THE NORTH-WEST OF RUSSIA

E.E. Kazakov, S.A. Zhuravlev, L.S. Kurochkina, G.V. Ayzel

State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

В работе представлен новый публичный геоинформационный веб-сервис, предназначенный для анализа и визуализации гидрологической и климатической информации: данных наблюдений на гидропостах и метеостанциях, наборов сеточных данных. Представляются технологии создания и содержание веб-сервиса.

New public geoinformation web service designed for the analysis and visualization of hydrological and climatic information is presented, including observation data at hydro-posts and weather stations, grid data sets. Technologies of creation and content of web service are presented.

Изменения климата (включая гидрологический режим) сегодня это наиболее обсуждаемая географическая проблематика на всех уровнях - от массовых медиа и чиновников до профессиональных научных сообществ. В условиях низкой осведомленности происходят массовые спекуляции и манипуляции общественным мнением, которые могут обуславливать управленческие решения в области политики и финансирования определенных направлений научных исследований [1]. Предоставление удобного общественного доступа к источникам надежной научной информации о динамике климатических условий - один из инструментов повышения грамотности населения. В качестве такого инструмента разрабатывается публичный геоинформационный веб-сервис о климате и гидрологическом режиме северо-запада России.

На данном этапе геопортал включает в себя три типа данных: наблюдения на станциях (гидропостах и метеорологических станциях), площадные объекты для обобщения данных (водосборные бассейны, пользовательские объекты), сеточные наборы данных (климатические и гидрологические параметры за длительные временные периоды, представленные в виде регулярных пространственных сеток). Наблюдения на станциях включают 186 гидропостов и 121 метеостанцию (рис. 1). Пользователю доступны инструменты запросов наблюдений на любой из станций за произвольный промежуток времени, построение графиков по этим запросам и экспорт результатов в файл (рис. 2).

Сеточные наборы данных описывают ежедневные минимальные, средние и максимальные температуры воздуха за период с 1950 по 2017 годы, а также суммы осадков за этот же период. Также был создан набор данных о ежедневном стоке воды за период с 1979 по 2016 годы на основе данных MSWEP [2] и ERA Interim [3] с использованием модели стока GR4J [4]. Пространственное разрешение сеточных наборов данных - 0.25 градуса (рис 3). Для сеточных данных доступны разнообразные инструменты, такие как интерактивный расчёт трендов за произвольный диапазон дат (рис. 4), расчёт статистических показателей и трендов по произвольной геометрии (например, по границам водосборного бассейна), срез значений для отдельной ячейки в двух вариациях - в диапазоне дат, и за конкретный день каждого года (например, чтобы посмотреть, какой была средняя температура воздуха каждый год 18 апреля). Для наглядности сеточные наборы данных могут быть интерактивно визуализированы на карте, в том числе с осреднением за месячный период.

Площадные объекты представлены водосборными бассейнами всех включенных в портал гидрологических постов. Также присутствует инструмент импорта площадных объектов из файлов KML, GPX, GeoJSON, и возможность рисования площадных объектов по карте в интерактивном режиме.

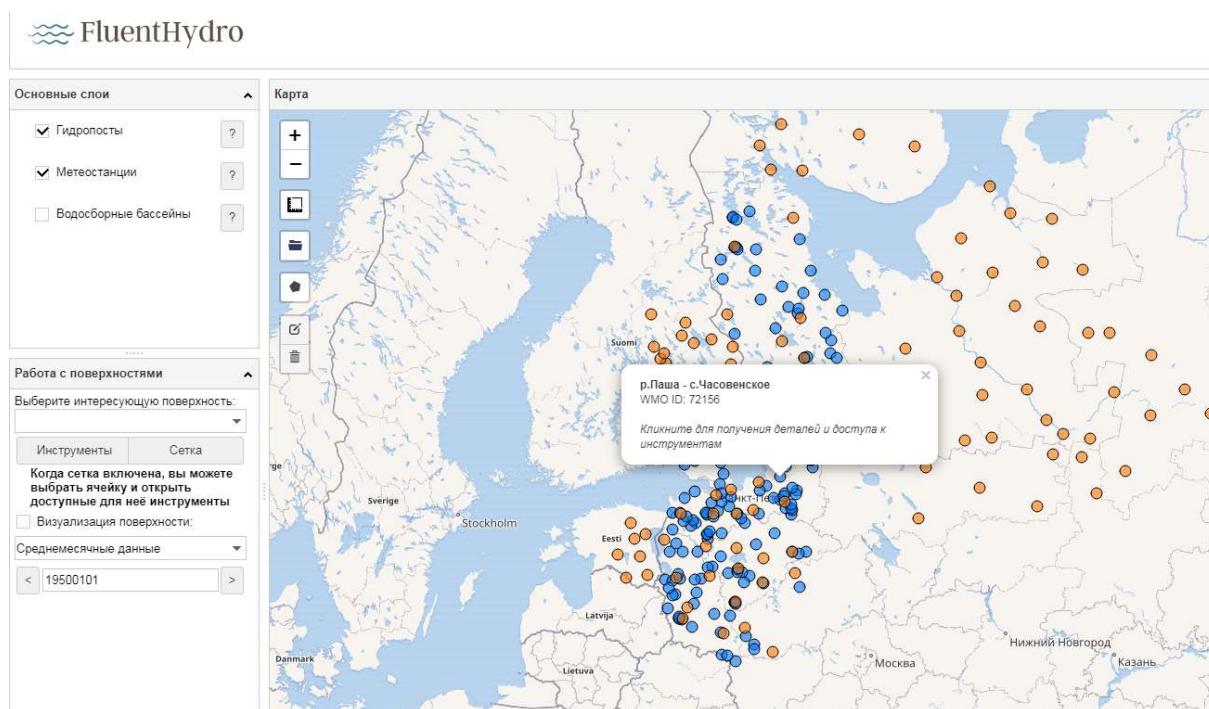


Рис. 1. Слои гидропостов и метеостанций на интерактивной карте

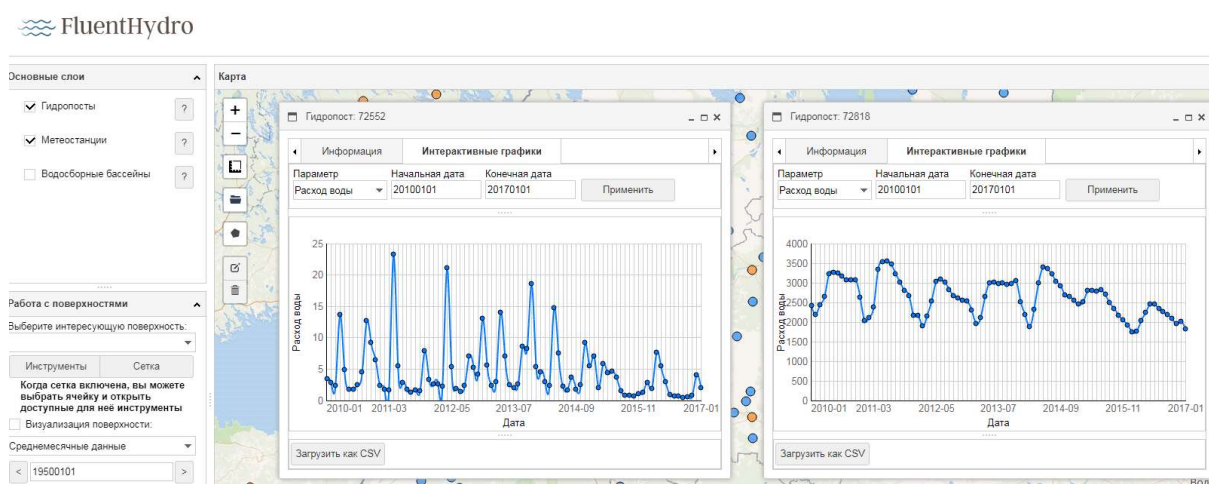


Рис. 2. Интерактивные графики расходов воды на гидропостах р.Коваши - д.Лендовщина и р.Нева - д.Новосаратовка за период с 1 января 2010 года по 1 января 2017 года

Технически веб-сервис представлен двумя главными компонентами - серверным приложением, осуществляющим управление всеми данными и предоставляющим HTTP-интерфейс для доступа к ним, и веб-приложением, которое отвечает за отображение данных и пользовательский интерфейс. Серверное приложение построено на следующем технологическом стеке: система управления базами данных PostgreSQL с расширением для работы с пространственными данными PostGIS, фреймворк Flask для языка Python, библиотеки NumPy, SciPy, GDAL/OGR для управления пространственными данными и статистических расчётов. Все компоненты являются программами с открытым исходным кодом.

Все вычисления (статистики, тренды, визуализации сеточных наборов данных) происходят "на лету", то есть пользователь, сформулировав запрос, получает ответ в течение максимум нескольких секунд, при этом не используется кеширование. Во многом это возможно благодаря очень быстрой работе матричной библиотеки NumPy - все сеточные наборы данных хранятся на сервере в виде файловых матриц NumPy, при запросе они открываются в режиме быстрого чтения, из них извлекается нужный срез и необходимые расчёты производятся средствами

самого же NumPy, либо библиотеки SciPy. Для иллюстрации быстродействия, тренд за 60 лет по всей территории исследования (рис. 4) (матрица размером 60x120x52) на низкоуровневом виртуальном сервере (2 ГБ ОЗУ, 1 ядро ЦП) в одном потоке рассчитывается за 0.5 секунды. С точки зрения пользовательского опыта это представляется достаточно приемлемой задержкой, но позволяет не хранить на сервере огромные массивы кешированной информации и выполнять запросы на произвольные диапазоны дат и параметры, а не строго определенные.

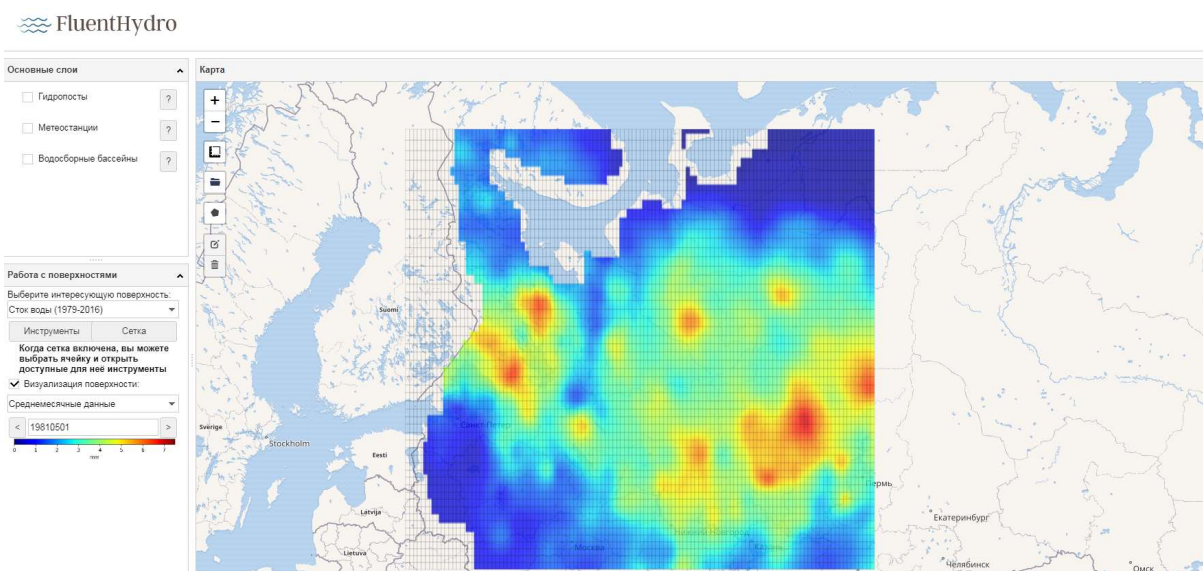


Рис. 3. Визуализация сеточного набора данных по водному стоку за май 1981 года.

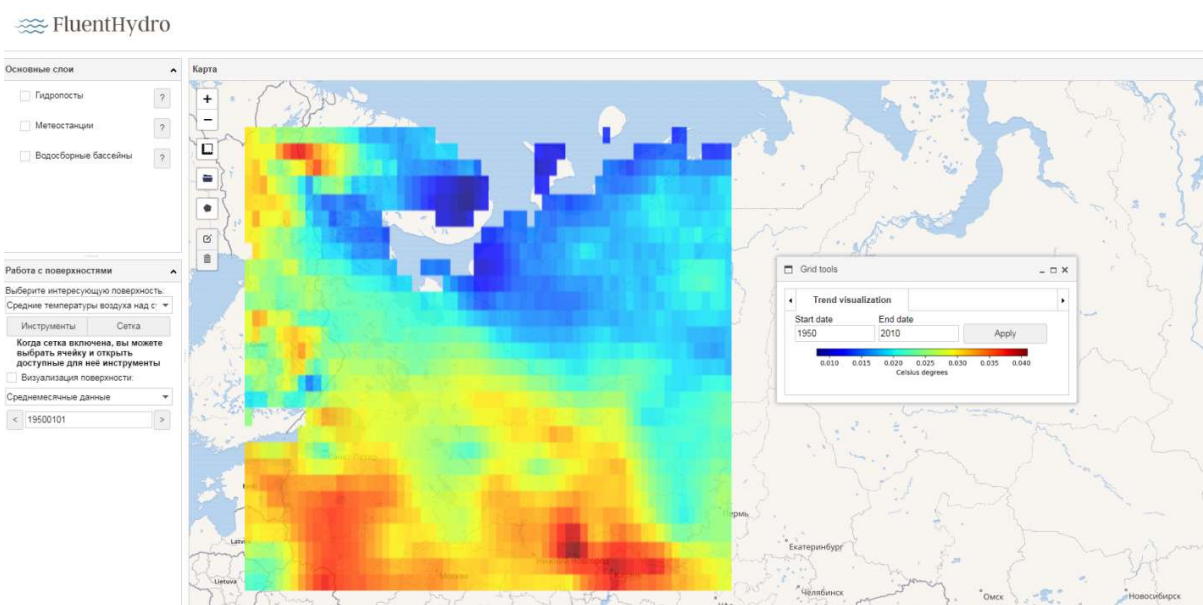


Рис. 4. Карта тренда изменения средней температуры воздуха за период с 1950 по 2010 годы.

Находящийся в разработке тестовый интерфейс геопортала доступен по ссылке <http://185.204.0.167/portal/map.html>

Благодарности. Работа выполняется при поддержке гранта РГО-РФФИ 17-05-41118 РГО_a.

Литература

1. Hansen A. Environment, media and communication. – Routledge, 2018, 262 p.
2. Beck H. E. et al. MSWEP: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data // Hydrology and Earth System Sciences. – 2017. – Т. 21. – №. 1. – p. 589-615.
3. Dee D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the royal meteorological society. – 2011. – Т. 137. – №. 656. – p. 553-597.
4. Perrin C., Michel C., Andréassian V. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation // Journal of hydrology. – 2003. – Т. 279. – №. 1-4. – p. 275-289

ПРОЯВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ

Калавиччи К.А.¹, Башмачников И.Л.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Научный фонд Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Фонд "Нансен-центр"), Санкт-Петербург, Россия

MANIFESTATION OF POSITIVE FEEDBACK MECHANISM IN THE BARENTS SEA ACCORDING TO REANALYSIS

Kalavichchi K.A.¹, Bashmachnikov I.L.^{1,2}

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Scientific Foundation «Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre», Saint-Petersburg, Russian Federation

Выявлена возможность функционирования механизма положительной обратной связи в системе океан-атмосфера в Баренцевом море.

The study showed the possibility of functioning of the positive feedback mechanism in the ocean-atmosphere system in the Barents sea.

Введение

В последние десятилетия отмечается максимальное для арктического региона уменьшение площади ледяного покрова в Баренцевом море [1]. Некоторые авторы считают данное сокращение одним из важных факторов «Арктического усиления» [1,2]. Механизм положительной обратной связи между взаимодействием океана, атмосферы и площади ледяного покрова в Баренцевом море, описанный по данным модельных экспериментов [3], приводит к локальному усилению притока теплых атлантических вод через западную границу моря и последующему отступлению кромки льда, что оказывает существенное влияние на климат Арктического региона. В данной работе исследуется механизм положительной обратной связи в Баренцевом море по данным реанализов за период 1993-2014 гг.

Материалы и методы

Были использованы данные по вертикальным (явным и скрытым) потокам тепла из базы данных OAFlux (Objectively Analyzed air-sea Heat Fluxes), для получения которых используются спутниковые данные и данные атмосферных реанализов (NCEP1, NCEP2, ERA40). Данные предоставляются с разрешением 1 градус и дискретностью 1 месяц.

Для расчета атмосферных потоков тепла через разрезы на границах Баренцева моря были использованы данные по температуре воздуха и скорости ветра из базы данных ERA-Interim (<http://apps.ecmwf.int/datasets>) с пространственным разрешением 0,75 градуса и дискретностью 6 часов. Расчет проводился по формуле: $Q_A = t_B * v_B * \rho_B * C_{pB} * dz * dx$, где t_B – температура воздуха (°K), v_B – скорость ветра (м с⁻¹); $\rho_B = \frac{p_d}{R_d * t_B} + \frac{p_v}{R_v * t_B}$ – плотность воздуха (кг м⁻³); $C_{pB} = 1005$ Дж кг⁻¹ °K⁻¹ – удельная теплоемкость воздуха; dz – высота ячейки (столба воздуха, м); dx – горизонтальный масштаб ячейки (разреза, м), p_d, p_v – парциальные давления, R_d, R_v – удельные газовые постоянные сухого воздуха и водяного пара, соответственно.

Океанический поток тепла рассчитывался с использованием данных по температуре воды и скорости течения базы данных ARMOR-3D по формуле: $Q_O = (t_o - t_6) * v_T * \rho * C_p * dz * dx$, где t_o – температура воды (°C), $t_6 = -1,8$ °C – «базовая температура» (принята температура замерзания морской воды), v_T – скорость течения (м с⁻¹), $\rho = 1030$ кг м⁻³ – плотность воды, $C_p = 4183$ Дж кг⁻¹ °C⁻¹ – удельная теплоемкость воды.

Также из базы данных ERA-Interim были использованы данные по приземному атмосферному давлению и площади ледяного покрова.

Результаты

Были рассчитаны океанические потоки тепла на трех разрезах в разных районах распространения теплых атлантических вод из Северной Атлантики в Арктику, на входе в Баренцево море (разрез №1: 70°с.ш., 20°в.д. - 75°с.ш., 20°в.д.), в южной части Норвежского моря (разрез №2: 65°с.ш., 0°в.д. - 65°с.ш., 10°в.д., Норвежское течение) и в северо-восточной части Гренландского моря (разрез №3: 78°с.ш., 5°в.д. - 78°с.ш., 12°в.д., Западно-Шпицбергенское течение) (Рис. 1а,б).

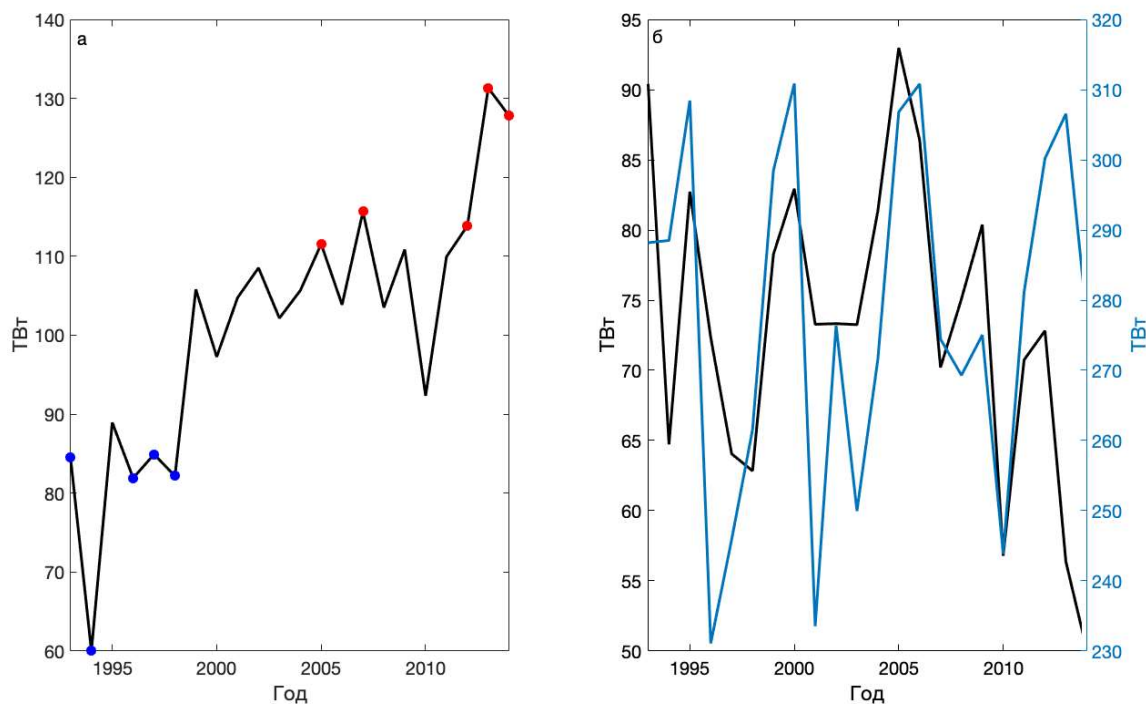


Рис. 1 График временного хода (при среднегодовом осреднении) океанического потока тепла: (а) разрез 1 на входе в Баренцево море, (б) разрезы в южной части Норвежского моря (черным цветом) и в северо-восточной части Гренландского моря (синим цветом). На графике (а) выделены годы с максимальными (красные точки) и минимальными (синие точки) значениями океанического потока тепла в Баренцево море.

На входе в Баренцево море среднее значения потока за исследуемый период составило 102 ТВт, а усиление вдоль линейного тренда за 22 года – 45 ТВт (42% от среднего значения). Аналогичные характеристики в Норвежском море – 268 ТВт и 11 ТВт (4%). Полученный результат согласуется с теорией механизма положительной обратной связи в Баренцевом море, вызывающим локальное усиление океанического потока тепла через западную границу моря. В восточной части Гренландского моря наблюдается отрицательный линейный тренд, что может указывать на перераспределение атлантических вод в данном регионе.

Для дальнейшего анализа разрез №1 был разделен на три сегмента, которые соответствуют среднему положению трех основных течений – Нордкапскому, Мурманскому и Возвратному. Была рассчитана межгодовая изменчивость меридионального градиента уровня поверхности моря и приращение скоростей. Положительный линейный тренд был обнаружен только для Нордкапского течения. Для Мурманского и Возвратного течений за исследуемый период характерно уменьшение скоростей баротропной составляющей. Кроме того, в южной части Возвратного течения наблюдается положительное приращение скорости течения, что связано с изменением направления потока с западного на восточное в конце исследуемого периода (Рис.

2а). Также была показана связь изменения скоростей течения на входе в Баренцево моря с изменением зональной составляющей дивергенции Экмановских потоков (Рис. 2б).

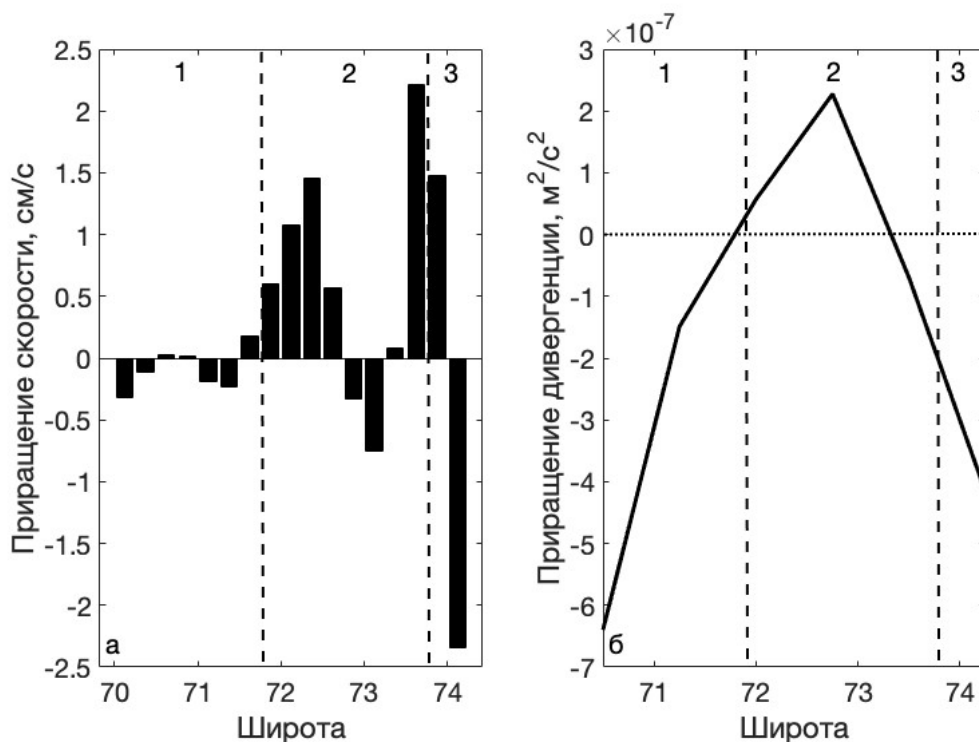


Рис.2 (а) Приращение (а) модуля скорости течения (см с^{-1}) и (б) зональной составляющей дивергенции Экмановских потоков ($\text{м}^2 \text{с}^{-2}$) вдоль линейного тренда за период с 1993-2014г. на входе в Баренцево море. Пунктирными линиями обозначены границы основных течений – (1) Мурманского, (2) Нордкапского и (3) Возвратного.

Были проанализированы средние значения в зимний период вертикальных суммарных потоков тепла и приземного атмосферного давления, а также их изменения вдоль линейного тренда за период 1993-2014 гг. для всего района Баренцева моря. Также была проведена оценка изменчивости характера атмосферной циркуляции и изменчивость конвергенции атмосферного переноса тепла для исследуемого региона.

Для анализа влияния изменчивости притока океанического тепла на входе в Баренцево море на вариативность различных климатических характеристик были выбраны пять лет с максимальными и пять лет с минимальными значениями океанического потока тепла (Рис. 1а). Были рассчитаны аномалии, относительно средних за период 1993-2014 гг, суммарных вертикальных потоков тепла, приземного атмосферного давления и конвергенции атмосферного потока тепла.

Полученные результаты показывают, что, в зимнее время года, при усилении океанического потока тепла на входе в Баренцево море, суммарные вертикальные потоки тепла в юго-западной части море уменьшаются, а северной части моря и к западу от Новой Земли увеличиваются (Рис. 3а). В среднегодовых значениях усиление теплоотдачи из океана в атмосферу происходит из-за отступления кромки льда и увеличения площади моря, свободной ото льда. Наблюдается увеличения приземного атмосферного давления над всей акваторией, с максимумом в юго-восточной части (Рис. 3в).

В года минимального притока тепла на через западную границу моря наблюдаются положительные аномалии суммарных вертикальных потоков тепла в юго-западной части моря и отрицательные аномалии в северной части и к западу от Новой Земли (Рис. 3б). В распределении аномалий приземного атмосферного давления выделяется ослабление Сибирского максимума и понижение давления практически над всей акваторией Баренцева моря (Рис. 3г).

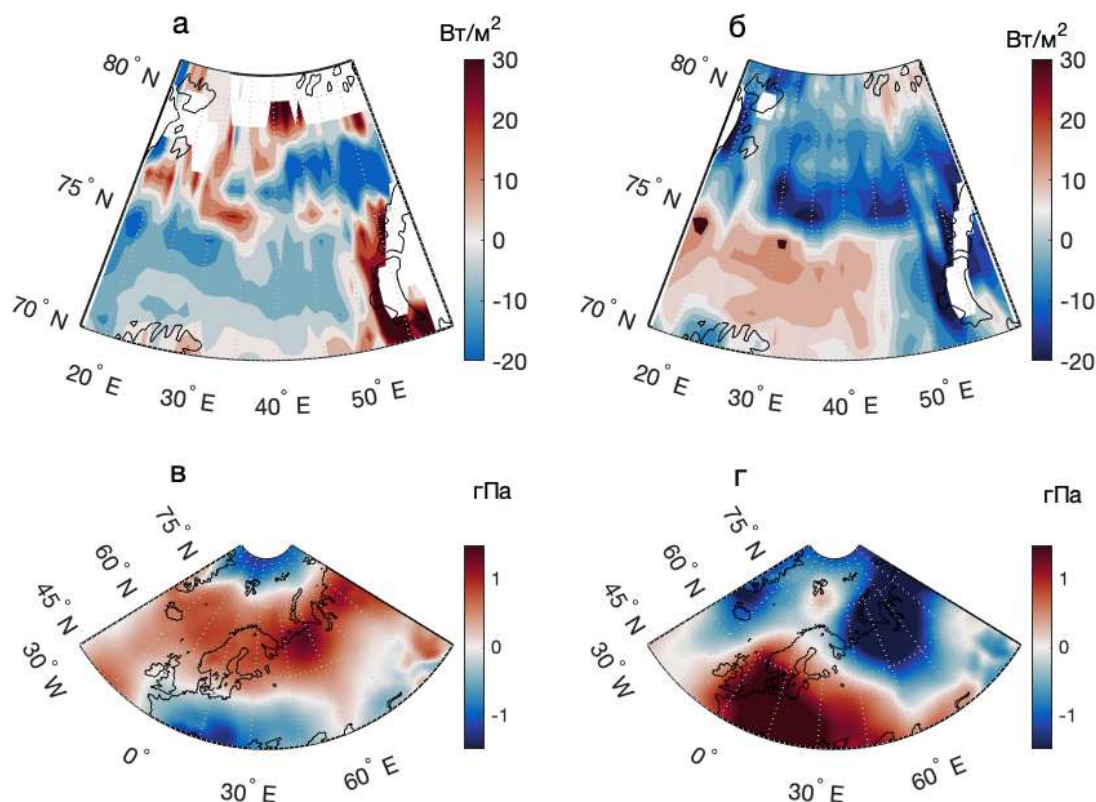


Рис. 3 Аномалии вертикальных потоков тепла (а,б) и приземного атмосферного давления (в,г), относительно средних значений за период 1993-2014 гг., в года с максимальными (а,в) и минимальными (б,г) значениями океанического потока тепла на входе в Баренцево море при зимнем осреднении.

При максимальном значении океанического потока тепла в Баренцево море, одновременно усиливается меридиональный перенос тепла атмосферой с юга и ослабевает с севера. В года минимального океанического потока, перенос тепла через южную границу моря сильно ослабевает, а через северную границу усиливается. При этом характерная для данного региона циклоническая циркуляция сменяется доминирующими северо-восточными ветрами. При этом, при максимальном притоке океанического тепла в море, конвергенция атмосферного потока тепла увеличивается только в приводном слое (1000-975 гПа), тогда как выше (975-100 гПа) конвергенция тепла уменьшается.

Таким образом, в данной работе была показана возможность функционирования механизма положительной обратной связи в Баренцевом море не только по данным модельным исследований, по которым данный механизм описывался ранее, но и по данным реанализов. Показана связь изменчивости переноса океанического тепла и характера циркуляции атмосферы над морем.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151)

Литература

1. Screen J. A., Simmonds I. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification //Nature. – 2010. – Т. 464. – №. 7293. – С. 1334.
2. Polyakov I. V. et al. Arctic Ocean warming contributes to reduced polar ice cap //Journal of Physical Oceanography. – 2010. – Т. 40. – №. 12. – С. 2743-2756.
3. Bengtsson L., Semenov V.A., Johannessen O.M. The early-twentieth-century warming in the Arctic – A possible mechanism //Journal of Climate. – 2004. – Т. 17. – №. 20. – С. 4045-4057.

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.Г. Калинин, Е.В. Механошина, К.А. Богданова

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, г. Пермь

SPATIAL INHOMOGENEITY OF SPRING FLOOD RUNOFF FORMATION ON THE RIVERS OF THE VOTKINSK RESERVOIR CATCHMENT

V.G. Kalinin, E.V. Mekhanoshina, K.A. Bogdanova

Perm State University, Russia, Perm

Статья посвящена изучению особенностей формирования стока весеннего половодья на территории рек водосбора Воткинского водохранилища. Авторами выполнена оценка влияния территориальных условий формирования речного стока, на характер зависимостей слоя стока весеннего половодья от основных факторов: максимального запаса воды в снеге перед началом снеготаяния, сумм осадков за период весеннего половодья, величины осеннего увлажнения и сумм положительных температур воздуха. На основе полученных зависимостей выполнено гидрологическое районирование водосбора Воткинского водохранилища. Выявлено, что при исследовании зависимостей по однородным таксономическим единицам теснота связи значительно увеличивается.

The article is devoted to study of the features of spring flood formation on the rivers of the Votkinsk reservoir catchment. The authors assessed the influence of the territorial conditions for the river runoff formation, on the nature of the dependences of the spring flood runoff layer on the main factors: the maximum water supply in the snow before snowmelt, the amount of precipitation during the spring flood, the amount of autumn humidification and the sum of positive air temperatures. Based on the obtained dependences, the hydrological zoning of the Votkinsk reservoir catchment has been performed. It was revealed that in the study of dependencies for homogeneous taxonomic units, the tightness of the relationship increases significantly.

Изучение особенностей формирования стока весеннего половодья является наиболее актуальным вопросом в научной и практической гидрологии. В связи с возрастанием случаев экстремальных гидрологических ситуаций в речных бассейнах страны, возникает крайняя необходимость в изучении стокоформирующих факторов, оказывающих влияние на формирование и изменчивость весеннего половодья.

Территория водосбора Воткинского водохранилища расположена в северо-восточной части Восточно-Европейской равнины. Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в западной части Уральских гор. На реках исследуемой территории наблюдается четко выраженное весеннее половодье, летне-осенняя межень с дождевыми паводками и длительная устойчивая зимняя межень. Величина стока за выделенные фазы водного режима на реках водосбора неодинакова, что обусловлено неравномерным распределением по территории атмосферных осадков [1].

Ранее авторами [2] выполнен анализ зависимостей слоя стока весеннего половодья от основных факторов: максимального запаса воды в снеге перед началом снеготаяния S_{max} , сумм осадков за период весеннего половодья $\sum X$, величины осеннего увлажнения U (принималась величина суммы осадков за период от начала осенних паводков до устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C к отрицательным значениям) и сумм положительных температур воздуха $\sum t^+$ для рек водосбора Воткинского водохранилища за многоводные годы. Выявлено, что главными факторами формирования стока весеннего половодья являются максимальный запас воды в снеге перед началом снеготаяния и осадки в

период весеннего половодья. Величина осеннего увлажнения и сумма среднесуточных положительных температур воздуха от даты перехода температуры воздуха через 0°C к положительным значениям до даты начала интенсивного подъема уровня воды $\sum t^+$ оказывают косвенное влияние.

В связи с тем, что эти факторы независимы друг от друга, а их влияние на величину стока весеннего половодья прямо пропорционально, то совместный учет возможен в виде произведения этих показателей. Анализ возможности комплексного учета всех исследуемых факторов на формирование стока весеннего половодья в виде $Y = f(S_{max} \cdot \sum X \cdot U \cdot \sum t^+)$ показал, что это не дает существенного увеличения тесноты связи. Наиболее высокие коэффициенты корреляции получены у зависимостей вида $Y = f(S_{max} \cdot \sum X)$ [2].

Целью настоящего исследования явилась оценка влияния территориальных условий формирования речного стока на характер выявленных зависимостей.

А.С. Шкляевым [3] предложена схема гидрологического районирования территории водосбора Воткинского водохранилища. Таксономические единицы с однородными условиями формирования речного стока и режима рек были выделены на основе различных признаков в зависимости от их значимости: страны – по источнику влаги, режиму атмосферных осадков и интенсивности увлажнения по В.А. Троицкому [4]; зоны по характеру водного баланса; провинции занимают соответствующую зону в пределах одной страны; районы выделяются по особенностям местных условий влияющих на сток (озерность, заболоченность, густота речной сети, закарстованность и т.д.).

Рассматриваемая территория по схеме гидрологического районирования относится к двум странам: Уральской горной (II_{ЕС}), занимающей восточные горные районы (одна провинция, один округ – Западно-Уральский и три района) и Западной Атлантической (II_А) охватывающей остальную территорию (две зоны (II_{АС}, II_{АП}), две провинции, семь округов (1–7) и пятнадцать районов) (рис. 1а). При этом критерием однородности гидрологического режима рек являются округа [3].

Для оценки влияния территориальных условий формирования речного стока на характер выявленных зависимостей слоя стока весеннего половодья от основных факторов последние были сгруппированы по приведенным в гидрологическом районировании округам.

Однако при такой детальности в большинство округов попадает очень мало (2-4) точек центров тяжести водосборов гидрологических постов. Анализ полученных зависимостей показал, что их можно объединить в пределах более крупных таксономических единиц с однородными условиями формирования речного стока (рис. 1б).

В результате выделены две страны, три округа и четыре района. Уральская горная страна (II_{ЕС}) охватывает один округ и два района:

1.1 Северный горный район – верхнее течение р. Колвы и верхнее и среднее течение рр. Вишеры, Язьвы, Яйвы, Косьвы.

1.2 Южный горный район – верхнее и среднее течение р. Чусовой и ее правые притоки рр. Усьва, Вижай, Вильва, Серебрянка.

Западно-Атлантическая страна (II_А) разделена на два крупных округа:

2. Северо-равнинный округ, в который входит два района с неустойчивыми границами:

2.1 Северо-западный район – охватывает бассейн р. Камы (от с. Бондюж до устья р. Косьвы) и бассейн р. Обвы.

2.2 Центральный район – р. Колва (среднее и нижнее течение), реки: Пильва, Уролка, Кондас и нижнее течение рек Вишеры, Язьвы, Косьвы.

3. Юго-западный округ – вытянут вдоль р. Камы, которая зарегулирована здесь водами Воткинского водохранилища (реки: Очер, Гайва, Мулянка, Бабка, Тулва, Ирень, Иргина), а так же р. Сылва с ее притоками.

При районировании территории водосбора Воткинского водохранилища (рис. 16) по стокоформирующим факторам за многоводные годы выявлено, что в сравнении с районированием А.С. Шкляева [3] изменились границы таксономических единиц Западно-Атлантической страны. В северной части территория делится на два крупных района охватывая Верхнекамский (1) и Обвинский (5) округа; Колвинский (2), Камско-Вишерский (3) округа и бассейн р. Иньвы. В южной части объединяются Средне-Камский (6), Нижне-Сылвинский (7), Нижне-Чусовской (4) округа.

Выполненные исследования показали, что рассмотрение выявленных зависимостей по таксономическим единицам с однородными условиями формирования речного стока значительно увеличивает тесноту связи как у зависимостей стока весеннего половодья от главных ($S_{max}, \Sigma x$) факторов, так и у зависимостей от косвенных ($\Sigma t+, U$) факторов в отдельности (таблица 1). При этом зависимости вида $Y=f(S_{max}, \Sigma x)$ в большинстве случаев являются более тесными по сравнению с зависимостями вида $Y=f(K)$.

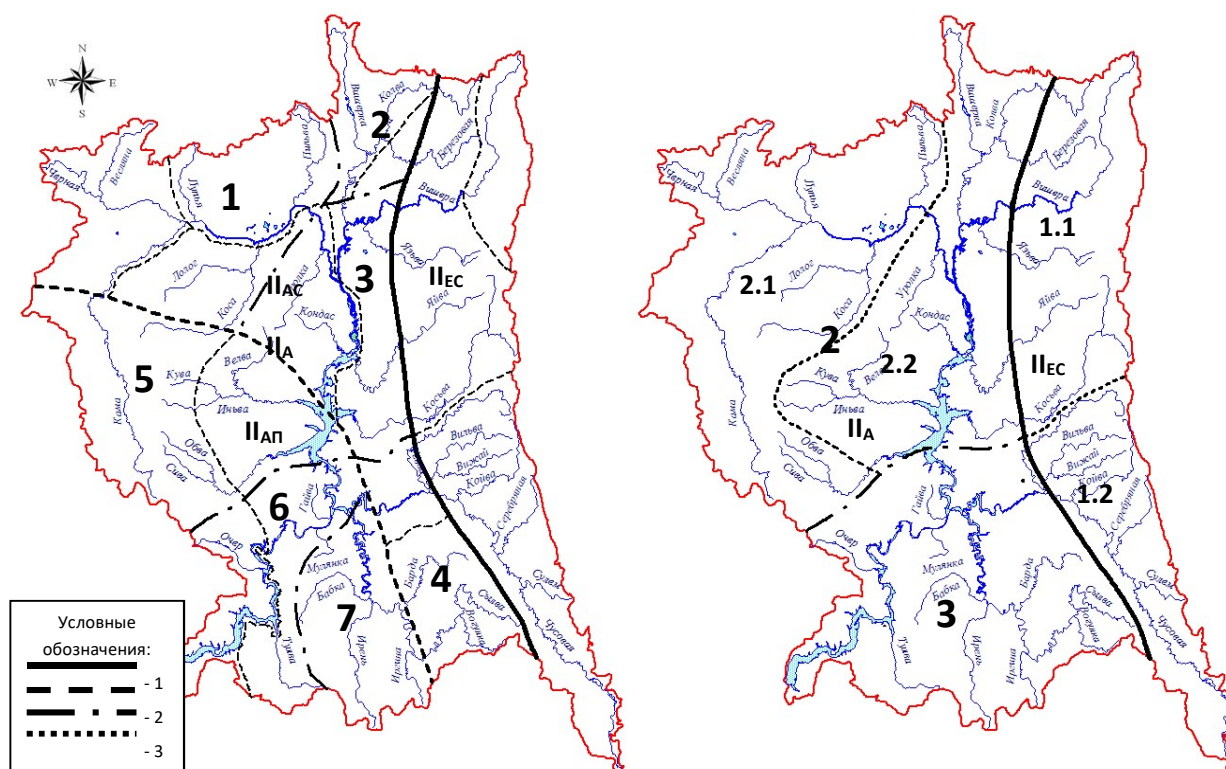


Рис. 1. Схема гидрологического районирования: а – по А.С. Шкляеву [2]; б – на основе зависимостей слоя стока весеннего половодья от основных факторов (1 – границы стран, 2 – границы зон, 3 – границы округов, 4 – границы районов, 5 – страны, 6 – зоны, 7 – округа.)

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции по зависимостям в пределах выделенных таксонов за 1978 г.

Название страны/округа/района	Фактор	S_{max}	$\sum t_+$	$\sum x$	U	$S_{max} \cdot \sum x$	$K = S_{max} \cdot \sum x \cdot U \cdot \sum t_+$
Уральская горная страна		0.97	0.40	0.69	0.36	0.95	0.67
Северный горный район		0.90	0.22	0.48	0.40	0.75	0.13
Южный горный район		0.91	0.68	0.68	0.81	0.94	0.94
Западно-Атлантическая страна		0.70	0.80	0.73	0.72	0.75	0.84
Северо-равнинный округ		0.66	0.53	0.74	0.47	0.72	0.67
Северо-западный район		0.54	0.53	0.87	0.05	0.71	0.59
Центральный район		0.89	0.82	0.79	0.78	0.87	0.82
Юго-западный округ		0.87	0.94	0.93	0.95	0.96	0.95

Примечание: полужирным курсивом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Для проверки справедливости результатов, полученных на основе скорректированных границ гидрологического районирования по однородным условиям формирования стока, дополнительно было выполнено исследование маловодной группы лет (1954, 1960, 1967, 1973, 1975, 1976, 1977, 1982, 1988, 2010). Главными факторами формирования стока весеннего половодья в маловодные годы являются максимальные запас воды в снеге и осадки. Анализ пространственного распределения зависимостей слоя стока от основных факторов показал, что границы выделенных таксонов полностью совпадают, как для многоводных, так и для маловодных лет. Таким образом, используемый подход к оценке влияния территориальных условий формирования речного стока на характер выявленных зависимостей является справедливым.

Литература

- 1) Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама. Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 420 с.
- 2) Калинин В.Г., Механошина Е.В. О зависимостях стока весеннего половодья от основных факторов // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 30 мая – 2 июня 2019 г.): в 3 т. Т.1: Гидро- и геодинамические процессы; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – С. 129–134.
- 3) Краткий справочник для гидрологических расчетов на реках Западного Урала (Водосбор Воткинского водохранилища) / Перм. гос. ун-т им. А. М. Горького. Лаборатория водохоз. проблем. – Пермь, 1966. – 160 с.
- 4) Троицкий В.А. Гидрологическое районирование СССР. 1948.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ПРОМЕРЗАНИЯ БОЛОТ

И.Л. Калюжный¹

¹Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

EFFECT OF CLIMATIC FACTORS ON THE FORMING OF SWAMP TEMPERATURE REGIME AND FREEZING PROCESS.

V.I. Batuyev¹, I.L. Kalyuzhny¹,

¹State Hydrological Institute, St.-Petersburg, Russia

Рассматриваются изменения температурного режима болот под влиянием изменения климата за последний более чем тридцатилетний период. Показано, что на Севере и Северо-Западе температура торфяной залежи соответственно увеличилась на 0,8 и 0,6 °С. В этих регионах глубина промерзания болот уменьшилась на 45 и 29 % от первоначальной величины. Установлена роль глубины промерзания как фактора регулирующего зимний и весенний сток с болота. На Северо-Западе средние зимние расходы увеличились в 2,6 раза, а средний, из наибольших весенних расходов, уменьшился в 1,9 раза.

Swamp temperature regime changes under the effect of climate changes during the past period of more than 30 years duration are discussed. It is shown that temperature of peat deposits increased by 0.8 °C in the north of European Russia and by 0.6 °C in north-west of the territory. The depth of swamp freezing decreased in these regions by 45 % and 29 % from their initial values. It was established that depth of freezing is the factor affecting winter and spring runoff from a swamp. In the north-west of European Russia long-time average winter discharge was increased in 2.6 times, and long-time average maximum spring discharge decreased in 1.9 times.

В основу выполнения работ положены многолетние комплексные гидрометеорологические наблюдения на специализированной сети болотных станций Росгидромета. Период наблюдений определяется временным интервалом от послевоенных лет до 2018 г. Пункты наблюдений располагались в северном и северо-западном регионах РФ и приурочены к Прибеломорской провинции олиготрофных болот северной тайги (болото Иласское), провинции выпуклых болот Финляндии и Карельского перешейка (болото Ламмин-Суо), а также на болотных провинциях Кольского полуострова (болота Пулозерское, Ловозерское и другие).

Наблюдения за температурой торфяной залежи производились при помощи почвенно-вытяжных термометров, установленных на глубинах 0; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60 и 3,20 м. Пункты наблюдений за промерзанием располагались в господствующих микроландшафтах болот. Методом шурфования определяется верхняя и нижняя границы мерзлого слоя, а также содержание твердой фазы воды в промерзшем слое (в дальнейшем именуемой приведенным слоем). Во все годы применялись единые методы наблюдений, изложенные в соответствующих руководствах.

Контактной зоной теплового взаимодействия внешней среды является поверхность деятельного слоя болот. Между среднегодовыми температурами воздуха и залежи, от поверхности болота и до глубины 3,20 м, существует определенная взаимосвязь. Полученные уравнения и коэффициенты корреляции однозначно показывают, что влияние температуры внешней среды уменьшается от поверхности (коэффициент корреляции $R=0,75$) до глубины 3,20 м, где он равен 0,40. Теплопроводность торфа определяет интенсивность теплообмена в залежи.

Результаты наблюдений за более чем 50 лет позволяют рассмотреть пространственные и временные изменения характеристик теплового режима болот в условиях изменения климата. Их анализ показывает, что именно 1978 – 1980 гг. являются рубежом, с которого наблюдается рост температуры торфяной залежи и уменьшение глубины промерзания болот, обусловленный теплообменом деятельного слоя с приземным слоем атмосферы. За сравнимые отрезки времени (с 1969 по 2013 г.) среднегодовая температура воздуха на болоте Ламмин-Суо изменилась на 1,3 °С; на Иласском болоте – на 1,2 °С т.е. на равные величины.

Средние многолетние температуры на глубинах конкретного болота практически равны. На болоте Ламмин-Суо они в период стабилизации климата в среднем составляли 5,8 °С и

изменялись в пределах не больше 0,3 °С. В период изменения климата, с 1980 г. и до 2018 г., средняя температура по глубине залежи возросла до 6,1 – 6,2 °С и ее изменения так же не вышли за пределы 0,3 °С. Увеличение среднегодовых температур залежи по глубине составило 0,6 °С. За этот же период рост температуры на Иласском болоте несколько больший и равен 0,8 °С.

Динамика среднегодовых температур торфяной залежи на глубинах болот Ламмин-Суо и Иласское корректно описывается положительными линейными трендами. Коэффициенты корреляции (R) по глубинах на первом болоте изменяются в пределах от 0,621 до 0,772; на втором – от 0,237 (на глубине 0,20 м) до 0,877. Тренды значимы с 95% уровня надежности.

Увеличение среднегодовых температур обуславливает увеличение их амплитуды и глубины, на которой годовой ход температуры отсутствует. На болоте Ламмин-Суо в период стабилизации климата она уменьшалась от 14,5 °С на глубине 0,20 м до 1,2 °С на глубине 3,20 м. Уравнение изменения амплитуды (A) по глубине (H) торфяной залежи до 1977 г. описывалось уравнением

$$H = - 0,0017A^3 + 0,0579A^2 - 0,7438A + 3,945$$

При этом положение нулевой амплитуды на болоте соответствовало глубине 3,94 см. В период климатических изменений, с 1978 по 2013 г., изменение положения амплитуды по глубине залежи определяется выражением

$$H = - 0,0028A^3 + 0,0872A^2 - 0,9625A + 4,364$$

Отсюда, её положение сместилось на 0,42 м и установилось на глубине 4,36 м. Она достигла дна болота. В северном регионе положение этой амплитуды в первоначальный период было на глубине 3,79 м, сместилось на 0,14 м и достигло глубины 3,93 м. Таким образом, на рассматриваемых болотах прогрев торфяной залежи при климатических изменениях происходит во всей её толщ и выходит за её пределы.

Процесс промерзания болотных массивов есть результат сложного взаимодействия ряда внешних и внутренних факторов. Внешние факторы, к которым в первую очередь относится температура воздуха и снежный покров, являются определяющими в процессе промерзания болот. Внутренние факторы (влажность торфяной залежи и теплофизические свойства) определенным образом влияют на интенсивность промерзания залежи.

Установлено, что для всех типов болот температура воздуха на начальном периоде промерзания, когда мощность снежного покрова незначительна, является определяющим фактором. Интенсивность промерзания здесь наибольшая, 0,5 – 0,8 и больше см/сутки. При толщине снежного покрова 10 – 15 см интенсивность промерзания значительно снижается и при мощности снежного покрова до 25 – 30 см достигает 0,2 - 0,3 см/сутки. Подобная зависимости наблюдаются во всех типах болотных массивов.

Факторы, влияющие на глубину промерзания, растительный покров, степень увлажнения, микрорельеф, неравномерность залегания снежного покрова и другие, обуславливают и пространственную изменчивость глубин промерзания в пределах болотного массива. Пространственная изменчивость уменьшается от больших значений коэффициента вариации (0,3 - 0,4) при глубинах промерзания до 20 - 30 см, до величин менее 0,10 при глубинах промерзания свыше 55 ÷ 60 см. Путем полевых наблюдений на Пулозерском болоте установлено, что изменение коэффициента вариации C_v от глубины промерзания h (см) определяется выражением $C_v = 4252,7h^{-2,599}$ при $R = 0,83$.

Аналогичные зависимости получены и на других болотах с сезонным промерзанием.

Между приведенным слоем и глубиной промерзания существует тесная зависимость, обусловленная высоким содержанием капиллярной влаги в деятельном слое. Содержание этой влага формируют капиллярные силы в весьма пористой структуре очеса, и не позволяют накапливаться избыткам влаги при выпадении осадков выше равновесного содержания. Отсюда, теснота связи между этими характеристиками весьма высокая. Уравнения регрессии между глубиной промерзания и приведенным слоем получены для всех типов болот и ряда микроландшафтов. Их коэффициенты корреляции изменяются от 0,84 до 0,99.

В грядово-мочажинном комплексе Пулозерского болота, при глубине промерзания 80 см, приведенный слой составляет 78,9 см воды, а сухое вещество торфа в промерзшем слое гряды занимает 11,1%, в мочажине - 1,3% мерзлого слоя. На Иласском болоте, при глубине промерзания грядово-мочажинного комплекса 50 см, приведенный слой равен 38,9 см, а сухое

вещество торфа занимает не более 22,2 % от всего объема. Приведенный слой определяет общее количество всех видов влаги аккумулируемой в мерзлом слое.

Наибольшие глубины промерзания наблюдаются на болотах Кольского п-во, где они достигают 84-97 см. Средние многолетние значения изменяются от 48 до 68 см, а наименьшие значения не опускаются ниже 27 см. На бугристом Ловозерском болоте глубина промерзания топей составляет 82 – 87 см. Бугры промерзают на 63 см и их промерзающий слой смекается с вечной мерзлотой.

С начала наблюдений в центральной части болота Ламмин-Суо средняя многолетняя глубина промерзания равнялась 29 см. В период с 1981 по 2018 г. она уменьшилась до 16 см, т.е. на 45% от первоначальной величины. На Иласском болоте, средняя многолетняя величина промерзания начального периода была 38 см и при изменении климата уменьшилась на 29 %.

На болоте Ламмин-Суо, во временном ходе, начиная с 1981 г., отчетливо прослеживаются тренд уменьшения глубин промерзания. Тренд описывается уравнением

$$h = -0,227 \tau + 474,3 \text{ (см) при } R = 0,552,$$

где τ – номер календарного года, начиная с 1950. Аналогичный тренд, в этот же период наблюдается и на северном болоте Иласское с коэффициентом корреляции 0,378.

Уменьшение во временном ходе глубин промерзания предопределяет и уменьшение толщины приведенного слоя. Вся влага приведенного слоя исключается из процесса формирования зимнего стока на болотах. В центральной части болота Ламмин-Суо за период наблюдения влага, не участвующая в процессе формирования зимнего стока, уменьшилась от 224 мм до 41 мм при изменении предзимнего запаса влаги от 512 мм до 388 мм. На болотах севера и северо-запада наблюдаются устойчивые тренды уменьшения консервированной влаги в мерзлом слое. Как следствие возрастает количество влаги участвующей в формировании зимнего стока. Таким образом, глубина промерзания является фактором, разделяющим предзимние запасы влаги в деятельном слое на законсервированную в мерзлом слое и влагу, формирующую зимний сток. Численно, в каждый конкретный год, количество этой влаги равно разности между предзимними запасами влаги минус влага, находящаяся в мерзлом слое ($S_{\text{зим.}}$). За период наблюдений на болоте Ламмин-Суо количество этой влаги неуклонно возрастает. Её рост подчиняется зависимости

$$S_{\text{зим.}} = 0,800 \tau - 1231 \text{ (мм) при } R = 0,318.$$

Этому росту способствует также и некоторое увеличение предзимних запасов влаги ($S_{\text{общ.зим.}}$) обусловленное возросшей степенью обводненности болотных микроландшафтов предзимними осадками. Тренд описывается уравнением вида

$$S_{\text{общ.зим.}} = 0,3699 \tau - 259 \text{ (мм) при } R = 0,326.$$

Дана оценка временной изменчивости стокоформирующей влаги и аккумулированных масс воды в зимний период в мерзлом слое центральной части болота Ламмин-Суо и Иласское за два рассматриваемых периода. Предзимние влагозапасы на болоте Ламмин-Суо за период климатических изменений (1981-2018 г.) увеличились в среднем с 468 мм до 482 мм, всего на 14 мм (2,8%). Но зимняя стокоформирующая влага за этот период возросла с 334 мм до 376 мм, т.е. на 42 мм (12,6%). Аккумулированная влага в мерзлом слое в виде приведенного слоя, уменьшилась на 28 мм, что составляет 21 % от первоначальной величины (134 мм). Увеличение зимней стокоформирующей влаги на 21% при относительно небольшой глубине промерзания, полностью ликвидировало зимние бессточные периоды на болоте.

На северном, Иласском болоте, наблюдается устойчивый и интенсивный тренд уменьшения консервированной влаги (m) в мерзлом слое, обусловленный уменьшением глубины промерзания. Зависимость можно отобразить уравнением

$$m = -2,024 \tau + 4259 \text{ (мм)},$$

где τ – календарный год, начиная с 1956 г. Коэффициент корреляции уравнения - 0,408.

За последнее тридцатилетие на этом болоте наблюдается незначительное увеличение предзимних запасов влаги ($S_{\text{общ.зим.}}$). Этот тренд описывается уравнением вида

$$S_{\text{общ.зим.}} = 0,2911 \tau - 97,4 \text{ (мм)}$$

при $R = 0,124$. Отсюда, учитывая уменьшение величины приведенного слоя, возрастает количество влаги участвующей в формировании зимнего стока. Её рост также отображается аналогичным уравнением

$$S_{\text{зим.}} = 2,0758 \tau - 3880 \text{ (мм)}$$

при $R = 0,384$.

Сток с болотного массива в зимний период может наблюдаться только в том случае, если в деятельном слое формируется проточная зона. При отсутствии мерзлого слоя ее мощность определяется расстоянием от поверхности болота до горизонта торфяной залежи, в котором коэффициент фильтрации равен или близок к нулю. Установлено, что в северо-западных и северных районах зоны олиготрофных болот сток прекращается, когда уровень болотных вод на пониженных элементах микрорельефа, соответственно, достигает $-30 \div -32$ см и $-31 \div -36$ см.

В условиях промерзшей залежи ее верхняя граница ограничена нижней границей промерзшего слоя. Если нижняя граница промерзшей зоны опускается ниже слоя с коэффициентом фильтрации равным нулю, то стока наблюдаться не будет. Отрицательное значение величины проточной зоны показывает, насколько глубина промерзания превышает среднюю нижнюю границу соответствующую величине прекращения стока с болота.

С 1950 по 1980 г. на болоте Ламмин-Суо проточная зона отсутствовала в 17 случаях, что составляет 55 % от общего числа лет наблюдений. В 45 % случаев средняя толщина проточной зоны составляла 7 см, изменяясь при этом от 2 до 15 см. В последующие годы, с 1981 по 2018г., она не наблюдалась только в 4 случаях. В 34 случаях (или в 90 %) она в среднем была равна 22 см, изменяясь при этом от 1 до 32 см. Мощность проточной зоны за период климатических изменений увеличилась в 3 раза, а наличие её в зимний период возросло в 2 раза.

В период стабилизации климата на болоте Иласском, из 25 лет наблюдений в 16 зимах (64% случаев) проточная зона не наблюдалась и только в 9 зимах (36%) она устанавливалась со средней мощностью 5 см. В последующий период, при изменении климатических характеристик, проявление проточной зоны наблюдается в 80,5% случаев, при средней ее мощности 10 см, изменяясь при этом от 1 до 22 см. Частота образования проточной зоны увеличилась в 2,2 раза.

Тренд увеличения проточной зоны на болоте Ламмин-Суо описывается уравнением вида

$$\Delta Z = 0,2295 \tau - 449,2 \text{ (см)}$$

при $R = 0,555$, где τ – текущий год, начиная с 1950.

На болоте Иласском увеличение проточной зоны выражается аналогичным по структуре уравнением

$$\Delta Z = 0,2359 \tau - 467 \text{ (см)}$$

при $R = 0,378$, где τ – текущий год, начиная с 1956. Тренды роста проточных зон значимы.

Увеличение ее мощности совпадает с увеличением зимнего стока по р.Черная, которая дренирует это болото. Тренд увеличения среднего зимнего расход воды (Q), за декабрь – март, с 1980 по 2014 г., можно выразить уравнением с коэффициентом корреляции 0,410

$$Q = 0,3572 \tau - 702 \text{ (л/с)}.$$

Анализ динамики зимних расходов по этой реке показывает, что за период стабилизации климата, до 1980 г., они изменялись незначительно, от 0,05 до 11,4 л/с, в среднем - 5,8 л/с. При изменении климата они возросли до 11,7 л/с, изменяясь от 0,15 до 37,3 л/с. Увеличение наименьших зимних расходов началось с 1980 г., но до 1998 г., наблюдались отдельные годы, в которых зимний сток отсутствовал. И только начиная с 1999 г. наблюдается устойчивый зимний сток, при котором наименьшие зимние расходы неуклонно возрастают от 0,4 до 9,4 л/с, при этом средний наименьший зимний расход составил 2,2 л/с. Тенденция в изменении величин зимнего стока хорошо коррелирует с динамикой проточной зоны, а последняя - с увеличением зимних расходов воды на р.Черная.

На болоте Ламмин-Суо зимний сток за период климатических изменений возрос с 3,6 л/с до 9,2 л/с, т.е. в 2,6 раза. Тренд увеличения зимнего стока по руч. Южный описывается уравнением вида

$$Q = 0,0982 \tau - 188 \text{ (л/с)}$$

при $R = 0,254$.

Значительные расходы воды в зимний период обуславливают определенное уменьшение весенних расходов. Происходит перераспределение стока, вследствие, чего на руч. Южный средние из наибольших расходов уменьшились на 52 %. Если в период стабилизации климатических характеристик наибольший расход весеннего половодья составил 862 л/с, то в

следующий период наибольший расход уменьшился на 33,6 %. Тренд уменьшения наибольших расходов весеннего половодья отображается уравнением вида

$$Q_{\max} = - 4,605 \tau + 9402 \text{ (л/с)}$$

при $R = 0,519$.

За последний период увеличились и наименьшие зимние расходы воды с 0,7 л/с (среднее значение 1951-1980 г.) до 1,7 л/с. Эта закономерность подчиняется зависимости

$$Q_{\min} = 0,0207 \tau - 39,7 \text{ (л/с)}$$

при $R = 0,519$. Оба уравнения значимы при 95% уровне надежности.

На этом болоте зимний бессточный период до 1980 г. наблюдался в 8 раз. За период с 1981 по 2019 г. – только в 2-х случаях. Зимние расходы воды за период изменения климата по руч. Южный увеличились от первоначальной величины в 2,6 раза. Наибольшие расходы весеннего половодья уменьшились в 1,5 раза, а наименьшие зимние расходы возросли в 2,4 раза.

Таким образом, на болотах севера и северо-запада глубина промерзания обуславливает изменения всей структуры зимнего и весеннего стока с болот.

НИКОЛАЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ КОНДРАТЬЕВ – СОЗДАТЕЛЬ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА

V. M. Katolikov, N. I. Katolikova

Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия.

NIKOLAY EVGENYEVICH KONDRATYEV - CREATOR OF THE HYDROMORPHOLOGICAL THEORY OF RIVER CHANNEL PROCESSES

V.M.Katolikov, N.I. Katolikova

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

Приводится краткая биография и творческий путь Н.Е. Кондратьева – одного из основателей гидроморфологической теории руслового процесса, разработавшего ее философские основы и постулаты.

In this report a brief biography and creative path of N.E. Kondratiev - one of the founders of the hydromorphological theory of the channel process, who developed its philosophical foundations and postulates, is given.

Среди замечательных ученых, создавших имя ГГИ, особенно выделяется имя Н.Е. Кондратьева, чья научная деятельность в институте началась в послевоенные годы и продолжалась в течение более чем 30 лет. Восстановление и интенсивное развитие страны в 1950-ые годы требовало новых научных подходов и расчетных методик, в том числе и для решения практических проблем использования рек. В этих условиях требовались большая эрудиция и нестандартное мышление и нетривиальные подходы к решению насущных инженерных задач. Все эти качества имелись у Николая Евгеньевича Кондратьева выходца из петербургской семьи интеллигентных, образованных людей, корни которой по отцовской линии уходят в Смоленскую губернию.

Николай Евгеньевич Кондратьев родился 17 декабря 1899 г. в Петербурге в семье священника, имевшего высокий духовный сан (известна интереснейшая дискуссия священника Кондратьева с академиком Павловым по вопросам религии и естествознания).

Окончив в 1918 г. одну из лучших гимназий города, Николай Евгеньевич поступил на гидротехнический факультет Политехнического института. Однако в полной мере его талантам суждено было проявиться с большой задержкой, после более чем 10-летних мытарств, когда он вынужден был служить на временных должностях то воспитателем в школьном поселке, то техником в разных организациях – на "Волховстрое", в Коммунхозе, в Управлении Камско-Печерских водных путей. Судьба его в 1920-ые годы была изрядно поломана из-за преследований отца, протоиерея Е.М. Кондратьева – яркой незаурядной и неукротимой личности, подвергшегося гонениям советской власти и, в конечном итоге, расстрелянного в 1937 году.

Свою профессиональную деятельность инженера-гидротехника Николай Евгеньевич начал относительно поздно, уже в 1930-ые годы, когда ему удалось пройти весь курс Политеха экстерном за 2 года, получить диплом и поступить на работу в Ленинградское отделение ГИДЭП (Гидроэнергопроекта), где до 1936 года он работал изыскателем и проектировщиком. Склонность к настоящей инженерной (творческой) работе привела его в 1933 году в Гидроэлектрическую (гидравлическую) лабораторию НИИГ (ныне ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева), где он, не оставляя работу в ГИДЭП, начал сотрудничать с И.В.Егиазаровым, будущим академиком Армении. Под руководством И. В. Егиазарова Николай Евгеньевич занимался проблемой гашения энергии воды в гидросооружениях и разработал широко известную теорию виражей (статья о виражах – криволинейных быстротоках – была опубликована в Британской энциклопедии). С 1936 года он переходит на постоянную работу в НИИГ и полностью посвящает себя теоретическим и экспериментальным (лабораторным и натурным) исследованиям, а также проектированию и строительству виражей на гидроэлектростанциях Чирчикского каскада. Проблемам гашения энергии в гидросооружениях была посвящена и его кандидатская диссертация, которую он защитил в 1945 г., хотя ВАК и утвердил присужденную ему ученую степень лишь в 1948 г. Личная и творческая дружба Н.Е.Кондратьева и И.В. Егиазарова,

сопровождаясь острейшими дискуссиями по принципиальным вопросам теории руслового процесса в 1950-60-е годы, сохранялась до конца жизни последнего в 1971 г.

В годы войны Н.Е. Кондратьев был сначала мобилизован в органы местной противовоздушной обороны Ленинграда, а впоследствии откомандирован в ЦНИИ Морского Флота, где стал заведующим гидротехнической лабораторией волнового профиля. Директор ЦНИИМФ высоко оценил его как специалиста с большой эрудицией в области гидравлики и математических наук, способного руководить разработкой решения новых проблем. Так, в частности, работая в волновой лаборатории, Николай Евгеньевич разработал теорию поведения волны на мелководье, которая обрела черты нового научного направления.

В 1947 году после закрытия лаборатории Н.Е. Кондратьев уже сложившимся специалистом, имеющим собственные научные и практические разработки и стремящимся приносить пользу, переходит на работу в экспериментальный отдел Государственного гидрологического института. Он одержим идеей создания гидравлической лаборатории нового типа, а именно: русловой лаборатории, где можно было бы исследовать воздействие потока на подвижное ложе рек и водохранилищ.

В эти годы в СССР начиналась эпоха крупномасштабного строительства ГЭС, водохранилищ, судоходных каналов, магистралей, портов и пр. Для экспериментального гидрологического обоснования проектов в 1948-1952 гг. близ Зеленогорска строится Главная экспериментальная база (ГЭБ) ГГИ. 16 октября 1948 года Н.Е. Кондратьев был назначен начальником строящейся русловой лаборатории. Он внес много новых оригинальных идей в проект самой лаборатории, ее оборудования, а также в проекты других экспериментальных установок ГЭБ. А параллельно он продолжал научную деятельность: в крупной обзорной статье он подвел итоги работ по виражам, продолжил изучение кинематической структуры волн на мелководье, сформировал научную тематику будущей русловой лаборатории.

Новые задачи потребовали разработки совершенно нового научного направления – вопросов переформирования размываемого ложа водных объектов под действием движущейся воды, в том числе берегов крупных водохранилищ. В 1950-51 гг., используя свои волновые разработки, Николай Евгеньевич разрабатывает новую теоретическую схему береговых деформаций и оригинальную методику расчета размыва берегов Куйбышевского водохранилища, который стал сразу востребован практикой. В целом исключительно плодотворными в наследии Н.Е.Кондратьева оказались 1952-54 гг., когда он, возглавляя отдел гидродинамики ГГИ, подвел итог своих исследований по волновому и береговому режиму водоемов и написал монографию "Расчеты ветрового волнения и переформирования берегов водохранилищ"(1953). Практический итог активного этапа своих разработок этой тематики он завершил к 1960 году, когда подготовил и опубликовал нормативный документ "Расчёты береговых деформаций на водохранилищах". При этом теоретическая часть проблемы была им детально представлена еще позже, в 1968 году в докторской диссертации.

Оригинальный путь предложен Николаем Евгеньевичем и для решения проблемы деформаций речных русел – темы, надолго ставшей главным делом его жизни. Не находя удовлетворительных ее решений с позиций механики сплошной среды, в 1951-52 гг. он выдвигает тезис о дискретности руслового потока и тезис о дискретности и структурности движения донных наносов, заложив тем самым основы принципиально новой гидроморфологической теории руслового процесса. Мировоззренческие основы своей системы взглядов на дискретность русловых процессов Николай Евгеньевич изложил в трех своих статьях: «Условие непрерывности и дискретности в применении к русловому потоку (1951), «О дискретности русловых процессов (1953) и «Дискретность русловых процессов» (1978).

В 1952 г. совместно с Секцией по научной разработке проблем водного хозяйства АН СССР Николай Евгеньевич организывает Всесоюзное совещание по проблеме русловых процессов. В нем приняли участие крупнейшие ученые, занимающиеся вопросами деформаций русла, транспорта наносов и речной гидравлики – М.А.Великанов, В.М.Маккаев, К.И.Россинский, И.А.Кузьмин, Н.А.Ржаницын, Н.И.Маккаев, О.А.Андреев, Г.И.Шамов, Г.В.Лопатин, С.Т.Алтунин, А.И.Лосиевский, Б.А.Фидман, Н.А. Михайлова, А.В.Караушев, М.А.Дементьев, А.К.Проскураков и др. Выступая перед ними с докладом, Кондратьев еще более определенно сформулировал фундаментальные представления о дискретной структуре потока, форм транспорта наносов и морфологического строения русла, которые, находясь в тесной

взаимосвязи, должны рассматриваться как различные стороны одного и того же явления. В том же 1952 г., постоянно подчеркивая необходимость разъяснения этих на первый взгляд очевидных положений, Н.Е. Кондратьев еще несколько раз выступил с докладами по этой проблеме, в том числе и на Координационной комиссии по методам расчета руслового процесса при водохозяйственной секции АН СССР, членом которой он состоял.

Сформулированные Николаем Евгеньевичем взгляды на дискретный характер движения речного потока и донных наносов определили и вытекающие из них постулаты гидроморфологической теории руслового процесса, которые вскрывают основополагающую сущность процессов взаимодействия речного потока и подвижного дна как единой замкнутой развивающейся системы. Объективность этих постулатов и вскрытых на их основе закономерностей развития системы «речной поток- подвижно русло, сложенное речными наносами» подтверждается тем, что они в полной мере соответствуют трем законам диалектики Гегеля: закону единства и борьбы противоположностей, закону перехода количественных изменений в качественные и закон отрицания отрицания, а также сформулированным мировой наукой несколько позже положениям синергетики- науки о законах самоорганизации сложных развивающихся систем, одно из которых формулируется следующим образом: «В процессе движения от хаоса к порядку, который представляет собой процесс преобразования качественной неопределенности в систему упорядоченных организованных систем, обязательно появятся качественные переходы, т.е. возникают такие ситуации, когда непрерывность прерывается, а качественная определенность процесса преобразуется».

В кратком виде свои взгляды на дискретность и структурность процесса взаимодействия речного потока и подвижного дна, т.е. процессов руслоформирования, Николай Евгеньевич выразил следующим образом: «Природным объектам присуща пространственная целостность, исключая возможность произвольного, случайного деления их на части. Такое деление было бы разрушением объекта.

Вместе с тем внутреннее строение этих объектов корпускулярно, т. е. эти элементы состоят из сочетания целостных же элементов меньшего размера, однородных или разнородных.

Элементы низшего порядка, или, как говорят, находящиеся на низшем структурном уровне, обладают свойствами, которые могут отличаться от свойств образуемого ими объекта более высокого структурного уровня. Возникает иерархия структурных уровней, на каждом из которых действуют свои законы, развиваются свои процессы и решаются свои практические задачи» (1978).

Лавинообразный рост запросов гидротехнической практики, связанных с деформациями речных русел, захватывающие перспективы разработки новой теории руслового процесса, в том числе, с помощью экспериментов в строящейся Русловой лаборатории и открывающиеся возможности быстрого решения прикладных задач инженерно-морфологическими методами привели Н.Е.Кондратьева к мысли о целесообразности преобразования отдела гидродинамики в отдел русловых процессов. Осенью 1954 года эту идею поддержало руководство ГГИ, сначала А.И.Чеботарев, а затем и В.А.Урываев. И с 23.04.55 Николай Евгеньевич возглавил Отдел русловых процессов, которым руководил до 1969 года.

Годы работы Николая Евгеньевича в Отделе русловых процессов ГГИ ознаменованы накоплением данных о природном многообразии русловых процессов, классификацией этих процессов, подтверждением теоретических представлений натурным и экспериментальным материалом. Развитию и детализации основ гидроморфологической теории руслового процесса в большой мере послужила исключительная творческая атмосфера, сложившаяся в отделе. В первую очередь необходимо отметить значение вклада И. В. Попова, который разработал морфологическую часть основ теории и методологию натурных исследований руслового процесса.

Первые итоги разработки теории руслового процесса отразились в коллективной монографии "Русловой процесс" (1959), где сформулированы основные положения теории, а именно: приведено определение руслового процесса, перечислены основные факторы руслоформирования, показан различный генезис и разная роль донных и взвешенных наносов в процессах руслоформирования, установлены два принципиально разных вида русловых деформаций (обратимые и необратимые) и три типа т три структурных уровня русловых форм (микроформы, мезоформы и макроформы), а также намечен путь разработки прогноза русловых

деформаций от определения гидроморфологической схемы руслового процесса к количественным гидравлическим расчётам. Уже в этой работе отразились все необходимые признаки и функции настоящей теории – постулаты, типизация, терминология, методология исследований, методология прогнозов, соотношение с других науками.

Дальнейший ход событий показал, что созданный Н.Е.Кондратьевым отдел развивается в заданном им направлении интенсивно, разносторонне и плодотворно, оттачивая формулировки постулатов теории, отражающих содержание природного процесса на стыке трех наук – гидрологии, гидродинамики и геоморфологии, и развивая частные теоретические, методические и практические разделы учения. Так, наряду с натурными исследованиями русловых процессов, начались широкомасштабные экспериментальные исследования турбулентной структуры речного потока и механизма движения донных наносов, а разработка основ гидроморфологической теории русловых процессов завершилась в отделе защитой в 1968 году двух фундаментальных докторских диссертаций – самого Н.Е. Кондратьева "Гидроморфологические процессы и методы их изучения" и И.В. Попова "Деформации речных русел и гидротехническое строительство". Причем тема последней диссертации получила широкую известность в виде книги с тем же названием у инженеров-гидротехников и выдержала два издания 1965 и 1969 гг.

Кроме того, в 1982 году вышла обобщающая монография Н.Е.Кондратьева, И.В.Попова, Б.Ф.Снищенко «Основы гидроморфологической теории руслового процесса». Все это подчеркивает исключительную практическую востребованность теории. Вообще о практической направленности работ отдела Николай Евгеньевич заботился изначально и последовательно, что выражалось в огромной загруженности отдела хозяйственными работами, а также в разработке многочисленных нормативных документов, регламентирующих учет руслового процесса при строительстве инженерных сооружений в руслах и на поймах рек.

В работах методического плана, направленных на правильную постановку сетевых гидрологических наблюдений за стоком наносов и русловыми деформациями, Н.Е.Кондратьев постоянно подчеркивал, что сток наносов и русловые деформации необходимо рассматривать как две неразрывные стороны руслового процесса, что современная стационарная сеть пунктов створных наблюдений за расходом наносов нуждается в дальнейшем развитии в направлении более тесной ее увязки с одновременным пространственным изучением русловых деформаций применительно к существующей типизации русловых процессов, что полученные количественные характеристики русловых деформаций должны публиковаться наряду со сведениями о стоке наносов для использования этих материалов в проектной и хозяйственной практике. Следует отметить, что Николай Евгеньевич не мог долго заниматься решением только одной какой-либо проблемы. Имея личные впечатления от четвертого по высоте подъема уровня Невы (282 см над ординаром), произошедшего 15 октября 1955 года, он в течение 1955-1965 гг. одновременно с решением проблем динамики русел рек и берегов водоемов потратил много сил на исследование невыхских наводнений и создал свой оригинальный проект защиты Ленинграда, так называемый "восточный вариант ГГИ», который стоил в 4 раза дешевле западного, ныне реализованного.

Приведенный обзор не исчерпывает всех работ Н.Е.Кондратьева, хотя и дает полное представление о научном потенциале ученого и его наследии. К ним можно добавить его блестящий "пойменный цикл" (гидравлический расчет затопления и опорожнения поймы через прорывы в береговых валах, расчет вероятностных характеристик ветрового волнения на поймах и др.); работы по исследованию неустановившихся потоков в реках; модель кинематической структуры потока при грядовом дне и др.

Тем не менее, знавшие Н.Е.Кондратьева, подтвердят, что в отстаивании своих научных принципов он отличался бескомпромиссностью, иногда даже жесткостью, хотя любил повторять, что всегда готов уступить аргументированному возражению. Однако довольно острые дискуссии с известными учеными А.В. Караушевым, Н.И. Маккавеевым, К.И. Россинским и И.А. Кузьминым, И.В. Егиазаровым, К.В. Гришаниным и другими, как правило, не оставляли никаких надежд оппонентам. В то же время со многими из них он поддерживал самые дружеские отношения в течение всей жизни.

Вне стен института Николай Евгеньевич вел такую же интенсивную и интересную творческую жизнь, как и в науке. Он любил музыку и театр, прекрасно рисовал – его акварели

украшают стены Отдела русловых процессов и Русловой лаборатории, квартир многих его бывших сотрудников. Его знание поэзии, любовь к поэзии, потрясала: в деловой поездке на теплоходе в 1972 году он на "на бис" прочитал наизусть всего "Евгения Онегина", непрерывно мог декламировать стихи любимого Игоря Северянина. Известно, что серьезные исследования, на самом высоком профессиональном уровне, он вел по вопросам истории религии и изучения текстов Библии.

Николай Евгеньевич никогда не сетовал на свою судьбу, не высказывал обид в адрес власти. Он был патриотом в самом широком и истинном понимании этого слова, хорошо знал и любил Ленинград. И умер на улице родного города во время традиционной прогулки по Невскому проспекту. Случилось это 8 декабря 1985 г., за 9 дней до его 86-летия.

Настоящий доклад составлен в связи со 120-летием со дня рождения Н.Е. Кондратьева на основании статьи Б.Ф. Снищенко «Выдающийся мастер» (2000), ему посвященной, новых материалов о жизни и судьбе отца Николая Евгеньевича - Е.М. Кондратьева и воспоминаний сотрудников Отдела русловых процессов.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

А.В. Килесо^{1,2} В.А. Гриценко^{1,2}

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

²Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

GEOECOLOGICAL THREAT OF THE COASTAL ZONE OF THE SOUTH-EAST BALTIC

A.V. Kilesso^{1,2}, V.A. Gritsenko^{1,2}

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В работе выполнена классификация берега Самбийского полуострова (Калининградская область, юго-восточная Балтика) по фактору опасности нового типа – орографической опасности подводного берегового склона. Данная классификация позволяет выделить наиболее незащищенные от абразии участки берега.

The classification of the coast of the Sambian peninsula (Kaliningrad region, southeastern Baltic) is performed according to a new type of threat - the orographic threat of the underwater coastal slope. This classification provides information about the most vulnerable for abrasion coastal areas.

Введение

Рекреационная привлекательность прибрежных ландшафтов играет важную роль в развитии Калининградской области. Пляжный и санаторно-курортный туризм являются важными статьями дохода региона. Усилившаяся в последние годы штормовая активность проявляется в сокращении и даже уничтожении некоторых пляжей. Ввиду отсутствия реализуемых планов рационального природопользования прибрежной зоны антропогенное воздействие на нее также приводит к негативным последствиям. Совокупность перечисленных факторов приводит к значительной деформации берега и подводного берегового склона [1].

Целью данной работы является классификация берега Самбийского полуострова (Калининградская область, юго-восточная Балтика) по фактору нового типа опасности – орографической опасности подводного берегового склона.

Результаты

Ранее [2] было показано, что мелкомасштабные морфологические особенности подводного берегового склона, имеющие поперечное к берегу направление, могут обеспечивать перемещение больших объемов взвешенных наносов из приурезовой зоны к морской границе береговой зоны. Данный орографический фактор оказывает непосредственное влияние на баланс наносов и, соответственно, на устойчивость берега к абразии.

Классификации берега Самбийского полуострова (Калининградская область) по фактору опасности нового типа – орографической опасности подводного берегового склона, базируется на анализе эхолотных промеров первых трех километров от берега подводного берегового склона (данные эхолотных промеров предоставлены ГБУ КО "Балтберегозащита"). При классификации берега учитывались следующие факторы: наличие

на дне чередующихся положительных и отрицательных форм рельефа, а также расчет траекторий наискорейшего спуска [3] для используемой цифровой модели рельефа. Выделение интересующих нас морфологические особенности на дне выполнялось с помощью расчета градиентов рельефа по направлениям вдоль- и перпендикулярно к береговой линии.

Совместный учет двух полученных компонент позволил выделить 3 типа берегов по фактору орографической опасности подводного берегового склона (рис. 1). Первый тип (низкая степень опасности) соответствует участкам подводного берегового склона для которых не обнаружено чередование положительных и отрицательных форм рельефа. Второй тип (средняя степень опасности) характеризуется наличием рассматриваемых форм рельефа, однако полученные траектории наискорейшего спуска обрываются из-за локальных особенностей рельефа дна. Для третьего типа (высокая степень опасности) отмечается хорошая корреляция между выделенными формами рельефа и рассчитанными траекториями. Именно в районе берегов третьего типа в штормовых условиях наиболее вероятен вынос больших объемов взвешенных наносов из приурезовой зоны к морской границе береговой зоны.

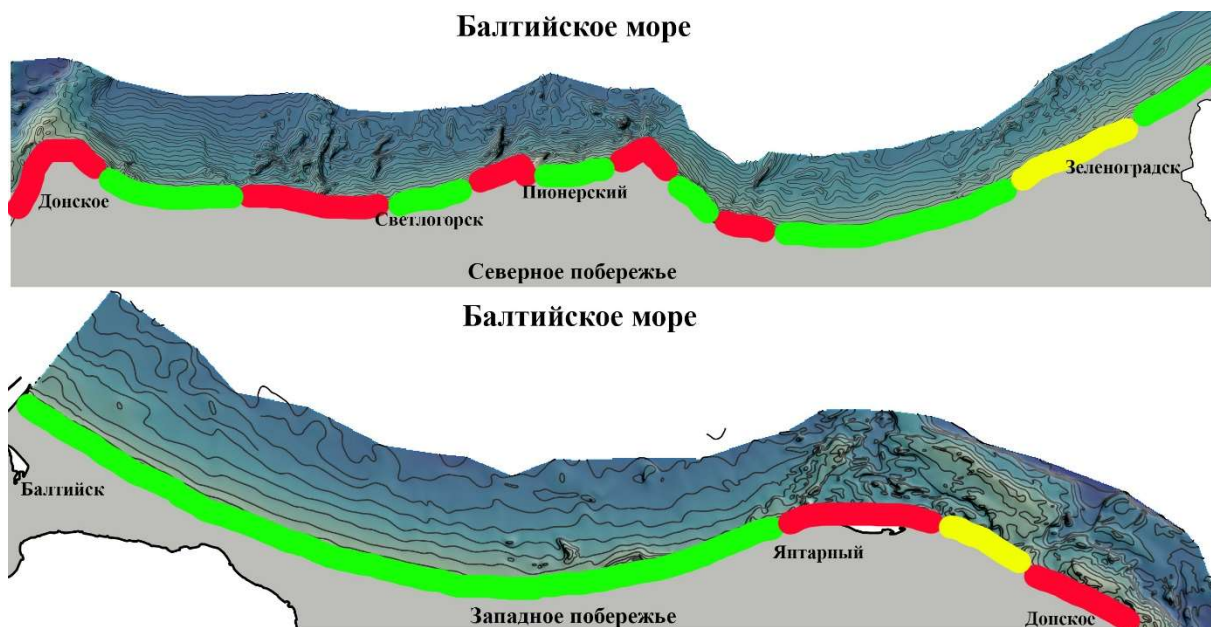


Рис. 1. Классификации берега Самбийского полуострова (Калининградская область) по фактору нового типа опасности – орографической опасности подводного берегового склона.

Верхний рисунок – северное побережье Самбийского полуострова, нижний рисунок – западное побережье. Зеленый цвет – первый тип (низкая опасность), желтый цвет – второй тип (средняя опасность), красный цвет – третий тип (высокая опасность)

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Литература

15. Сафьянов Г.А. Геоэкология береговой зоны океана. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2002.
16. Kileso A.V., Isachenko I.A., Gritsenko V.A., Burnashov E.M., Chernyshkov P.P. Orographic risks of bottom topography and sustainability of the sea coasts of the Kaliningrad region, Russia // Journal of Environmental Hydrology. 2016. Vol. 25. Paper 2.
17. Jenson S. K., Domingue J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11). 1988. P. 1593–1600.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФА GRWAT ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ СТОКА М.Б. Киреева¹, Е.П. Рец², Т.Е. Самсонов¹, Н.Л. Фролова¹

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

² Институт Водных Проблем РАН, Москва, Россия

USING AUTOMATIC HYDROGRAPH SEPARATION (GRWAT ALGORITHM) FOR GENETIC ANALYSES OF FLOW COMPOSITION

M.B. Kireeva¹, E.P. Rets², T.E. Samsonov¹, N.L. Frolova¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

² Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia

Анализ генетических составляющих стока в последние десятилетия является одним из наиболее неоднозначных вопросов гидрологии. В работе представлены результаты применения алгоритма расчленения гидрографа GrWat по схеме Б.И. Куделина, предложены возможные варианты ее модернизации. Приведены результаты для крупных речных бассейнов рек ЕТР.

Analysis of the genetic components of runoff in recent decades is one of the most controversial issues in hydrology. The paper presents the results of applying the GrWat hydrograph separation algorithm according to B.I. Kudelin scheme, proposed options for its modernization. The results for large river basins of the ETR rivers are presented.

Введение

Внедрение современных технологий обработки гидрометеорологической информации является одной из приоритетных задач отрасли в настоящее время. Создание новых средств и методов интерпретации, визуализации и обобщения гидрологических данных позволяет выводить на качественно новый уровень возможности анализа изменений компонентов стока, условий их формирования и изменчивости во времени. Особенно актуальны данные вопросы в сфере обработки гидрологических данных с суточным разрешением для крупных регионов, с довольно высокой плотностью сети гидрометрических постов. В данной работе представлен алгоритм автоматизированного расчленения гидрографа, направленный на быструю обработку суточных данных о стоке воды, их интерпретации, расчете стандартных показателей сезонного стока (в сумме 54 характеристики). Кроме того, программа позволяет отдельно анализировать показатели паводочных пиков, а именно интенсивности их подъема, высоте, предпаводочном расходе, сроках прохождения и продолжительности. В качестве предварительных результатов представлен анализ отдельных характеристик сезонного стока для рек Европейской территории России, полученных в результате применения алгоритма.

Данные и методы

Программа GrWat представляет собой поэтапный алгоритм обработки гидрометеорологической информации. В целом ход обработки данных может быть описан следующими основными этапами: 1) подготовка входных данных, подгонка длин гидрологических и метеорологических рядов 2) калибровка параметров и расчленение гидрографа 3) обработка полученных результатов и создание итогового отчета

Основная часть работы по подготовке и проверке исходных данных была вынесена в отдельную подзадачу, решаемую в программном языке R-Studio, который позволяет легко визуализировать полученные результаты. Программный код берет на вход файл суточных расходов воды, затем производит проверку «сплошности» ряда наблюдений, то есть «непрерывание» последовательности дат. После этого отсутствующие даты вставляются на положенное место в календарном ряду, им присваивается значение -999. После этого программа закрепляет «расчетный период наблюдений», а затем (в случае отсутствия файлов с метеорологической информацией по метеостанции) из подготовленного массива реанализа для Европейской территории России, а также шейп-файла водосбора производится расчет псевдовременного ряда метеорологических параметров. Далее блок подготовки исходных данных передает 2 полученных файла: с гидрологической информацией в формате (Год | Месяц

| День | Расход) и с метеорологической информацией (Год | Месяц | День | Температура | Осадки) в тело основного расчетного блока на языке Fortran. Здесь происходит реализация основных вычислительных схем.

Программа делит суточные расходы воды на водохозяйственные годы – каждый такой год считается от начала половодья текущего календарного года до начала половодья следующего. Для корректной работы программы важно верно выделить начало и конец половодья для каждого года, назначить граничные условия по сезонам и ввести условия правильного выделения паводков. Для математического описания индивидуальных особенностей вариации стока каждой реки в были введены 12 основных и 12 дополнительных калибруемых параметров, графоаналитически описывающих вариации на гидрографе и их интерпретацию. Их можно сгруппировать по смыслу на: а) критические даты, соответствующие возможным границам гидрологических сезонов, б) градиенты изменений стока за различные фазы в) критические продолжительности той или иной фазы г) критические значения вспомогательных метеорологических параметров. Выделение оттепельных и дождевых событий, накладывающихся на период подъема и спада половодья происходит в алгоритме с помощью кривых спада. Подбор параметров кривой спада и момента начала спада отдельного дождевого паводка происходит с помощью поиска точек изменения градиента расходов воды.

Результаты. Анализ характеристик сезонного стока.

Анализ характеристик стока может проводится как по принципу подбора сходных величин для одного поста, так и по принципу пространственно-временных обобщений для всех постов по которым проводился анализ. В первом случае, непосредственно из репортов могут быть отобраны параметры сезонного стока. В частности интересным способом обобщения является раздел сравнения характеристик по двум периодам. Например, это наглядно демонстрирует трансформацию водного режима и перераспределение стока по сезонам, увеличение роли меженного стока и снижение объемов стока половодья (Рис. 1).

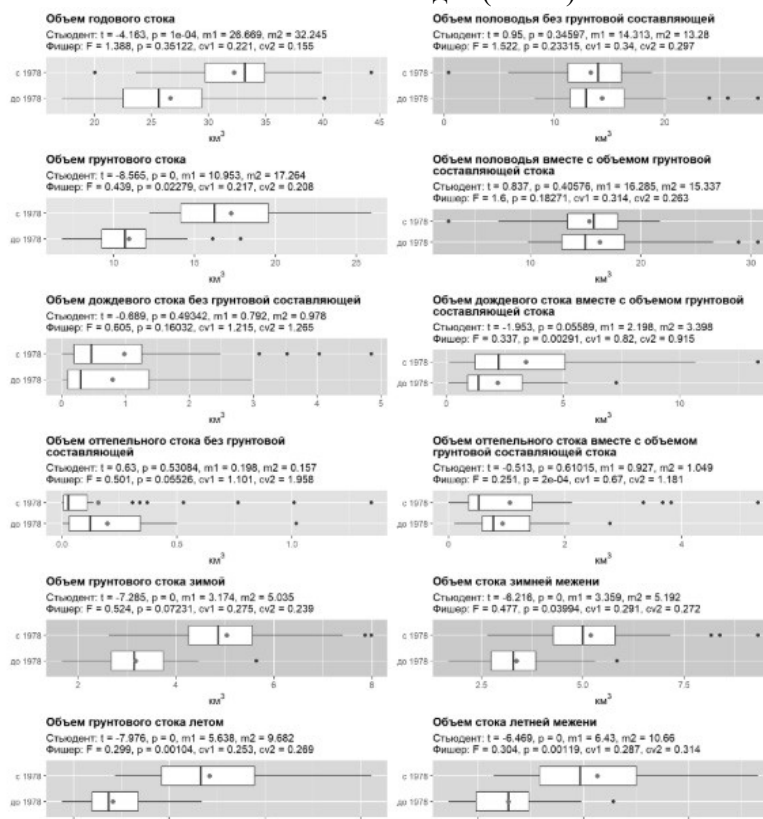


Рис. 1. Пример визуализации изменения объемов сезонного стока для р. Вятка- пгт. Вятские Поляны

Одним из основных плюсов полученного алгоритма является возможность анализа характеристик паводочного стока, поскольку обобщение именно этой генетической компоненты исключительно трудоемко в случае экспертной обработки данных. Формирование паводков на реках стало наблюдаться практически ежегодно для большинства рек Европейской России (Киреева и др. 2018). Причем в последние десятилетия паводки наблюдаются практически в любой гидрологический сезон года. Особенно ярко этот процесс можно проследить по датам прохождения максимальных расходов как дождевых, так и оттепельных паводков. Тенденции изменения характеристик дождевых паводков различны в зависимости от географического положения водосбора. Для рек Русского Севера, Северо-Запада, большинства рек Центральной России дождевые паводки, которые в основном наблюдались в июле, заметно сместились и стали характерны для мая и июня. А число осенних паводков на север ЕТР в целом заметно сократилось. Тенденция к увеличению «разброса» дат прохождения максимальных расходов воды во время паводков характерна для степных и лесостепных районов – бассейна Дона, притоков нижнего течения Оки, реках бассейна Средней и Нижней Волги. Так, например, на реке Самара до середины 1970-х годов максимальные расходы дождевых паводков наблюдались преимущественно в мае – августе и были связаны с интенсивными летними ливнями. В последующие десятилетия выделяется еще один «кластер» дат – это зимние дождевые паводки, наблюдающиеся в октябре-декабре.

Тенденции изменения максимальных расходов дождевых паводков не имеют однозначных закономерностей. Для р. Мезень они возрастают со статистической значимостью, для бассейнов рек Северная Двина и Печора, а также их притоков – Сухоны, Вышь, Уса - практически не изменяются. Для верховьев Оки и Дона – наблюдается незначительное увеличение дождевых максимумов, в то время как для левобережных притоков Волги – он, наоборот, снижаются. Единственной явно выраженной тенденцией является статистически достоверный рост максимальных расходов воды для всех рек Камского бассейна.

Интересно, что количество дождевых паводков для всех рек Европейской территории России изменилось незначительно, в среднем на реках севера наблюдается 3-4 паводка за год (Рис. 2). На реках Кольского полуострова, находящихся под влиянием Гольфстрима и Атлантических циклонов количество паводков в среднем составляет 8-10 событий, а в отдельные годы может достигать до 15. В Центральной России число паводочных волн, связанных с выпадением жидких осадков составляет в среднем 6-7 событий и имеет статистически незначимую тенденцию к росту. На реках недостаточной зоны увлажнения – притоках Дона и Нижней Волги в последние 10 лет количество дождевых паводков сократилось вдвое. Если ранее здесь наблюдалось 1-2 таких события, то в последние годы – чаще – ни одного. Однако 10-летний период не является достаточным, чтобы делать достоверные выводы о количестве дождевых паводков в регионе.

При оценке вклада оттепельных паводков в увеличение стока стоит рассматривать две характеристики: значения объема стока оттепельных паводков без учета грунтовой составляющей и вместе с ней. Практически везде объем оттепельного стока без грунтовой составляющей не имеет статистически значимых тенденций к увеличению. Явный рост фиксируется лишь для рек Центральной России – бассейна Оки и ее притоков. Для бассейна Камы наблюдается снижение объема стока оттепелей, также как и для левобережных притоков Волги. На юге многолетние ряды объемов оттепельного стока представляют собой сплошные ряды малых значений с отдельными выраженными выбросами. Для них выделить тенденции не представляется возможным. Видимо, основное проявление роли оттепельных паводков выражено в росте подземной составляющей, отражающей связь поверхностных и подземных вод. Одновременно максимальные расходы оттепельных паводков растут практически повсеместно. На севере этот рост незначим, с продвижением на юг, в бассейн Волги эта закономерность усиливается. Самый сильный рост фиксируется для бассейна Оки, левобережных притоков Верхней Волги – Унжи, Костромы, Ветлуги. На реках засушливой зоны максимальные расходы оттепельных паводков также статистически значимо увеличиваются, если отбраковать отдельные выбросы и ориентироваться по средним значениям.

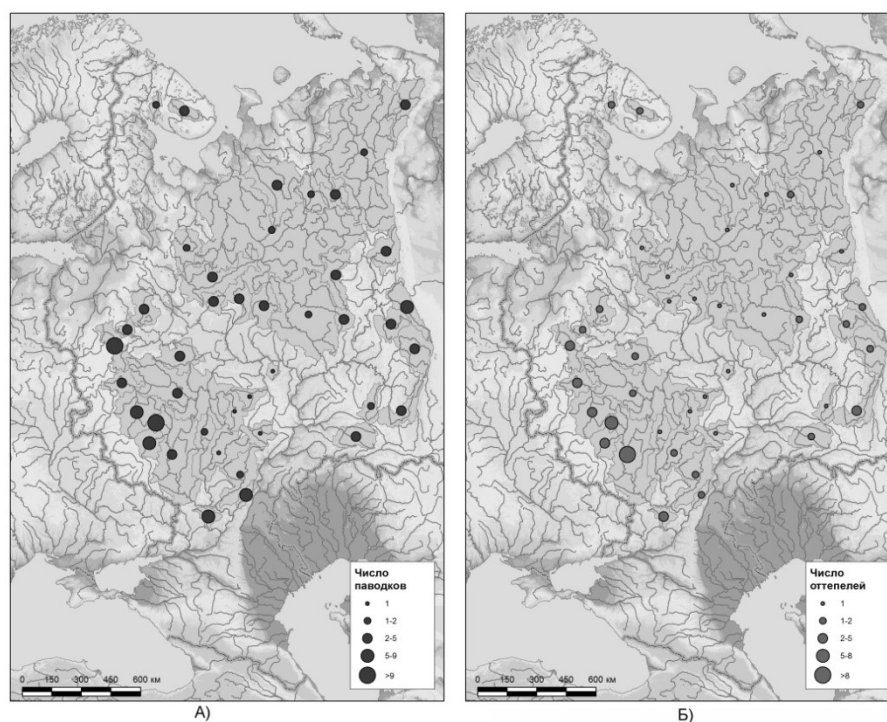


Рис. 2. Среднее число паводков на реках в период летне-осенней (а) и зимней (б) межени за 1978-2018 гг

Заключение

На основании результатов расчетов можно сделать вывод, что в настоящее время происходит увеличение роли паводочного стока в центральных и южных районах Русской равнины. Причем отсутствие однозначных тенденций увеличения числа паводочных пиков, но при этом отчетливый рост паводочной и базисной компоненты сезонного стока говорит об увеличении роли инфильтрации и инфильтрационного питания рек в годовом стоке воды (Dzhamalov R.G et al, 2012). В результате полученного анализа за последние 40 лет были впервые оценены характеристики паводочного стока на большой территории. Было показано, что в современных гидроклиматических условиях формирование паводочных пиков может происходить практически в любой сезон года.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-10032, гранта РФФИ-РГО 17-05-41030 в части картографических обобщений.

Литература

1. Киреева М.Б., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Самсонов Т.Е., Телегина Е.А., Харламов М.А., Езерова Н.Н., Пахомова О.М. Паводочный сток на реках Европейской территории России и его роль в формировании современного водного режима//Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2018.№ 4, С. 48-68
2. Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Krichevets G.N., Safronova T.I., Kireeva M.B., Igonina M.I. The formation of present-day resources of surface and subsurface waters in European Russia// Water Resources, Vol 39, № 6, 2012 Maik Nauka/Interperiodica Publishing (Russian Federation), p. 623-639

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ

А.А. Кирилова¹, Н.С. Фролова¹

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN KANDALAKSHA BAY OF WHITE SEA DURING SUMMER PERIOD BASED ON NATURAL DATA

A.A. Kirilova¹, N.S. Frolova¹

¹Russian State Hydrometeorological University

По данным, полученным в ходе 3 этапа экспедиции «Трансарктика-2019», проводится анализ распределения измеренных характеристик – температуры, солёности, концентрации растворенного кислорода и биогенных элементов, а также рН. Так, согласно комплексному анализу двух разрезов в Кандалакшском заливе, наблюдается характерная картина распределения гидрологических характеристик для Белого моря, однако, выделяются области локальных максимумов содержания биогенных элементов и были рассмотрены причины их возникновения.

According to the field data obtained during the 3rd stage of the “Transarctic-2019” expedition, there is the research of distribution of the measured characteristics - temperature, salinity, concentration of dissolved oxygen pH and nutrients. The specific pattern of the distribution of hydrological characteristics for the White Sea is observed according to a complex analysis of two sections in the Kandalaksha Bay, however areas of local maximum of the content of nutrients are identified and in the research the reasons for their occurrence were considered.

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы обнаружить особенности пространственного распределения биогенных элементов, а также объяснить происхождение локальных аномалий концентрации элементов на разрезах в Кандалакшском заливе

Исходные данные были получены в ходе 3 этапа экспедиции Трансарктика-2019 на НИС «Профессор Молчанов». Данные о температуре и солёности на поверхности моря были получены при помощи водного термометра в оправе ОТ-51 и электросолемера ГМ-2007, для которого проба воды отбиралась с горизонта 0 метров. На горизонтах ниже 5 метров данные были получены при помощи CTD-зонда SBE 19plus V2, который вошёл в состав пробоотборного комплекса SBE 32c Carousel. Пробы морской воды, доставленные на поверхность, использовались для дальнейшего гидрохимического анализа. Данные о количестве растворенного газа (кислорода) получены при использовании портативного оксиметра HI 9146 HANNA, значения рН воды определялись с использованием рН-метра «Эксперт». Данные о биогенных элементах были получены в соответствии со стандартными методиками гидрохимического анализа для морских вод, а именно по РД 52.10.738–2010 (Массовая концентрация фосфатов в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом), РД52.10.740–2010 (Массовая концентрация азота нитритного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса), РД52.10.744–2010 (Массовая концентрация кремния в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом в виде синей формы молибдокремневой кислоты), РД 52.10.745–2010 (Массовая концентрация азота нитратного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом после восстановления в кадмиевом редуторе), РД 52.10.773–2013 (Массовая концентрация азота аммонийного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Несслера). На исследуемых разрезах данные по гидрохимическому анализу имеются на поверхности и глубинах 10 и 30 м, а также у дна, где дном принимается самая глубокая точка отбора.

В исследовании рассмотрены 2 разреза Кандалакшского залива, выполненные между пунктами режимных гидрохимических наблюдений ГСН на реках бассейна Белого моря. Так, на первом разрезе между пунктами «ж.д. Мост» (пункт 7) и «порт Паялка» (пункт 5) (рис. 1) выполнено 4 станции и на втором разрезе между пунктами «с. Гридино» (пункт 8) и «с. Варзуга» (пункт 4) выполнено 3 станции. Географической особенностью первого разреза является то, что

он находится в узкой части залива, перед его расширением к центральной части моря, и располагается между мысом Титов по южному берегу залива и мысом Кочинный на северном берегу. В дальнейшем этот разрез будем называть разрезом между мысами. Второй разрез находится в мористой части залива, что и определило его название.



Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов режимных гидрохимических наблюдений ГСН на реках бассейна Белого моря. (Иванов, Брызгалю, 2003)[1]

В ходе работы были построены разрезы по температуре, солености, распределению содержания кислорода и рН, а также разрезы распространения биогенных элементов.

Распределение температуры и солености характерно для Белого моря в летний период [2], а именно наблюдается прогрев поверхностного слоя вод до 12 °С и наблюдается сезонный термоклин, располагающийся на горизонтах 25-35 м (рис. 2 а). В направлении к открытому морю наблюдается поднятие сезонного термоклина до горизонта 18-30 м (рис. 3 а). У дна на разрезе в мористой части залива на глубинах ниже 70 м температура воды отрицательна и достигает -1,3°С на глубине 250 м (рис. 3 а). Распределение солености позволяет определить приповерхностный галоклин на глубинах 5-15 м (рис. 2 б). В направлении к открытому морю происходит осолонение вод и опускание галоклина до глубины 25 м. Во впадине, на глубине 250 м соленость достигает 29,5 епс (рис. 3 б).

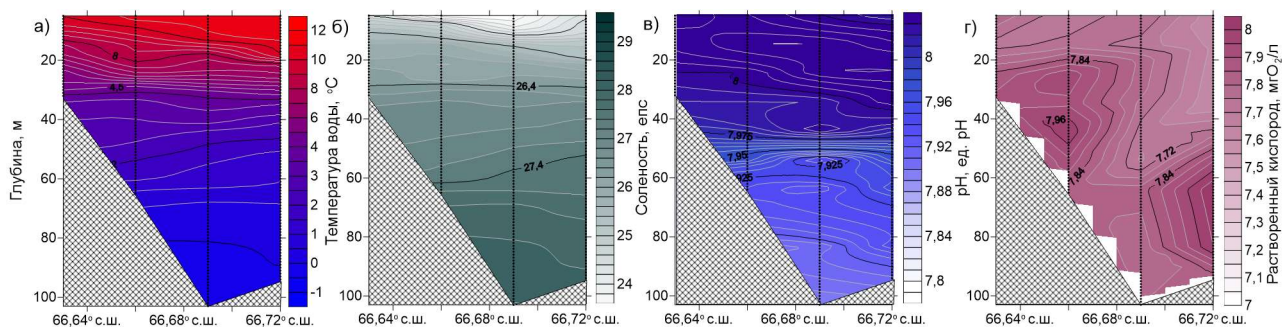


Рис. 2. Распределение температуры, °С (а), солености, епс (б), водородного показателя, ед.рН (в) и концентрации растворенного кислорода, мгО₂/л (г) на разрезе между мысами Титов и Кочинный

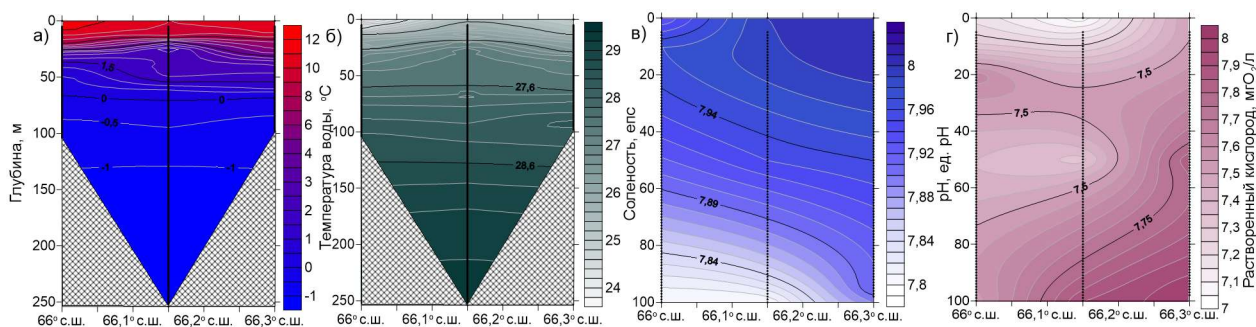


Рис. 3. Распределение температуры, °С (а), солёности, ‰ (б), водородного показателя, ед.рН (в) и концентрации растворенного кислорода, мгО₂/л (г) на разрезе в мористой части залива

На разрезе между мысами по характеристикам температуры и солёности можно выделить теплую распресненную водную массу, вносимую в исследуемую область поверхностным стоком рек с северного берега.

В распределении водородного показателя (рН) характерным является уменьшение показателя рН с увеличением солёности [3]. Также на разрезе между мысами на глубинах 48-54 м можно выделить высокоградиентную зону изменения рН, составляющую порядка 0,05 ед рН/10м (рис. 2 в). В свою очередь, распределение растворенного кислорода тесно связано со способностью растворимости газов в воде: так, с уменьшением температуры наблюдается повышение растворяющей способности и, следовательно, наблюдается увеличение концентрации растворенного кислорода [4]. С глубиной в целом не наблюдается тенденции к уменьшению концентрации растворенного кислорода и воды даже в придонном слое насыщены кислородом (рис. 2, 3 в).

На разрезах распределения биогенных элементов наблюдаются локальные максимумы концентрации исследуемых элементов. Комплексный анализ распределения биогенных элементов позволяет выделить несколько очагов их распространения. Первой выделим область на поверхности разреза между мысами. Как было указано выше, по происхождению ее стоит соотнести с поверхностным стоком, поступающим с северного берега залива вблизи мыса Кочинный. В этой области наблюдаются локальные максимумы кремния (до 116 мкгSi/л) и азота нитратного (до 33,6 мкгN-NO₃/л). Следующей выделяется область аномалии концентрации биогенных элементов на том же разрезе между мысами на глубинах от 10 до 30 м. Аномалия локализуется у южного берега залива, вблизи мыса Титов, и характеризуется частичным выносом биогенных элементов к центру исследуемого разреза. Так, в непосредственной близости от мыса Титов наблюдается локальный максимум азота нитритного (до 16 мкгN-NO₂/л) и азота нитратного (до 23 мкгN-NO₃/л), а некоторый «шлейф» концентрации к центру разреза наблюдается у двух исследуемых элементов: азота аммонийного (до 6,4 мкгN-NH₄/л) и кремния (до 113 мкгSi/л). Также обнаруживается область локального максимума биогенных элементов на поверхности разреза в мористой части залива. Здесь есть локальный максимум азота нитратного (до 33 мкгN-NO₃/л) и фосфатов (до 15,3 мкгPO₄/л).

Как было показано ранее, вода до дна насыщена растворенным кислородом, в виду чего создаются окислительные условия. В свою очередь для исследуемых элементов, устойчивых в окислительных условиях (PO₄, NO₃, Si), закономерно увеличение их концентрации ко дну. Действительно, ниже фотического слоя, наблюдается увеличение концентрации окисленных биогенных элементов и максимум их концентрации достигается у дна: 21 мкгPO₄/л, 162 мкгN-NO₃/л, 442 мкгSi/л. В единицах ПДК придонные концентрации составляют 0,2 ПДК для фосфатов, <0,1 ПДК для нитратов и 1,2 ПДК для кремния в пробах [5].

В результате исследования были рассмотрены особенности распределения основных компонент главного биогенного цикла и определено происхождение поверхностной аномалии концентрации биогенных элементов у мыса Кочинный. Актуальность проведённого исследования обусловлена тем, что существует особо сильное влияние климатических изменений на арктические экосистемы, особенно в виду усиления антропогенного присутствия

в арктическом регионе. Из-за такого сильного воздействия природа Арктики особо уязвима, именно поэтому мониторинг арктических областей наиболее важен на сегодняшний день.

Литература

1. Филатов, Н.Н. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Н.Н. Филатов, А.Ю. Тержевик – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. - 349 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том II Белое море, вып.1. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1991. – 241с.
3. Алекин, О.А. Химия океана: Учебник / О.А. Алекин, Ю.И. Ляхин – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. – 344с.
4. Никаноров А. М. Гидрохимия: Учебник - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб: Гидрометеоиздат, 2001. - 444 с.
5. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2017. – Под ред. Коршенко А.Н., Москва, «Наука», 2018. - 220 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

С.М. Клубов, В.Ю. Третьяков

Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

S.M. Klubov, V.Yu. Tretyakov

Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Приводятся результаты расчета поступления загрязняющих веществ в Финский залив со стоком водотоков Санкт-Петербурга. Для расчета были использованы данные регулярных гидрохимических наблюдений ГУП «Водоканал СПб» за 2018 год. Оценивается вклад мегаполиса Санкт-Петербурга в изменение потока загрязняющих веществ, поступающих в Финский залив.

There are considered some results of the calculation of the inflow of pollutants into the Gulf of Finland with the flow of watercourses of St. Petersburg. Data of regular hydrochemical observations of state unitary enterprise «Vodokanal St. Petersburg» for 2018 were used for calculation. The contribution of the mega polis of St. Petersburg in change of the pollutants flow is estimated.

Со стоком рек в Балтийское море поступает большой объём загрязняющих веществ. Избыточное поступление биогенных элементов, фенолов, нефтепродуктов, тяжелых металлов приводит к загрязнению и эвтрофированию акватории Балтийского моря. Основным источником поступления загрязняющих веществ являются водотоки, водосборные бассейны которых подверглись антропогенному воздействию вследствие урбанизации. Природные особенности Балтийского моря обуславливают его чрезвычайную чувствительность к антропогенному воздействию [1]. Антропогенное эвтрофирование Финского залива – одна из главных экологических проблем Балтийского региона [2]. Этот процесс может приводить к ухудшению качества воды, развитию сине-зелёных водорослей, появлению анаэробных зон, нарушению структуры биоценозов и исчезновению ряда видов гидробионтов. Сине-зелёные водоросли выделяют сильнейшие токсины, представляющие опасность для биоты, включая человека [3].

Расположенный в дельте р. Невы Санкт-Петербург является крупнейшим по численности населения и по площади городом на побережье Балтийского моря. Поэтому необходима оценка объёмов поступления в Финский залив загрязняющих веществ со стоком рек, протекающих по территории Санкт-Петербурга. Также очень важна оценка влияния мегаполиса на баланс поступающих в Балтийское море загрязняющих веществ.

Цель исследования состоит в оценке вклада Санкт-Петербурга в поступление загрязняющих веществ со стоком реки Невы, её рукавов и других городских водотоков в Финский залив.

Методика

В Санкт-Петербурге Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС) осуществляет регулярные наблюдения за качеством воды

городских водотоков. Ежегодно СЗУГМС проводит оценку поступления биогенных элементов (общего азота и фосфора) в Финский залив со стоком рек: Большая и Малая Нева, Большая и Малая Невка (рис. 1) [4].

Данные о регулярных наблюдениях СЗУГМС за качеством воды водотоков Санкт-Петербурга опубликованы в ежегоднике Комитета по природопользованию «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге» [4]. В ежегоднике приводятся рассчитанные значения удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) в соответствии с РД 52.24.643-2002 [5] для каждого створа отбора проб воды.

В ежегоднике опубликованы рассчитанные по результатам регулярных гидрохимических съёмок данные о поступлении в Невскую губу биогенных элементов (общего азота и фосфора в тоннах за год) со стоком реки Невы и её рукавов (Большая и Малая Нева, Большая и Малая Невка). Первичная гидрохимическая информация о концентрациях загрязняющих веществ в водотоках Санкт-Петербурга на створах регулярных наблюдений СЗУГМС является платной информацией и не находится в свободном доступе.

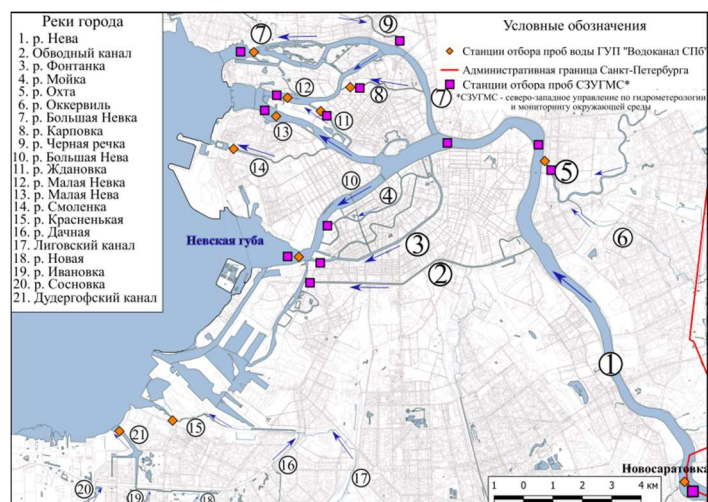


Рисунок 1. Створы регулярных наблюдений за качеством воды городских водотоков

Помимо СЗУГМС, наблюдениями за качеством воды в городских водотоках занимается Государственное унитарное предприятие Водоканал Санкт-Петербурга (ГУП «Водоканал СПб»).

Доступ к отчетным материалам ГУП «Водоканал СПб» за 2018 год был предоставлен в Отделе Водных ресурсов Комитета по природопользованию. Ежеквартальные отчеты ГУП «Водоканал СПб» в соответствии с условиями использования водных объектов, установленных в решениях о предоставлении водных объектов в пользование, состояли из:

1. Результатов учета объемов сточных вод и их качества по выпускам ГУП «Водоканал СПб»
2. Результатов контроля качества воды водных объектов – приемников сточных вод.

Информация о среднегодовом расходе воды в реках Санкт-Петербурга была взята из монографии Р.А. Нежиховского [6] с учетом водности в 2018 году. Данные о водности в 2018 году были предоставлены СЗУГМС по запросу авторов.

Расчет поступления загрязняющих веществ со стоком рек выполнен авторами исследования с использованием данных ГУП «Водоканал СПб» по формуле 1 [4]:

$$Q=31,5 \cdot C_{cr} \cdot R_{cr} \quad (1)$$

где Q – поступление вещества, тонн/год; C_{cr} – среднегодовая концентрация вещества в воде, г/м³; R_{cr} – среднегодовой расход воды [6] с учетом водности в 2018 году, м³/с.

СЗУГМС производит расчёты поступления биогенных элементов со стоком реки Невы и её рукавов в Финский залив по формуле (1) с использованием данных гидрохимических съёмов, проводимых самой этой организацией.

Авторами исследования выполнены расчёты поступления загрязняющих веществ (в тоннах/год) в Финский залив по формуле (1) со стоком реки Невы и её рукавов, притоков, а также рек юго-запада Санкт-Петербурга, впадающих непосредственно в Невскую губу с использованием данных регулярных гидрохимических исследований ГУП «Водоканал СПб».

Расчеты поступления в Финский залив со стоком рек Санкт-Петербурга выполнены для следующих загрязняющих веществ:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Общего азота | 6. Аллюминия |
| 2. Общего фосфора | 7. Железа |
| 3. Аниогенных синтетических
поверхностно-активных
веществ (АСПАВ) | 8. Марганца |
| 4. Нефтепродуктов | 9. Меди |
| 5. Фенола | 10. Цинка |
| | 11. Ртуту |

Высокий уровень поступления в Финский залив общего азота и фосфора вызывает эвтрофирование его акватории. АСПАВ в первую очередь ухудшают его санитарное состояние. Нефтепродукты, фенолы, алюминий и особенно тяжёлые металлы оказывают токсическое воздействие на гидробионтов.

Сбросы сточных вод могут иметь большие объёмы, но с низкими концентрациями загрязняющих веществ, либо малые объёмы с высокими концентрациями. Поэтому мерой негативного воздействия на водный объект должна выступать масса поступающего в него загрязняющего вещества.

Масса поступающего в водный объект загрязняющего вещества рассчитывается по формуле (2)[7]:

$$M = C_{cr} \cdot V / 1000 \quad (2),$$

где M – масса сбрасываемого за год загрязняющего вещества в тоннах, C_{cr} – среднегодовая концентрация загрязняющего вещества (г/м³) в сточных водах, V – суммарный за год объём сбрасываемых сточных вод (тысяч м³).

Для оценки вклада сточных вод, вод притоков и загрязненного почвенно-поверхностного стока с территории Санкт-Петербурга в поступление загрязняющих веществ в Финский залив нами использован метод составления массового баланса. Суть метода заключается в расчёте изменения массы переносимого рекой вещества при протекании реки по урбанизированной территории и расчёте долей (в %) от поступления массы вещества от различных источников загрязнения в изменении массы переносимого рекой вещества.

Расчёт доли массы вещества, привносимого в р. Неву и её рукава со сточными водами притоками рассчитывался по формуле 3:

$$P = (M_n \cdot V_{M_c}) / (M_n - M_b) \cdot 100 \quad (3),$$

Где P – доля от массы вещества, привносимого в р. Неву и её рукава (в %), $(M_n \vee M_c)$ – масса вещества, привносимого в р. Неву и её рукава с притоками (M_n) ИЛИ сточными водами (M_c) в тоннах, M_n – масса вещества, поступающего со стоком р. Невы и её рукавов в Финский залив, M_b – масса вещества, переносимого рекой Невой на её входе в Санкт-Петербург (створ Новосаратовка).

Результаты

В таблице 1 представлены результаты расчётов изменения количества загрязняющих веществ в стоке реки Невы из-за их поступления со сточными водами и водами притоков Санкт-Петербурга по данным регулярных гидрохимических наблюдений ГУП «Водоканал СПб». Видно, что объёмы поступающих в Финский залив со стоком реки Невы и её рукавов загрязняющих веществ увеличиваются при протекании реки Невы по территории Санкт-Петербурга.

При этом количества нефтепродуктов и общего железа увеличиваются более чем на 10 %. В пределах Санкт-Петербурга значительно, более чем на 20 % возрастают потоки переносимых Невой общего фосфора, алюминия, меди. Количество переносимого Невой цинка после прохождения ею Санкт-Петербурга увеличилось в 2018 году более чем в 3 раза. Очевидно, что эти изменения являются антропогенными. Вероятно, очень высокое поступление цинка связано с его поступлением из оцинкованных крыш центральных районов города с осадками и таящим снегом в ливневую канализацию и затем в воды притоков Невы.

Увеличение количества переносимых Невой загрязняющих веществ происходит из-за их поступления в составе сточных вод, вод притоков и почвенно-поверхностного стока. Вклад этих источников различен. Сточные воды являются основным источником поступления в Неву и её рукава фенола. У остальных исследованных загрязняющих веществ поступление с водами притоков преобладает над поступлением со сточными водами. Оценка поступления с территории Санкт-Петербурга загрязняющих веществ в водотоки города в составе почвенно-поверхностного стока требует проведения дополнительных исследований.

В результате исследований по данным 2018 года выявлено увеличение потоков всех рассмотренных загрязняющих веществ и металлов, кроме марганца, при прохождении вод реки Невы через территорию Санкт-Петербурга. Таким образом, экологическое состояние малых рек Санкт-Петербурга оказывает существенное влияние на загрязнение реки Невы, и далее Финского залива. Значителен вклад малых рек Санкт-Петербурга и в антропогенное эвтрофирование Финского залива.

Таблица 1. Результаты расчётов поступления в Финский залив в 2018 году загрязняющих веществ со стоком р. Невы и её рукавов на основании первичной гидрохимической информации ГУП «Водоканал СПб»

A – поступление загрязняющих веществ со стоком Невы и её рукавов в Финский залив, тонн/год

B – Изменение количества переносимого рекой Невой и её рукавами вещества в пределах Санкт-Петербурга, % (знак «+» означает увеличение переносимого рекой вещества, «-» – уменьшение)

С–Вклад сточных вод ГУП «Водоканал СПб» в пределах Санкт-Петербурга в изменение количества переносимого рекой Невой и её рукавами загрязняющего вещества, в% отобщего изменения количестваэтого вещества после прохождениявод Невы через город

D–Вклад притоковв изменение количества переносимого рекой Невой и её рукавами вещества в пределах Санкт-Петербурга, в % от общего изменения количества этого вещества после прохождения вод Невы через город

	A, тонн/год	B, %	C, %	D, %
Общ. Азот	80088,544	+4,4	1,50	46,39
Общ. Фосфор	2446,748	+25,7	1,11	23,20
АСПАВ	1021,621	+5,0	9,38	46,01
Нефтепродукты	4246,222	+13,5	0,47	10,97
Фенол	22,090	+8,3	64,36	14,56
Алюминий	6569,208	+33,5	0,11	14,22
Железо	11432,399	+10,5	0,02	64,04
Марганец	997,097	-46,4	<0	<0
Медь	498,046	+67,4	0,05	2,07
Цинк	2241,481	+223,8	0,03	0,55
Ртуть	1,007	+7,7	0,22	12,08

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00683а. Авторы выражают искреннюю благодарность руководству и сотрудникам Северо-западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и ГУП «Водоканал СПб» за предоставление данных.

Литература

1. Потапова Т.М., Джиноридзе Е.Н., Королева В.П., Богданов В.Л., Шмелева И.В. Новые сведения о развитии процессов эвтрофикации литоральной зоны восточной части Финского залива // Вестник СПбГУ. Сер. 7, вып. 4, с. 76 – 86, 2005.
2. Stepanova E.V., Frumin G.T. Background nitrogen concentrations in the unmonitored and partially monitored rivers of the Gulf of Finland basin. Russian journal of general chemistry 84(13), p. 2592-2595, 2014
3. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. – 274 с. 1993.
4. Серебрицкий И.А., Григорьев И.А. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге. – Санкт-Петербург: Сезам-принт, 448 с., 2019.
5. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям: РД 52.24.643-2002: утв. Росгидрометом: введ в действие с 03.12.2002. М.: 19 с., 2002.
6. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа. Ленинград: Гидрометеоиздат, 84 с.,1981.
7. Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие: Постановление Правительства РФ №255 от 3.03.2017

МЕТОДИКА, ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 5 СУТОК ДЛЯ РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ И ЗАМЕРЗАЮЩИХ НЕАРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И., Саперштейн Е.Б., Сергеева И.А., Ярославцева С.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

METHODOLOGY, TECHNOLOGY AND RESULTS OF NUMERICAL ICE FORECASTS WITH ADVANCE PERIOD UP TO 5 DAYS FOR THE RUSSIAN ARCTIC AND FREEZING NON-ARCTIC SEAS

Klyachkin S.V., Guzenko R.B., May R.I., Sapershtein Ye.B., Sergeyeva I.A., Yaroslavtseva S.I.

Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute", St. Petersburg, Russia

Аннотация

Для составления краткосрочных ледовых прогнозов в ФГБУ «ААНИИ» разработана численная модель эволюции ледяного покрова, позволяющая прогнозировать большинство его основных параметров, и интегрированная в общую ледово-информационную систему ААНИИ

Abstract

For developing the short-range ice forecasts, the numerical model of ice cover evolution which allows forecasting the major part of ice parameters, and integrated into the general ice-information system of AARI, was elaborated

Краткосрочные ледовые прогнозы являются важной частью оперативного гидрометеорологического обеспечения (ОГМО) любых видов деятельности на акваториях замерзающих морей. Для решения этой задачи в ААНИИ разработана численная модель эволюции ледяного покрова, позволяющая прогнозировать большинство его основных параметров. Технологически модель реализована в форме автоматизированного рабочего места, интегрированного в общую ледово-информационную систему ААНИИ.

Модель представляет собой численную реализацию уравнений динамики и термодинамики океана и ледяного покрова.

Океанский блок методики основан на модели океана Принстонского университета (Princeton Ocean Model, POM [1,2]). Главной особенностью этой модели является описание вертикальной структуры океана с помощью так называемых σ -координат, т.е. фиксированного количества слоев, толщина которых переменна и зависит от глубины места. Система уравнений модели включает уравнения движения, неразрывности, баланса турбулентной энергии, диффузии тепла и солей с соответствующими граничными условиями. В модели разделены вертикально интегрированные уравнения (баротропный модуль) и уравнения вертикальной структуры (бароклинный модуль). Уравнения баротропной скорости получены путем интегрирования по глубине уравнений бароклинного модуля, в результате чего устраняется вся вертикальная структура.

Ледовый блок методики основан на модели ААНИИ, главной особенностью которой является имитация ледяного покрова с помощью так называемых маркеров (условных льдин) [3]. Каждый маркер обладает своими индивидуальными свойствами (координаты, скорость, толщина, торосистость, разрушенность). Скорость дрейфа льда рассчитывается как среднее по ячейке сетки, а перемещение и термические изменения рассчитываются для каждого маркера отдельно. Параметризация внутреннего взаимодействия в ледяном покрове основана на вязко-пластической реологической модели. Система уравнений модели включает уравнения движения и теплового баланса с соответствующими граничными условиями [4]. Благодаря использованию метода маркеров нет необходимости включать в систему уравнение неразрывности.

Временной шаг модели составляет: для баротропной моды океанского блока – 5 секунд, для бароклинной моды – 2,5 минуты, для динамики ледяного покрова – 10 минут, для термики ледяного покрова – 3 часа. Дискретность обмена данными между ледовым и океанским блоками составляет 1 час. Дискретность записи результатов может варьироваться по желанию

пользователя от 1 до 12 часов. Перед запуском модельного расчета осуществляется так называемый «разгон» океана, продолжительность которого составляет 10 полусуточных приливных циклов.

В качестве исходной и контрольной ледовой информации используются ледовые карты в формате SIGRID-3, который является международным стандартом передачи ледовой информации. Карты составляются специалистами ФГБУ «АНИИ» по спутниковым снимкам среднего разрешения в видимом диапазоне (NOAA, MODIS-TERRA, и т.п.) и/или в радиолокационном диапазоне (SENTINEL). Иногда, по мере возможности, привлекаются снимки высокого разрешения в радиолокационном диапазоне (RADARSAT-2). Помимо спутниковой информации, при составлении ледовых карт принимается во внимание все другие источники информации, доступные на данный момент (береговые гидрометеорологические станции, попутные судовые наблюдения, и т.д.). В случае, если фактическая ледовая карта освещает не всю модельную область (облачность, помехи, недостаточно широкая сцена снимка), такие пробелы заполняются результатами предыдущего прогноза.

В качестве исходных гидрологических данных используются либо среднемесячные поля температуры и солености воды на стандартных горизонтах [5,6], либо результаты предыдущего прогноза. Первый вариант применяется в том случае, если прогнозы по данному региону составляются нерегулярно, и между прогнозами имеются длительные перерывы. В любом случае, перед запуском очередного прогноза гидрологические данные подвергаются специальной процедуре коррекции, т.е. поле температуры и солености воды согласовывается с фактическим распределением льда на момент составления прогноза. Эта процедура заключается в пересчете значений температуры воды на поверхности и последующей коррекции температуры в нижележащих слоях с учетом исправленной температуры на поверхности и с соблюдением условия вертикальной устойчивости.

Для задания атмосферного форсинга используются результаты глобальной модели атмосферы Глобальной Прогностической Системы США (Global Forecasting System, GFS). Эти данные находятся в свободном доступе, и представляют собой бинарные матрицы прогностических полей приземной температуры воздуха и атмосферного давления на уровне моря в регулярной сферической сетке с шагом $0,5^\circ$, временной дискретностью 3 часа и заблаговременностью 168 часов. В предшествующих версиях модели использовались принципиально аналогичные данные глобальной атмосферной модели Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (European Center of Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF), но с меньшей пространственно-временной детализацией ($2,5^\circ$ и 12 часов соответственно).

Технологически модель краткосрочных ледовых прогнозов реализована как автоматизированное рабочее место (АРМ «Ледовый прогнозист»), встроенное в общую схему информационных потоков, функционирующую в АНИИ в процессе СГМО. С точки зрения оператора АРМ «Ледовый прогнозист» эта работа организована следующим образом.

В сроки, установленные временным регламентом, на сервер системы управления данными (Data Handling System, DHS) выкладывается информация, используемая АРМ «Ледовый прогнозист» в качестве исходных данных. Система DHS автоматически пересылает эту информацию по электронной почте на адрес компьютера АРМ «Ледовый прогнозист», и, кроме того, сам оператор АРМ «Ледовый прогнозист» может самостоятельно скопировать эти данные на свой компьютер непосредственно с сервера DHS. Соответственно, готовый ледовый прогноз выкладывается оператором АРМ «Ледовый прогнозист» на сервер DHS (и становится доступен всем клиентам DHS), а система DHS автоматически пересылает эту информацию на адреса получателей, прописанных в специальной папке DHS.

Такой порядок используется в АНИИ уже довольно давно, и принципиально зарекомендовал себя с положительной стороны, однако в настоящее время необходимость радикального обновления системы управления СГМО в АНИИ стала очевидной.

Важной частью технологии краткосрочного ледового прогнозирования является представление прогностических результатов. В зависимости от запросов потребителя прогностическая информация может отображаться в разных видах (карты-схемы, графики,

таблицы и т.д.) и форматах (растровая графика, текстовые файлы, таблицы Excel, векторные файлы в форматах ГИС и т.д.). Одной из наиболее перспективных форм представления ледовой прогностической информации являются электронные картографические навигационные информационные системы (ЭКНИС), в том числе De-Cart Navigator или NaviSailor, позволяющие просматривать данные об ожидаемых ледовых условиях совместно с навигационной информацией.

Оценка достоверности прогнозов выполняется только по тем параметрам, которые четко обозначены на фактических (исходных и контрольных) ледовых картах, а именно по общей и частной сплоченности.

Для оценки прогностического метода применяются две характеристики: оправдываемость и эффективность [7]. Оправдываемость прогноза – отношение количества ячеек сетки, в которых прогноз оказался успешным, к общему количеству ячеек сетки. Эффективность прогноза – разность между оправдываемостью модельного прогноза и инерционного прогноза (инерционный прогноз – это неизменное состояние ледяного покрова в течение срока заблаговременности). Прогноз сплоченности (общей или частной) в данной ячейке считается оправдавшимся, если прогностическое и фактическое значения сплоченности попадают в одну и ту же стандартную градацию, либо если разность между прогностическим и фактическим значением не превышает ± 1 балл по абсолютному значению.

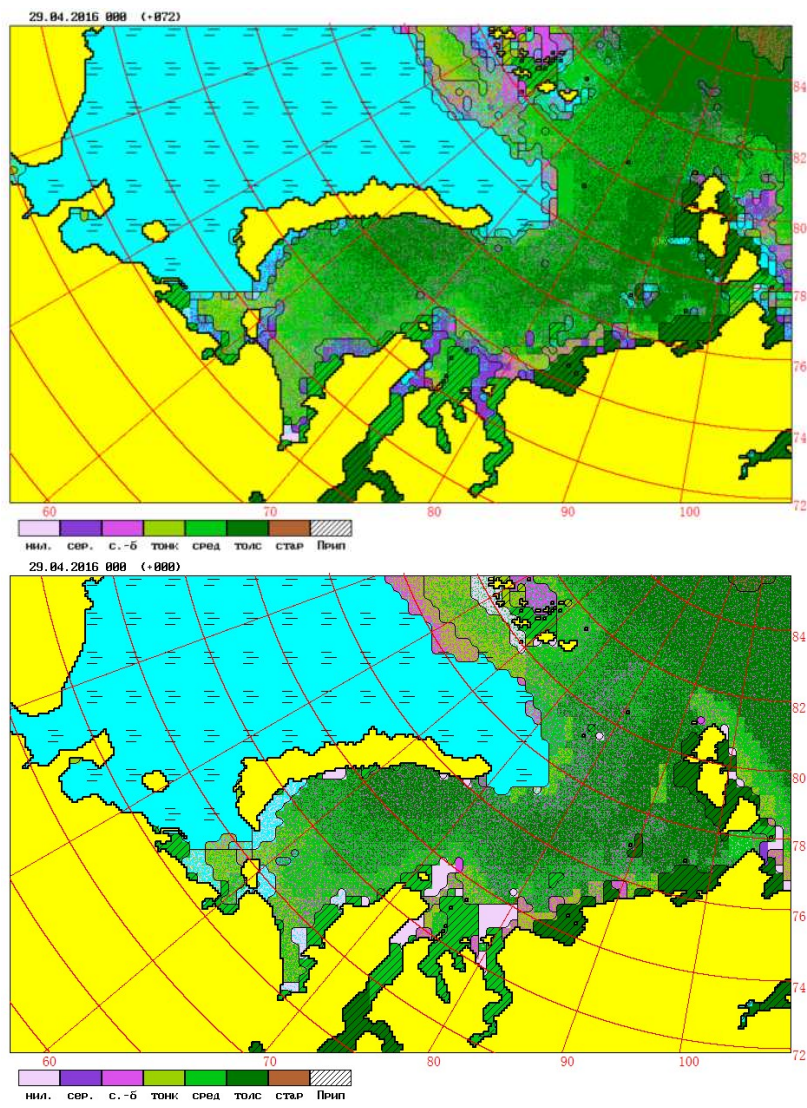
В таблице 1 представлены обобщенные результаты оценок достоверности прогнозов общей и частной сплоченности по нескольким регионам.

Таблица 1. Обобщенные результаты оценок достоверности краткосрочных прогнозов общей и частной сплоченности льда

Регион	Общая		молодой		1-л. тонкий		1-л. средний		1-л. толстый	
	Опр.	Эфф.	Опр.	Эфф.	Опр.	Эфф.	Опр.	Эфф.	Опр.	Эфф.
Баренцево и Карское	92,6	3,0	85,2	2,0	90,9	3,1	94,7	2,6	98,5	1,3
Печорское	88,2	4,1	80,1	2,7	85,8	3,7	94,7	1,9		
Карское и Лаптевых	93,1	3,2	86,2	2,0	95,1	2,8	98,1	1,2	96,1	2,0
Лаптевых и В.-Сибирское	93,0	4,3	85,1	1,9	97,5	2,0	92,1	1,1	97,3	1,7
В.-Сибирское и Чукотское	90,9	4,5	89,8	3,2	92,4	1,9	97,3	1,3	94,5	1,2
Финский залив	90,0	1,2	85,1	2,7	91,0	2,1				
Север Каспийского	91,3	5,1	90,1	4,4	98,3	1,4				
Татарский пролив	88,0	2,7	85,1	0,8	92,1	1,2	98,4	0,7		
Юго-запад Охотского	93,2	2,2	85,8	0,5	85,2	3,1	95,5	1,0		
В среднем	91,1	3,4	85,8	2,2	92,0	2,4	95,9	1,4	96,7	1,6

Как видно из приведенной таблицы, в целом оправдываемость краткосрочных ледовых прогнозов составляет от 86 до 97% при устойчивой положительной эффективности от 1,4 до 3,4%. Также следует обратить внимание, что наихудшую оправдываемость имеют прогнозы молодых льдов, а наилучшую - 1-летних толстых. Это объясняется тем, что молодые льды наиболее изменчивы и с точки зрения динамики (имеют наибольшие скорости дрейфа, выторашиваются в первую очередь), и с точки зрения термодинамики (быстро и легко образуются, и так же быстро тают), тогда по мере увеличения толщины льда изменчивость и подвижность снижаются. Поэтому при прогнозировании молодых льдов ошибки бывают заметно чаще, чем при прогнозировании более толстых льдов. Эта же закономерность прослеживается и при анализе сезонного хода достоверности прогнозов: в периоды активной изменчивости ледовых условий оправдываемость прогнозов снижается, а эффективность растет, тогда как в периоды относительной стабильности - наоборот.

На рисунке 1 показан пример прогностической и фактической карты распределения ледяного покрова в Баренцевом и Карском морях.



а)

б)

Рисунок 1. Прогноз распределения ледяного покрова от 26.04.2016 на 29.04.2016 (а) и фактическое распределение 29.04.2016 (б) в Баренцевом и Карском морях

Литература

1. Blumberg, A. F., Mellor G. L., A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Vol. 4, edited by N.Heaps, pp. 208, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1987.

2. Mellor, G. L. A three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model. Users guide. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences Princeton University, Princeton, NJ 08544-0710. 2003. 53 p.

3. Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Численная модель эволюции ледяного покрова арктических морей для оперативного прогнозирования. «Лед и снег», 2015, т.55, №3, С.83-96.

4. Николаева А.Я., Шестериков Н.П. Метод расчета ледовых условий (на примере моря Лаптевых). - Тр.ААНИИ, 1970, т.292, с.143-217.

5. Locarnini, R. A., A. V. Mishonov, J. I. Antonov, T. P. Boyer, H. E. Garcia, O. K. Baranova, M. M. Zweng, C. R. Paver, J. R. Reagan, D. R. Johnson, M. Hamilton, and D. Seidov, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 73, 40 pp.

6. Zweng, M.M, J.R. Reagan, J.I. Antonov, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, T.P. Boyer, H.E. Garcia, O.K. Baranova, D.R. Johnson, D.Seidov, M.M. Biddle, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 74, 39 pp.

7. Наставление по службе прогнозов. М.: ТРИАДА ЛТД, 2011. Раздел 3. Часть III. 102 с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ВЕРХОВЬЕВ РЕКИ ОРЕДЕЖ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ (2016-2017 ГГ.)

КОЗЛОВА А.В., ЗУЕВА Н.В.

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,
г. Санкт-Петербург, Россия

EVALUATION OF THE QUALITY OF THE HEADWATERS OREDEZH RIVER BY HYDROCHEMICAL AND TOXICOLOGICAL INDICATORS (2016-2017)

KOZLOVA A.V., ZUEVA N.V.

RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY, St. Petersburg, Russia

Качество вод верховьев р. Оредеж оценивалось по гидрохимическим и токсикологическим показателям. Оценка показала, что участок реки Старый Оредеж можно отнести к «чистым» водам. При движении от истока, отмечается ухудшение качества воды до «умеренно-загрязненной» (2017 г.) и «загрязненной» (2016 г.).

The water quality of the Oredezh river was evaluated by hydrochemical and toxicological indicators. The evaluation showed that the section of the Old Oredezh river belong to the category of «clean» water. When moving from the source, the water quality deteriorates to «moderately polluted» (2017) and «polluted» (2016).

Под экологической оценкой понимается параметрическое определение состояний природной среды, обеспечивающих существование сообществ живых организмов, характерных для этих состояний в условиях естественного или антропогенного режимов их развития [1].

Качество воды представляет собой характеристику ее состава и свойств, определяющая пригодность воды для конкретных видов водопользования [2]. Применительно к водотокам, для оценки качества вод используется как абиотическая, так и биотическая составляющая. Абиотическая составляющая традиционно оценивается с помощью гидрохимических показателей. Это может быть, как оценка качества вод на основе единичных оценок путем сравнения концентраций загрязняющего вещества или соединения с установленными нормативами, так и комплексная оценка на основе гидрохимических индексов.

В связи с очевидной недостаточностью оценки качества водной среды с использованием одной только абиотической составляющей, необходимо совместно с гидрохимическими использовать биологические методы оценки, использование которых позволяет охарактеризовать водный объект по совокупности действия всех веществ [3].

К биологическим методам оценки традиционно относят метод биоиндикации и биотестирования. Биоиндикационные методы с использованием различных групп организмов достаточно широко применяются в экологических исследованиях водных объектов. Методы биотестирования, несмотря на широкое использование при контроле качества вод различного происхождения [4], в комплексных экологических исследованиях применяются пока реже. Биотестирование воды предполагает оценку качества воды по ответным реакциям водных организмов, являющихся тест-объектами [5]. Для определения токсичности поверхностных водных объектов в качестве тест-объектов используются представители различных таксономических уровней.

Таким образом, для объективной оценки качества речных вод, особенно водотоков, протекающих в черте урбанизированных территорий, необходимо совместное использование гидрохимических и биологических характеристик.

Цель данной работы – оценка качества вод верховьев р. Оредеж по гидрохимическим и токсикологическим показателям.

Объектом исследования является река Оредеж. Данный водоток протекает на юго-западе Ленинградской области, и является правым притоком реки Луги. Оредеж протекает по территории трех районов Ленинградской области (Лужского, Гатчинского и Волосовского). На берегах реки расположено большое количество населенных пунктов и баз отдыха. Кроме того, вдоль берегов проходят несколько автомобильных дорог. В верховье реку также несколько раз пересекает крупная автомобильная магистраль.

В качестве исходных данных, используются данные концентраций загрязняющих веществ и результаты биотестирования природной воды, полученные в летний период 2016 и 2017 гг. Для оценки качества водотока по гидрохимическим показателям применяется покомпонентная гидрохимическая оценка и рассчитанный для всех станций индекс загрязненности воды (ИЗВ) [6]. Для оценки качества вод по токсикологическим характеристикам, в данной работе используются результаты биотестирования воды с участием 2 организмов разного таксономического уровня: одноклеточные зеленые водоросли (*Chlorella vulgaris*) и простейшие – инфузории (*Paramecium caudatum*). Данные тест-объекты широко представлены в природоохранных нормативных документах и общепринятых методиках, включенных в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Компонентная гидрохимическая оценка качества вод показала, что исследуемые станции водотока характеризуются слабощелочной реакцией среды (рН от 7,30 до 8,10), средней жесткостью. Для всех станций отмечается достаточное количество кислорода, наиболее высокое содержание кислорода отмечается на участке Старого Оредежа. Также исследуемый участок реки характеризуется относительно небольшим количеством легкоокисляющегося органического вещества. Отмечается небольшое превышение ПДК (рыбохозяйственных) в 2017 году по показателям БПК₅ и ХПК на 2 участках (участок близ д. Батово и д. Выра). Кроме того, в 2016 году отмечалось превышение ПДК по таким показателям как, азот аммонийный, азот-нитратный и железо общее. В 2017 году также превышена предельно-допустимая концентрация по железу и фенолам.

Расчет ИЗВ для всех исследуемых станций р. Оредеж показал следующее: участок реки Старый Оредеж за весь период исследований относится ко II классу качества вод, т.е. «чистым» водам. Далее при движении вниз по реке качество воды ухудшается. В 2016 году участки водотока вблизи д. Батово и д. Выра относятся к категории «загрязненные», а в 2017 году к категории «умеренно-загрязненные» воды.

Оценка качества вод по токсикологическим характеристикам с использованием тест-объекта *Paramecium caudatum* показала, что в 2016 году участок реки Старый Оредеж и вблизи д. Батово имеют допустимую степень токсичности. Значение данного показателя для станции вблизи д. Выра в этот же период выше, следовательно, в данном случае отмечается умеренная степень токсичности.

В 2017 году в качестве тест-объектов для исследования качества водотока наряду с инфузориями были использованы одноклеточные зеленые водоросли (*Chlorella vulgaris*). Оценка с использованием данного тест-объекта показала присутствие острого токсического действия для 2 станций реки (участок реки Старый Оредеж и Оредеж вблизи д. Выра) и его отсутствие в точке отбора проб рядом с д. Батово. Степень токсичности для всех исследуемых станций по инфузориям является допустимой, наименьшее значение характерно также для станции реки вблизи д. Батово.

Таким образом, оценка качества р. Оредеж по гидрохимическим и токсикологическим характеристикам показала, что в 2016 году для 2 станций наблюдений характерны более высокие значения ИЗВ и степени токсического действия, чем в 2017 году. Участок реки Старый Оредеж характеризуется также более высоким значением ИЗВ и величиной острого токсического действия, тем не менее за весь период исследований данный участок можно отнести к «чистым» водам.

Литература

- 1 Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем: учебное пособие. – Изд-во Наука. – СПб., 2004. – 294 с.
- 2 ГОСТ 17.1.1.01-77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения – Введ. 1978-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001
- 3 Крайнюкова А.Н. Система интегральной токсикологической оценки природных и сточных вод // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. № 37. С. 30–33.
4. Р 52.24.566-94. Рекомендации. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. Москва. 1994
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. Абакумова В.А. - СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.
6. Временные методические указания, по комплексной оценке, качества поверхностных и морских вод. – М.: Госкомгидромет, 1986. № 250–1163. 5 с.

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА ГОРНОЙ РЕКИ ХЕМЧИК (РЕСПУБЛИКА ТЫВА) НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Д. Колупаева¹, Т.А. Виноградова^{1,3}, А.А. Остахов¹, О.М. Макарьева^{1,2}, Н.В. Нестерова^{1,4}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Институт мерзлотоведения им. М.П.Мельникова Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия

³ООО «НПО «Гидротехпроект»», Санкт-Петербург, Россия

⁴Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

MODELING OF THE MAXIMUM CHARACTERISTICS OF THE FLOW OF THE MOUNTAIN RIVER KHEMCHIK (REPUBLIC OF TYVA)

A.D. Kolupaeva¹, T.A. Vinogradona^{1,3}, A.A. Ostashov¹, O.M. Makarieva^{1,2}, N.V. Nesterova^{1,4},

¹Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia

³“Gidrotehproekt” LLC, St. Petersburg, Russia

⁴Russia State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

Представлены результаты использования детерминированной модели Гидрограф для получения кривой обеспеченности максимальных расходов воды неизученного горного водосбора реки Хемчик – с.Хемчик (республика Тыва). Систематизированы основные параметры модели для основных ландшафтов исследуемой территории. Верификация модели проведена на основе моделирования стока водосборов рек Тапсы – с.Кара-Кель и Хемчик – Ийме. Метод моделирования признан эффективным при оценке стока водосборов в условиях крайней ограниченности информации в труднодоступных регионах.

The paper presents the results of the application of the deterministic hydrological model Hydrograph to obtain the curve of guaranteed maximum water discharge of the Khemchik river in the Tyva Republic (Russia). The model parameters were estimated for the main landscapes of the studied territory. The verification of the model was carried out on the basis of modeling the streamflow of two basins - the Tapsa River - Kara Kel and Khemchik - Iyme. The modeling method is found to be an effective tool for assessment of streamflow characteristics in the conditions of ungauged regions.

Одним из практических вопросов гидрологии является оценка максимальных расходов воды. В настоящее время существует множество методов их расчета, однако в слабоизученных регионах изыскатели могут столкнуться с проблемой обоснованности расчетов стандартными методами. В работе [1] показано, что в ряде случаев следование рекомендациям СП 33-1012003 не гарантирует получение величин с достаточной точностью.

Целью работы является исследование возможностей математического моделирования для оценки срочных расходов воды малой обеспеченности на примере неизученного горного водосбора р.Хемчик–пос. Хемчик (площадь 1750 км², Республика Тыва). Актуальность исследования обусловлена регулярным подтоплением населенных пунктов в долине р. Хемчик и необходимостью инженерных решений для предотвращения опасных гидрологических явлений.

Река Хемчик, левый приток р. Енисей, берет начало на восточных склонах Шапшальского хребта. Хемчинская котловина, расположенная в Саяно-Тувинской горной системе, характеризуется контрастными физико-географическими условиями и хорошо выраженной вертикальной поясностью – ландшафты изменяются от высокогорий с ледниками до степных и даже полупустынных в долинах рек. Объектом исследования является водосбор р. Хемчик в створе поселка Хемчик площадью 1750 км² (Рис. 1). Средняя высота водосбора составляет 2240 м, максимальная – 3606 м (г. Ан-Оюк). Регион исследования слабо изучен в гидрологическом плане.

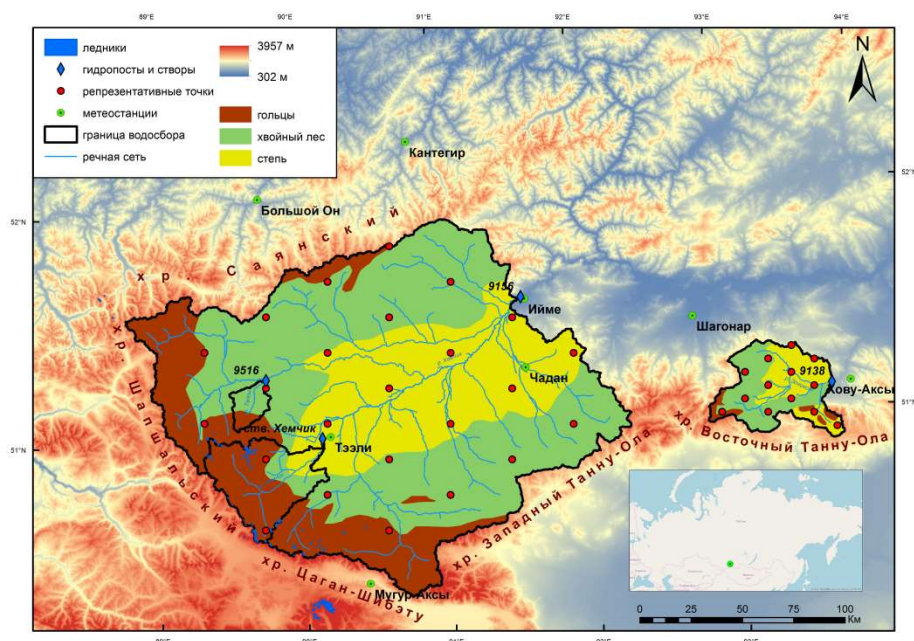


Рис. 1. Схема объектов исследования

Для моделирования процессов формирования стока применялась распределенная гидрологическая модель Гидрограф [2]. Модель содержит в себе алгоритмы, описывающие динамику тепла и влаги в почвенном профиле, включающем деятельный слой, в зависимости от их физических свойств [2]. Нетребовательность модели к входной метеорологической информации (температура и влажность воздуха, осадки) позволяет рассчитывать сток на малоизученных бассейнах. Ранее модель Гидрограф использовалась для расчетов характеристик максимального стока рек в горных условиях, например [3, 4].

Проведена схематизация водосбора – его территория разбита на стокоформирующие комплексы (СФК) –гольцы, хвойный лес и степь, а также назначены репрезентативные точки. Из-за отсутствия фактической информации параметризация СФК носила предельно схематический характер, основываясь на предположениях о водном балансе различных природных зон. В пределах СФК «степь» коэффициент стока составляет менее 0.1, речной сток формируется только во время снеготаяния, когда почва находится в промерзшем состоянии. В течение лета все осадки расходуются на испарение. Основная часть осадков, выпадающих в зоне СФК «гольцы», расходуются на речной сток, в основном – его подземную составляющую. СФК «лес» занимает промежуточное положение.

Для верификации параметров модели использовались два разномасштабных водосбора – р. Тапсы – с. Кара-Кель (302 км²) и р. Хемчик – Ийме (25500 км²), результаты были признаны удовлетворительными. Для р. Тапсы получено следующее распределение водного баланса: осадки – 430 мм, рассчитанный и наблюдаемый сток – 180 и 200 мм, испарение – 250 мм. Те же величины для р. Хемчик составили: осадки – 390 мм, рассчитанный и наблюдаемый сток – 120 и 130 мм, испарение – 270 мм. Медианный критерий эффективности Нэша-Сатклиффа (NS) составил 0.30 и 0.60 для рр. Тапсы и Хемчик. Пример рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока для р. Тапсы – с. Кара-Холь и р. Хемчик в створе Ийме представлены на рис. 2.

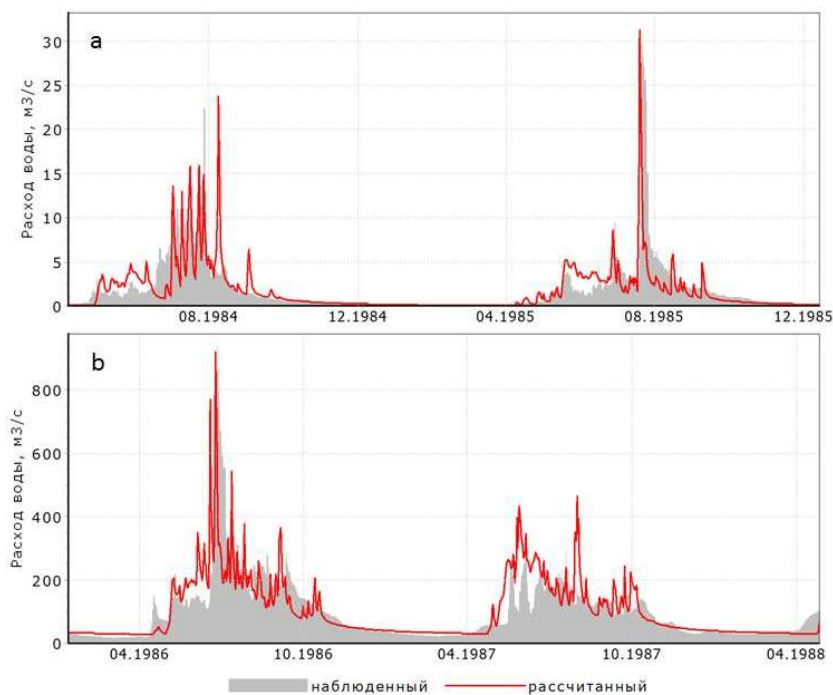


Рис. 2. Пример рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока: а) р. Тапсы – с. Кара-Холь; б) р. Хемчик – пгт. Ийме

Моделирование стока воды для реки Хемчик – пос. Хемчик проводилось за период 1966-2012 гг. с использованием метеорологических данных наблюдений на станции Тали. В среднем за этот период по данным моделирования слой осадков составил 470 мм, испарения и стока – 240 и 230 мм соответственно.

На основе результатов моделирования построена кривая обеспеченности максимальных расходов воды. Для перехода от суточных расходов к срочным использованы зависимости наблюдаемых величин максимальных срочных и суточных расходов на изученных створах.

На основе рассчитанных максимальных расходов воды построена кривая обеспеченностей и проведено сравнение полученной кривой с данными расчетов по стандартной методике СП 33-101-2003 (СП) по реке-аналогу (Рис. 3).

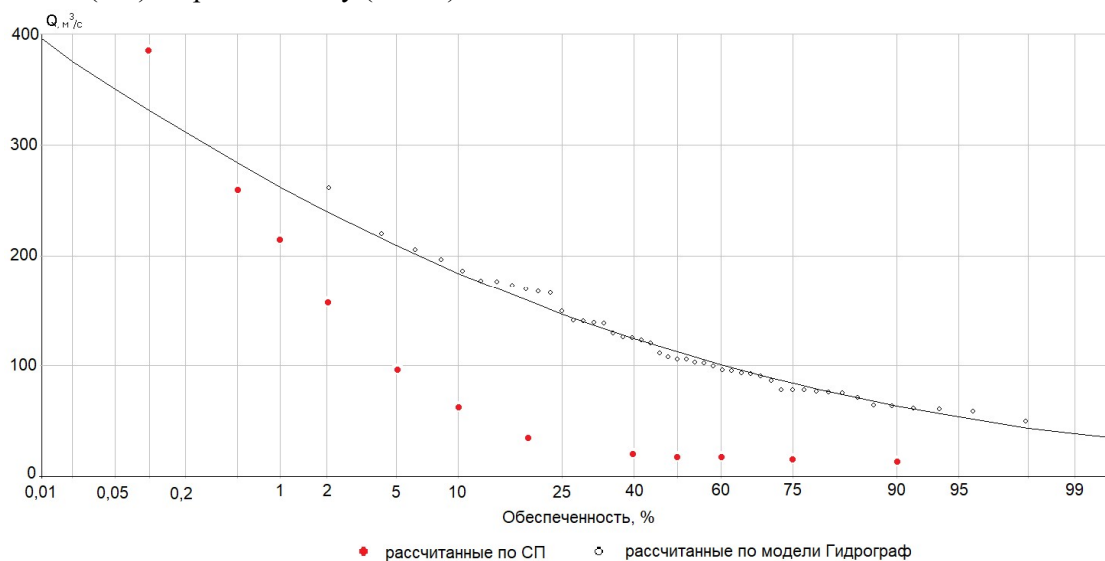


Рис. 3. Кривые обеспеченности максимальных расходов воды паводков, рассчитанные на основе моделирования и методами СП. Р. Хемчик, створ Хемчик

Максимальные расходы на всем промежутке обеспеченности, полученные на основе моделирования, оказались в 1,5-2 раза выше величин, полученных по СП. Несмотря на соответствие водосборов рр. Хемчик и Элегест требованиям [5] для рек-аналогов, условия формирования стока на них значительно отличаются. Например, средняя и максимальная высота водосбора р. Элегест почти на 1000 м ниже, чем в бассейне р. Хемчик. Помимо этого, отличительной чертой водосбора реки Хемчик до створа Хемчик является наличие ледников, не характерное для водосбора р. Элегест. Более высокая точность модельных расчетов подтверждается и свидетельством МЧС Республики Тыва о регулярном подтоплении населенного пункта Хемчик, что не прогнозируется при величинах расходов, полученных методами СП.

В целом для обеспеченностей более 1% рассчитанные расходы значительно превосходят расходы, оцененные методами стандартной методики. Однако в условиях отсутствия альтернативных гидрологических постов с данными наблюдений, мы не можем подтвердить факт правильного выбора р. Элегест в качестве аналога. Проблема выбора рек-аналогов характерна для многих регионов России [1]. Использование методов математического моделирования может служить полезным дополнением при решении практических задач в слабоизученных регионах.

Литература

- [1] Макарьева, О. М., Бельдиман, И. Н., Лебедева, Л. С., Виноградова, Т. А., Нестерова Н. В., 2017. К вопросу об обоснованности рекомендации СП 33-101-2003 для расчетов характеристик максимального стока малых рек в зоне распространения многолетней мерзлоты. Инженерные изыскания 6-7, 50–63.
- [2] Виноградов, Ю. Б., Виноградова, Т. А., Математическое моделирование в гидрологии. Академия, Москва, 2010, С. 544.
- [3] Макарьева О.М., Виноградова Т.А., Нестерова Н.В., Виноградов А.Ю., Бельдиман И.Н., Колупаева А.Д., 2018. Моделирование катастрофических паводков в бассейне р. Туапсе. Геориск, Том XII, № 3, С. 78–89.
- [4] Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Лебедева Л.С., Виноградова Т.А., 2019. Моделирование процессов формирования стока рек высокогорной криолитозоны Восточной Сибири (на примере хребта Сунтар-Хаята). География и природные ресурсы, № 1, С. 178–186.
- [5] СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. Госстрой России, М., 2004

ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В РЕЧНЫХ ВОДАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

А.О. Даниленко, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова, Решетняк О.С.
ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, РФ

CHARACTERISTIC OF CHEMICAL SUBSTANCES' LEVELS AND HYDROCHEMICAL ANOMALIES IN THE RIVER WATERS OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.O. Danilenko, L.S. Kosmenko, M.Yu. Kondakova, Reshetnyak O.S.
FSBI "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don, Russian Federation

На основе многолетней гидрохимической информации проведено исследование особенностей компонентного состава речных вод АЗРФ. Установлено, что характерные уровни содержания химических веществ в речных водах разных частей Арктики близки друг другу, а гидрохимических аномалий относительно немного, и контрастность их невелика.

Based on the long-term hydrochemical information features of the river waters' component composition of the Russian Arctic were investigated. It was found that the characteristic levels of chemicals in river waters of different parts of the Arctic are close to each other, and there are relatively few hydrochemical anomalies, and their contrast is low.

В процессе своего круговорота вода, соприкасаясь с различными горными и осадочными породами и почвами, растворяет то или иное количество содержащихся в них веществ и становится сложным раствором, состав которого отражает естественные условия поверхностных слоев литосферы, в которых он формируется [1]. В настоящее время на химический состав природных вод прямо и косвенно влияет деятельность человека на водосборе, что влечет за собой появление аномально высоких значений концентраций химических веществ, не свойственных другим компонентам геологической оболочки.

Обнаружение и последующая характеристика таких гидрохимических аномалий предполагает знание характерных уровней содержания химического вещества в речных водах на какой-либо территории, сравнительно однородной с точки зрения факторов формирования компонентного состава поверхностных вод, определяемых с помощью точечных статистических оценок вариационных рядов данных.

Учитывая протяженность Российской Арктики с запада на восток, ее территория была разбита на сравнительно однородные секторы по косвенным факторам формирования химического состава природных вод (климата, водного режима, рельефа местности и т.д.): Европейская Арктика, Арктика Западной Сибири, Арктика Восточной Сибири. В процессе работы с фактическим материалом было установлено, что прямые факторы формирования химического состава природных вод (горные породы геохимических полей, почвы) формируют существенные различия между компонентным составом участков рек Кольского полуострова и бассейна р. Печора. Поэтому было целесообразно разделить Европейскую Арктику на две части: западную (реки Кольского п-ова), и восточную (реки бассейна Печоры), и рассматривать их отдельно [2].

На основе результатов анализа многолетней гидрохимической информации (1980-2017 гг.) были выявлены уровни содержания химических веществ [2] и гидрохимические аномалии для рек арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ).

Характерный для того или иного арктического сектора уровень содержания в речной воде химического вещества ($\bar{C}_{ггф}$) был вычислен как среднее арифметическое всех установленных на данной территории характерных уровней C_x (исключая экстремальные значения), рассчитанных также как средние арифметические вариационных рядов по отдельным гидрохимическим показателям [3]. Речные участки, где был установлен статистически значимый тренд, не включались в расчеты. Это касалось нефтепродуктов и никеля для западной части Европейской Арктики; азота аммонийного и нефтепродуктов для восточной части

Европейской Арктики; азота аммонийного и соединений меди и цинка для Западной части Арктики и соединений никеля для рек Восточной части Арктики (таблица 1).

Таблица 1. Уровни содержания химических веществ ($\bar{C}_{ззф}$), их изменчивость (σ) и однородность (C_v в %) в водах речных участков различных секторов Российской Арктики

Показатели	$\bar{C}_{ззф} + \sigma$ (C_v)			
	Западная часть Европейской Арктики	Восточная часть Европейской Арктики	Арктика Западной Сибири	Арктика Восточной Сибири
ионы магния, мг/дм ³	3,43±4,88 (142)	3,6±1,1 (31)	4,15±1,45 (35)	3,58±1,82 (51)
ионы кальция, мг/дм ³	8,12±11,33 (140)	15,6±8,0 (51)	9,91±4,71 (48)	15,32±11,56 (75)
хлориды, мг/дм ³	6,48±1,54 (24)	7,5±6,2 (82)	4,62±2,07 (45)	3,89±3,18 (82)
сульфаты, мг/дм ³	4,98±4,05 (81)	9,7±3,5 (37)	9,98±5,18 (52)	15,05±5,66 (38)
гидрокарбонаты, мг/дм ³	17,7±5,29 (30)	59,5±32,5 (55)	50,46±23,26 (46)	28,73±6,70 (23)
общее количество органического вещества, мг/дм ³	14,4±2,8 (19)	23,9±4,0 (17)	19,93±6,59 (33)	13,74± 3,14 (23)
азот аммонийный, мг/дм ³	0,03±0,02 (59)	Не рассчитан	Не рассчитан	0,05±0,01 (24)
нефтепродукты, мг/дм ³	Не рассчитан	Не рассчитан	0,312±0,039 (12)	0,059±0,013 (22)
соединения железа, мг/дм ³	0,15±0,03 (18)	0,24±0,21 (86)	1,16± 0,53 (46)	0,17±0,12 (73)
соединения меди, мкг/дм ³	4,96±3,83 (77)	3,85±0,59 (15)	Не рассчитан	2,44±0,77 (32)
соединения цинка, мкг/дм ³	5,24±0,72 (14)	17,14±9,96 (58)	Не рассчитан	4,14±2,14 (52)
соединения никеля, мкг/дм ³	Не рассчитан	2,91± 0,31 (11)	2,82± 1,1 (39)	Не рассчитан
соединения марганца, мкг/дм ³	5,99± 0,63 (10)	39,9± 23,61 (59)	48,87± 37,93 (78)	16,6± 4,78 (29)

Результаты анализа данных о характерных уровнях содержания химических элементов в речных водах разных секторов Арктики показали их незначительную дифференциацию по содержанию многих элементов за исключением тех, которые отражают геохимическую специализацию этих секторов (например, соединения железа, нефтепродукты в воде речных участков на территории крайних северных широт Западной Сибири) [3]. Можно заключить, что арктические участки рек разных частей АЗ РФ по химическому составу между собой близки.

Проявления аномальности содержания химических веществ было изучено для главных ионов (кальция, магния, гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов), соединений некоторых тяжелых металлов (железо, медь, цинк, никель, марганец), соединений аммонийного азота, нефтепродуктов и общего количества органического вещества (по ХПК).

Методология оценки гидрохимических аномалий в настоящее время не разработана, но в классических геохимических исследованиях за критерий аномальности принимают величину стандартного отклонения от геохимического фона территории [4].

Учитывая небольшие объемы выборок и априорность утверждения о нормальности распределения характерных уровней содержания химических веществ в речных водах на

выделенных территориях Российской Арктики, аномальными считались уровни, превышающие три стандартных отклонения от усредненного значения для территории:

$$C_x > C_{ггф} + 3\sigma \quad (1)$$

Критерий аномальных отклонений - двусторонний. Он позволяет наряду с участками рек с повышенными значениями (положительные аномалии) выделять и области пониженных содержаний (отрицательные аномалии) элементов. Последние встречаются значительно реже, так как естественным состоянием элементов в земной коре является рассеяние (закон Кларка-Вернадского), в то время как их концентрирование, – явление аномальное, обычно связанное с процессами скопления минерального вещества [5].

Интенсивность проявления гидрохимической аномалии проявляется в коэффициенте концентрации химического вещества по сравнению с фоновым его содержанием в остальной совокупности (коэффициент контрастности) [3]. Рассчитывается он как отношение величины аномального содержания вещества в водном объекте к усредненному значению концентрации по показателю для конкретной части территории АЗ РФ. Величины коэффициентов контрастности для выявленных положительных гидрохимических аномалий представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициент контрастности положительных гидрохимических аномалий в речных водах Российской Арктики

Река, пункт	Положительная гидрохимическая аномалия по содержанию:	Коэффициент контрастности
Вирма, с. Ловозеро	соединений железа	2,9
	соединений марганца	3,1
Кола, 0,5 км выше пгт Выходной	соединений цинка	1,4
Колос-йоки, пгт Никель, 0,6 км выше устья	сульфатов	19,8
	соединений цинка	2,2
	соединений марганца	6,9
Печенга, п. Корзуново	сульфатов	4,0
	соединений марганца	2,0
Печенга, ст. Печенга	сульфатов	5,1
	соединений марганца	1,9
Поной, с. Краснощелье	соединений железа	4,1
	соединений марганца	1,9
Териберка, 60-й км Серебр.а/д,	соединений цинка	1,7
Нама-Йоки, с. Луостари	сульфатов	5,1
	соединений марганца	2,4
Воркута, г. Воркута	сульфатов	2,5
Хантайка, г. Снежногорск	нефтепродуктов	3,6
Алазея, п. Андрушкино	общего количества органического вещества	1,8
	соединений железа	3,4
Анабар, с. Саскылах,	общего количества органического вещества	1,9
Лена, п/ст. Хабарова,	хлоридов	5,1
	гидрокарбонатов	1,7
Оленек, п/ст. Тюмети,	гидрокарбонатов	3,9

Выявленных гидрохимических аномалий в арктических речных водах сравнительно немного и контрастность их невелика, поскольку при расчете характерных уровней содержания химических веществ в пределах того или иного арктического сектора использовались вариационные ряды данных о концентрациях, не содержащие многолетнего тренда. Согласно полученным результатам, по степени концентрирования химического вещества практически все

выявленные гидрохимические аномалии относятся к геохимическим полям слабого концентрирования (коэффициент контрастности до 10) за исключением сульфатов в р. Колос-йоки (пгт. Никель) [5].

Большая часть гидрохимических аномалий обнаруживается на территории Кольского полуострова (речные участки западной части Европейской Арктики). Это определяется, во-первых, пестротой геохимической специализации Балтийского кристаллического щита, а во-вторых, тем, что реки Кольского полуострова относятся к категории малых и, реже, средних водотоков, поскольку одной из особенностей малых рек является ярко выраженная зависимость их качества воды от состояния поверхности водосбора (значение этого фактора в ряде случаев может оказаться даже важнее климатических и погодных факторов, из-за чего гидрохимические показатели малых рек могут резко отличаться от характерных для региона) [6].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.

Литература

1. Алекин О.А. Общая гидрохимия (Химия природных вод). – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1948. – 208 с.
2. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Даниленко А.О Реки материковой части Российской Арктики. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 276 с.
3. Криночкин Л.А. Прогнозная оценка территории России по региональным аномальным геохимическим полям: Автореф. ... дис. д-ра геол.-мин. наук. – М., 2011. – 46 с.
4. Методические рекомендации по составлению карт районирования масштаба 1:5 000 00 по условиям применения геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых. - М.: ИМГРЭ, 1985 - 32 с.
5. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Романов В.А. Типы эндогенных геохимических полей и их поисковое значение //Геология и геофизика. – 2014. – Т.55, №22 – С. 370-380.
6. Жирма Вл.В., Пейсахович А.Н., Жирма В.В. О техногенных изменениях химического состава речных вод Краснодарского края // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т.13, №1(16). – С.1430-1432.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПЛЯЖЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НА ПОБЕРЕЖЬЕ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ

Конокова А.В.², Крупина А.А.¹, Воронцова А.С.³, Степанова Н.Б.^{1,4}

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

³Российский государственный гидрометеорологический университет

⁴Институт Океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

ASSESSMENT OF SANDY BEACHES' POLLUTION ON THE BASIS OF VARIOUS MONITORING METHODS ON THE COAST OF THE BALTIC SPIT

Konokova A.V.², Krupina A.A.¹, Vorontsova A.S.³, Stepanova N.B.^{1,4}

¹Moscow Institute of Physics and Technology, MIPT

²Lomonosov Moscow State University

³Russian State Hydrometeorological University

⁴Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow

В рамках прибрежной экспедиционной практики по программе «Плавучий университет ИО РАН», состоявшейся в период с 26 июня по 10 июля 2019 г. на Балтийской косе, было проведено исследование морского побережья косы на предмет загрязнения пляжа различными видами мусора. Целью данной работы было оценить, посредством применения трех методик - «OSPAR», «Sand Rake method» (Грабли), «Frame method» (Метод рамок), степень загрязненности побережья мусором разного размера (макро-, мезо- и микромусором: >25 мм, 5-25 мм и <5 мм, соответственно), материала, формы (1D, 2D, 3D для мезо-, и микромусора, в зависимости от соотношения сторон), а также определить вероятные источники загрязнения с помощью методики «Matrix Scoring Technique» для каждого участка исследований. В результате анализа обнаружилось преобладание пластикового (50-95% от общего количества найденных частиц) мусора 3D-формы разных размеров, в зависимости от его местоположения на побережье. А его главными источниками служат туризм и наземные свалки. Кроме того, для каждого метода характерны свои особенности, подробно обсуждаемые в работе.

Within the framework of the coastal expedition practice under the program "Floating University of IO RAS", held in the period from June 26 to July 10, 2019 on the Baltic spit, the study of the sea coast of the spit for beach pollution by various types of debris was carried out. The aim of this work was to assess, through the use of three methods - "OSPAR", "Sand Rake method" (rake), "Frame method" (frame Method), the degree of contamination of the coast debris of different sizes (macro-, meso - and micromusor: >25 mm, 5-25 mm and <5 mm, respectively), material, shape (1D, 2D, 3D for meso-, and micromusor, depending on the aspect ratio), as well as to determine the likely sources of pollution using the methodology "Matrix Scoring technique" for each research area. The analysis revealed a predominance of plastic (50-95% of the total number of particles found) 3D-shaped debris of different sizes, depending on its location on the coast. And its main sources are tourism and landfills. In addition, each method has its own characteristics, discussed in detail in the work.

Введение

В настоящее время существуют разнообразные методики мониторинга морского мусора [1]. Все они применяются для качественной и количественной оценки загрязнения различными мусорными фрагментами. Такой вид исследований необходим, так как для дальнейшего анализа и моделирования нужны действительные натурные данные по загрязнениям. В проведенном нами мониторинге песчаного побережья Балтийской косы используются три

методики: «OSPAR», «Rake method» («Грабли»), «Frame method» («Метод рамок»). Они имеют разный пространственный охват и позволяют по-разному, с точки зрения состава мусора, взглянуть на исследуемый район. В результате, были построены распределения по размеру (от крупного микро- (2 – 5 мм) – только «Грабли» и «Метод рамок», мезо- (5 – 25 мм) до макромусора (>25 мм)), по форме и материалу. Кроме того, для вероятностной оценки источников загрязнения применялся метод «Matrix Scoring Technique» [2]. Он предполагает отнесение к тому или иному загрязняющему источнику (туризм; поверхностный сток, наземные свалки, промышленность; мусор с судов; рыбная ловля) посредством выставления определенного балла по 5-ти балльной шкале. Проведенные исследования позволили оценить помимо загрязненности пляжа, также и применимость методик, выявить их характерные особенности.

Данные и методы

Исследование проводилось 5 июля 2019 г. на участках побережья Балтийской косы (рис. 1).

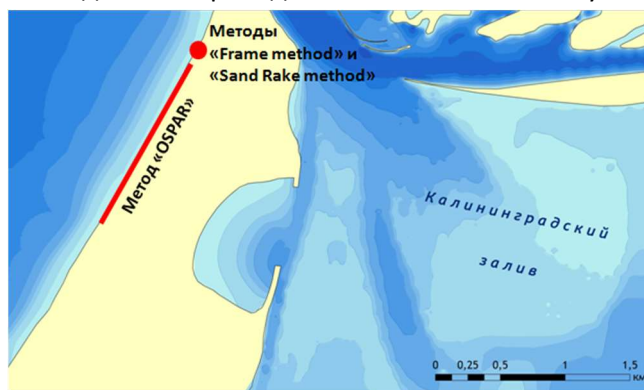


Рис. 1. Район исследований. Цветом обозначены места применения различных методов.

Описание методики «OSPAR»

На выбранном участке производится визуальный осмотр пляжа: видимый мусор (в данном исследовании – только пластиковый) заносится в протокол в соответствии с классификацией «OSPAR» или отбирается в нумерованные, согласно участкам, пакеты для дальнейшего протоколирования [3].

Для мониторинга морского мусора на побережье Балтийской косы был выбран участок песчаного пляжа от (54.632883N; 19.875339E) до (54.619657N; 19.862611E), протяженностью около 2 км. Мониторинг проводился на участках длиной 100 м по всей ширине пляжа (15 - 26 м, от уреза до авандюны). Расстояние между соседними участками составляло около 50 м. Общая площадь мониторинга и отбора пластикового мусора составила 18 900 м².

Описание методики «Rake method»

С помощью «граблей» производится отбор и просеивание поверхностного слоя песка пляжа (до глубины 3-5 см). Все объекты антропогенного происхождения, оставшиеся в граблях после просеивания, отбираются для последующего анализа. Отбор проб производится полосами шириной 0,5 м (по ширине пробоотборника-граблей) от уреза моря до полосы растительности у основания авандюны сегментами длиной 5 м, отмеченными флажками. Мусор, обнаруженный на одном сегменте, отбирается в отдельный пакет.

В данной работе мониторинг по «Rake» методу был проведен на участке площадью 20 м² (8 сегментов по 2,5 м²). Решение использовать меньшую площадь отбора было обусловлено, во-первых, обнаружением достаточного количества объектов мусора (> 20 шт), а также тем, что в рамках работы не запланировано сравнение разных участков пляжа по выбранной методике, а только оценка ее общей эффективности [4].

Описание методики «Frame method»

На выбранном участке ширина пляжа измеряется и делится на три равные части (дюна, берма, урез), расстояние между которыми зависит от конкретной ширины пляжа. В каждой части на расстоянии 8 м друг от друга размещаются три рамки отбора проб, каждая площадью 1 м² (квадраты). На каждом квадрате производится отбор верхних 3-х см песка шпателем и промывка снятого песка на сите крупностью 2 мм. Далее производится анализ содержимого сита, мусор помещается в пластиковые пакеты, отдельные для каждого квадрата.

Результаты применения метода «OSPAR»

Проведенный анализ позволяет нам сделать следующие выводы: с удалением от начальной точки, находящейся близ жилого посёлка, наблюдается общее снижение уровня загрязнённости с локальными максимумами на относительно удаленных участках. Это возможно объяснить наличием в районе этих участков удобного пешеходного выхода к морю и автомобильного подъезда, соответственно.

Наиболее существенными источниками загрязнения пляжа являются туризм и наземные свалки (составляют примерно 40% от общего числа источников). Рыбная ловля и мусор с судов составляют около 10%. Близость свалок и привлекательность пляжа как места отдыха обуславливают данное распределение по источникам загрязнения именно летом, когда проводились работы. В качестве рекомендации стоит отметить проведение аналогичных работ зимой, когда исключен фактор туризма в оценке загрязнённости.

Результаты применения метода «Rake method»

На участке из всех типов материалов наибольшее количество составляет пластик, что соответствует общим результатам мониторинга загрязнений пляжей. Интересно, что вторым по распространенности загрязнителем является парафин. По-видимому, он оказывается на пляжах в результате его использования на морских судах в качестве смазки двигателя.

Так как основную часть составляет пластик, то и размерная классификация, в основном, отражает их распределение. Таким образом, по размерному диапазону около 50% составляет мезомусор – как правило, разной степени раздробленности объектов из пластмассы. То есть, постепенно в результате влияния окружающей среды (в большей степени механического воздействия волн в прибойной зоне и также метеоусловий) крупные объекты измельчаются, и этот механизм преобладает.

Классификация по форме проводится для мезо-, и микромусора. Частицы, имеющие все три измерения примерно одного и того же порядка ($a \approx b \approx c$), могут быть классифицированы как трехмерные (3D). Плоские фрагменты, пленки имеют одну сторону намного меньше двух других ($a \approx b \gg c$) и, таким образом, двумерны (2D). Нити, волокна и т. д., имеющие $a \gg b \approx c$, являются одномерными (1D). В нашем исследовании значительную часть (более 70%) составляет мезо- и микромусор 3D формы.

По методике «Matrix Scoring Technique» были получено, что главным источником мусора служит поверхностный сток, наземные свалки, промышленность. Рядом с местом исследования находится мусорная площадка. Туризм - также немаловажный фактор, так как пляжи – популярное рекреационное место. В залив регулярно заходят суда, которые также оставляют в результате своей деятельности разнообразный мусор, в том числе и специфический (парафин).

Результаты применения метода «Frame method»

На исследованном участке наблюдается следующая тенденция: на урзе преобладает загрязнение микропластиком, в равной степени вызванным морскими (рыбная ловля, мусор с судов) и наземными (туризм, свалки, промышленность) источниками загрязнения. Зона уреза – быстро обновляемая часть пляжа, на которой преобладает малогабаритный и плавучий мусор, недавно принесенный волнами.

Берма в свою очередь более всего подвержена антропогенному загрязнению ввиду своего расположения (центральная часть пляжа). Поэтому на ней в большей степени встречается макромусор, в том числе пластик и сигареты, источником которых вероятнее всего являются туристы.

На дюне преимущественно находятся микропластик и керамический и стеклянный макромусор, скорее всего принесенные штормами или с наземных свалок.

Заключение

По проведенным исследованиям можно сделать вывод о значительном преобладании именно пластикового мусора равносторонней формы (3D-формы) разных размеров. Кроме того, значительно влияние местоположения на побережье.

По полученным результатам, возможно, произвести сравнение степени загрязненности пляжа по всем трем методам, а также рассмотреть применимость различных методик мониторинга и определить актуальные проблемы их использования.

Работы организованы в рамках образовательного проекта «Плавучий университет ИО РАН» при поддержке фонда целевого капитала МФТИ.

Литература

1. Ерёмкина Т.Р., Ершова А., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И. Выработка единых методик мониторинга загрязнения морским мусором и подготовка численных моделей // MICRO 2018. 19 – 23 November 2018, Lanzarote, Spain. «Fate and Impact of Microplastics: Knowledge, Actions and Solutions». 2018.
2. David T. Tudor, Allan T. Williams Development of a 'Matrix Scoring Technique' to determine litter sources at a Bristol Channel beach // J. Coast. Conserv. 2004. V.9. P. 119-127.
3. Wenneker B., Oosterbaan L. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area, Edition 1.0 // London: OSPAR Commision, 2010. P. 84.
4. Haseler M., Schernewski G., Balciunas A., Sabaliauskaite V. Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // J. Coast. Conserv. 2013. V.17, Issue 2.

МОДИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ПРИЗЕМНОГО БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НАД АКВАТОРИЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

О.Ю. Корнеев

ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Санкт-Петербург, Россия

MODIFICATION OF THE OBJECTIVE ANALYSIS METHOD FOR SURFACE LEVEL PRESSURE ABOVE ARCTIC OCEAN IN CASE THE LIMITED OF THE INITIAL HYDROMETEOROLOGICAL DATA AND USING OF THE NATURAL ORTHOGONAL FUNCTION

O.Y. Korneev

FSBI "North-West Administration for Hydrometeorology and Environment Monitoring", Saint-Petersburg, Russia

На основе выполненной типизации приземного барического поля в Арктике удалось повысить точность восстановления над акваторией Северного Ледовитого океана на 64% относительно среднемесячных норм

Using the surface level pressure above Arctic developed classification the accuracy of the restoration meaning of the pressure above Arctic ocean was increased by 64% relative to the average monthly rates

Главной проблемой проведения объективного анализа (ОА) [1] приземного барического поля (ПБП) над акваторией Северного Ледовитого океана (СЛО) является крайне малое число автоматических дрейфующих буев на ледяном покрове в рамках Международной программы по арктическим буям, передающих через спутники земли информацию о своем местоположении, атмосферном давлении и температуре воздуха (http://iabp.apl.washington.edu/maps_daily_map.html).

Общеизвестно, что любые гидродинамические и физико-статистические методы прогноза требуют для своей реализации исходное диагностическое поле. При этом, чем грубее, в смысле точности, определено (восстановлено) исходное поле, тем менее точным будет и составленный прогноз.

Существующая в настоящее время практика объективного анализа в метеорологии ориентирована на использование месячных норм в узлах регулярной сетки и полугодовых или месячных автокорреляционных пространственных функций, что является оправданным при большой плотности метеорологических наблюдений на суше. При объективном анализе барического поля над акваториями океанов ситуация существенно изменяется из-за малого числа фактических наблюдений. При этом возникают ситуации, когда расстояние от точки наблюдений до узла регулярной сетки становится больше, чем радиус используемой функции. В таких случаях значение атмосферного давления в узле принимается равным его среднемесячному значению (норме) для данной точки.

Синоптический опыт показывает, что в течение месяца в районе одной и той же точки наблюдений существуют периоды как циклонической, так и антициклонической завихренности

воздушных масс. Именно эти периоды определяют истинные границы пространственно-временной квазистационарности (анизотропности) атмосферных процессов, при осреднении которых в жестких календарных границах (дня, недели, месяца, года и т. д.) природная изменчивость затушевывается, а календарная норма объединяет в себе два диаметрально противоположных атмосферных процесса. Вполне очевидно, что при объективном анализе барического поля в конкретный день месяца было бы целесообразно использовать в узле среднее значение, являющееся не месячной нормой, а нормой атмосферного давления наблюдающегося типа завихренности атмосферных процессов в данном районе.

Для проверки выдвинутого предположения была разработана помесечная количественная типизация приземных барических полей в Арктике выше 55 градуса северной широты и использованием математического аппарата естественных ортогональных функций. При этом, с учетом того, что нам надо знать какой тип атмосферных процессов над СЛО, то типизировались ПБП над приарктической сушей, которые гораздо более точно можно построить по наземным метеорологическим станциям. С учетом наличия над Северным приполюсным районом Циркумполярного циклонического вихря вполне очевидно, что тип атмосферного процесса над акваторией СЛО будет зависеть от ПБП над приарктической сушей. Поэтому дальнейшим шагом в проверке выдвинутого предположения стало установление статистической связи между ПБП над сушей и СЛО для каждого выделенного типа.

Типизация тропосферных процессов для теплого и холодного полугодий в Арктике А.А. Дмитриева из ААНИИ [2] подтверждает наличие связи атмосферных процессов над сушей и СЛО, но она была составлена «вручную» на основе визуального анализа приземных синоптических карт и поэтому не имеет статистических характеристик в узлах регулярной сетки, что делает невозможным ее использование при автоматическом цифровом диагностировании.

Процедура создания помесечных типизаций заключалась в обработке Банка данных NCEP/NCAR срочных приземных барических полей (4 раза в сутки) выше 55° северной широты за 1964—2010 г.г. Для каждого месяца были выделены массивы полей ПБП для суши и океана. Далее для общего массива месяца строились пространственные автокорреляционные матрицы, вычислялись собственные значения матриц (табл.1) и по ним вычислялись естественные ортогональные функции (ЕОФ) для всего месячного поля.

Таблица 1. Собственные значения (%) месячных автокорреляционных матриц над Арктикой

п/п	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
1	38,207	35,470	32,525	32,641	31,983	27,313	22,478	26,276	28,092	29,758	32,995	33,920	32,619
2	18,805	20,251	21,089	17,713	19,110	18,924	18,417	18,969	17,253	18,098	19,702	19,659	20,425
3	11,866	13,889	12,759	12,833	12,544	13,672	15,256	12,304	12,346	13,146	13,126	12,409	13,148
4	10,058	9,093	11,110	9,964	9,272	9,658	11,265	10,235	10,477	9,873	9,390	10,099	9,140
5	4,729	5,172	5,839	6,630	5,512	7,327	7,593	6,913	8,324	6,860	5,994	5,275	5,687
6	3,949	4,276	4,191	4,467	4,284	5,336	6,098	5,861	4,834	4,990	4,509	4,496	4,098
Сумма	87,6	88,2	87,5	84,2	82,7	82,2	81,1	80,6	81,3	82,7	85,7	85,9	85,1

Как видно из представленной таблицы матрицы получились быстро сходящимися и уже первые 6 компонент описывают от 80 до 88 процентов общей изменчивости (дисперсии) поля. Данный факт позволил представлять срочные поля коэффициентами разложения по 6-10 ЕОФ для различных месяцев. В результате разложения каждый срок ПБП представлялся вектором коэффициентов от 6 до 10 значений, которые и были подвергнуты количественной типизации

методом К-средних. Результаты типизации представлены в таблице 2. Вышеперечисленная процедура была проведена для отдельных месячных типовых массивов полей суши и над СЛО, после чего были построены синоптико-статистические модели восстановления ПБП над СЛО в типе по данным над сушей. Точность восстановления оценивалась относительной ошибкой являющейся традиционно отношением дисперсии СММ к дисперсии месяца. Результаты моделирования представлены также в таблице 2.

Таблица 2. Результаты типизации атмосферных процессов в Арктике и моделирования ПБП над СЛО

Месяц	СКО [гПа]	Кол-во типов	СКО типа, гПа	Относит. ошибка типа	СКО ССМ, гПа	Относит. ошибка ССМ
1	14,4	19	8,8	0,61	7,27	0,26
2	14,1	22	8,58	0,61	7,27	0,26
3	13	25	7,97	0,61	6,96	0,29
4	10	15	7,8	0,78	6,3	0,40
5	9,1	23	6,38	0,70	5,4	0,35
6	8,1	25	5,45	0,67	5,08	0,40
7	7,5	32	5,27	0,70	4,88	0,42
8	7,9	15	5,9	0,75	5,06	0,53
9	9,5	20	7,27	0,77	6,18	0,42
10	11,6	20	7,87	0,68	6,88	0,35
11	13	21	8,05	0,62	7,03	0,40
12	13,6	15	8,95	0,66	7,06	0,27
Среднее	10,98		7,36	0,68	6,28	0,36

Результаты таблицы показывают, что средняя относительная ошибка типизации (отношение среднеквадратических ошибок (СКО) типа к СКО месяца) составляет 0,68, что соответствует уточнению значений месячной нормы на 32%, что в случае отсутствия данных буев в СЛО улучшит соответствующим образом точность объективного анализа. Средняя точность восстановления ПБП над СЛО по данным типовых ССМ оценена относительной ошибкой 0.36, что улучшает климатическую (месячную) точность на 64%.

Сущность предлагаемой модификации объективного анализа заключается в использовании при решении системы линейных уравнений не среднегодовых или среднемесячных значений атмосферного давления в узлах регулярной сетки, а типовых, а так же в использовании не полугодовой корреляционной функции, используемой в NCEP ($R = e^{-d^2/L^2}$), где d – расстояние [км] между буюм и узлом расчета, $L = 900$ км – масштаб), а соответствующих значений типовой пространственной корреляционной матрицы.

Для демонстрации возможных различий между значениями полугодовой и типовой автокорреляционных функций, а также демонстрации неоднородности структуры ПБП были вычислены их значения для одинаковых расстояний, выраженных в градусах меридиана (табл. 3). Для корреляционной матрицы конкретного типа ПБП в феврале значения функции вычислены для направлений от Северного полюса до широты 50° вдоль меридианов $0^{\circ}, 90^{\circ}$ и 270° .

Таблица 3. Различия полугодовой автокорреляционной функции типовой корреляционной матрицы

Шаг меридиану	по 2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
R полугодовой функции	0,91	0,68	0,42	0,22	0,09	0,03	0,03	0,01	0	0
R (0°)	0,88	0,67	0,42	0,20	0,07	0,02	0,01	-0,03	-0,05	-0,05
R (90°)	0,91	0,73	0,49	0,25	0,03	-0,11	-0,21	-0,26	-0,27	-0,26
R (270°)	0,68	0,14	-0,18	-0,31	-0,28	-0,19	-0,11	-0,10	-0,13	-0,18

Различия даже для первого шага ($2,5^{\circ} = 150$ миль) уже существенны. Кроме этого, если полугодовая функция предполагает отсутствие связи между точками, удаленными более чем на 1000 км, то для типовых функций и, соответственно, матриц наблюдается наличие связи даже при расстояниях более 3000 км (например, между Северным полюсом и районом озера Байкал). Такие существенные различия позволяют предположить, что для восстановления значений ПБП над СЛО можно использовать данные не только береговых и островных метеостанций, как это делается в существующем методе ОИ, но и данные метеостанций расположенных в центре и на южной окраине России.

Для проверки эффективности предполагаемого модифицированного метода ОА были вычислены значения приземного давления для координат автоматического буя № 9360 в феврале 1996 года, используя существующий и предлагаемый методы ОА. Результаты сравнения фактически измеренных и вычисленных значений представлены в табл. 4.

При расчетах использовались 3 ситуации: 1 - все существующие буи на данную дату в СЛО; 2 - все буи, за исключением тех, что находились в радиусе 800 км от точки расчета; 3 - без учета данных от буюв, а использовались только данные с материка.

Таблица 3. Результаты восстановления значений приземного давления в местоположение буя 9360 модифицированным (1) и традиционным (2) методами ОА в феврале 1996 г.

Дата феврал я	P ₀ гПа буя	P _t гПа типа	P _m гПа месяца	№ типа	Отклонение (P ₀ – P _{comp})						R _{min} типа	R _{filter} типа
					Все буи, ближайший - 330 км		Все буи, ближайший - 800 км		Без буюв			
					1	2	1	2	1	2		

06	1004,2	1005,2	1015,7	14	0,1	-1,4	0,6	-8,1	0,0	-12,2	0,10	0,70
07	1009,0	999,0	1015,7	8	-0,9	4,6	-0,1	-1,4	-1,4	-6,6	0,05	0,70
08	1005,0	999,0	1015,6	8	-1,8	5,1	-14,3	-4,7	-13,4	-8,7	0,05	0,70
09	990,0	999,0	1015,6	8	2,3	-8,6	-2,3	-20,3	-4,8	-23,7	0,05	0,70
10	985,7	999,0	1015,6	8	-0,4	-12,4	13,4	-25,3	1,9	-27,4	0,05	0,70
11	1005,2	1002,9	1015,6	9	1,3	-2,9	-0,4	-6,1	-3,0	-7,9	0,10	0,70
12	1014,5	1012,4	1015,6	39	-2,3	-1,4	0,3	-0,5	-5,7	-0,1	0,10	0,65
13	1029,2	1024,0	1015,4	26	2,4	3,1	-1,5	11,6	-5,0	13,6	0,10	0,70
14	1014,2	1017,4	1015,3	29	-0,9	-5,2	-2,9	-3,3	-4,2	0,9	0,05	0,65
15	998,1	1004,0	1015,3	28	3,9	-8,3	1,4	-14,5	-3,2	-16,8	0,05	0,65
16	998,5	1004,0	1015,2	28	1,1	-3,3	7,2	-11,5	5,7	-6,1	0,05	0,65
17	1004,3	999,0	1015,2	8	0,5	-0,3	-4,1	-5,7	-6,1	-9,6	0,05	0,70
18	1004,6	1003,0	1015,2	9	-1,7	-2,2	1	-6,1	1,9	-10,0	0,05	0,70
19	1003,5	999,0	1015,2	8	-0,8	-0,8	-4,4	-4,2	2,1	-11,1	0,05	0,70
20	997,0	996,0	1015,2	1	0,3	-0,9	-2,6	-7,8	2,1	-17,3	0,05	0,70
21	996,5	996,0	1015,2	1	-3,6	2,6	-7,6	-7,3	2,1	-16,7	0,05	0,70
22	983,4	996,0	1015,3	1	-1,3	1,2	-2,5	-20,9	13,1	-31,4	0,05	0,70
23	959,5	996,0	1015,4	1	0,5	-18,4	19,0	-47,6	26,6	-53,4	0,05	0,70
24	970,5	996,0	1015,4	1	11,7	-23,6	15,4	-38,4	16,6	-43,0	0,05	0,70
25	996,5	999,0	1015,2	32	-2,9	1,3	-3,6	3,2	-0,4	-1,8	0,10	0,70
26	1013,6	1011,0	1015,2	32	-2,9	1,3	-3,6	3,2	-0,4	-1,8	0,10	0,70
<i>Среднее абсолютное значение</i>					2,1	5,2	5,2	12,0	5,8	15,2	0,06	0,69

При решении системы линейных уравнений в методе ОА использовался учет всех значений типовой корреляционной матрицы, превышающих R_{\min} , которое оказалось равным в среднем 0,05-0,10. Для повышения устойчивости решения систем уравнений было обосновано значение фильтрации (R_{filtr}) коэффициентов корреляции типовой матрицы. Из типовой корреляционной матрицы выбирались значения ниже R_{filtr} . В результате исследований значение R_{filtr} оказались равным в среднем 0,65-0,70. Как видно из таблицы 4, полученные параметры (R_{\min} и R_{filtr}) при реализации предлагаемого МОА достаточно устойчивы для различных типов, что свидетельствует об общей устойчивости предлагаемого подхода.

Результаты сравнения существующего и предлагаемого методов объективного анализа для различных ситуаций показывает, что предлагаемая модификация повышает точность восстановления значений приземного давления по сравнению с существующим методом более чем в 2 раза для всех анализируемых ситуаций.

Выводы:

1. Проведенный анализ изменчивости ПБП в Арктике и существующих синоптических типизаций позволяет сделать вывод о том, что при диагнозе необходимо учитывать не отдельные элементы пространственной изменчивости поля, а интегральные характеристики изменчивости.

2. Разработка новой количественной типизации ПБП в Арктике по месяцам позволила уточнить значения норм в узлах регулярной сетки на 32%.

3. Разработанный модифицированный метод объективного анализа с учетом количественной типизации атмосферных процессов над СЛО повышает точность восстановления приземного барического поля в 2 раза для всех вариантов использования информации от дрейфующих измерительных буев.

4. Восстановленные и спрогнозированные барические поля при помощи модифицированного метода объективного анализа могут быть использованы как для выяснения гидрометеорологической обстановки в необходимом районе СПОЗ, так и для модельных расчетов приводного ветра, морского волнения и динамики ледяного покрова в СЛО.

Литература

1. Гандин Л.С., Коган Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 359 с.
2. Дмитриев А.А. Изменчивость атмосферных процессов Арктики и ее учет в долгосрочных прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1994, 207 с.
3. Корнеев О.Ю. Синоптико-статистический диагноз и прогноз приземного барического поля над водными акваториями Северной полярной области Земли в условиях ограниченности поступления исходной гидрометеорологической информации. Л.: ГУНИО МО РФ, 98 с.
4. Korneev O. Modified objective analysis method (OA) of SLP above the Arctic ocean. Proceedings of the Second WCRP International Conference on Reanalyses WCRP-109, WMO/TD-NO.985, 2000, p. 253-257.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА КРЫМСКИХ РЕК

А.Г. Косицкий, Е.М. Богущкая
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

STUDY OF REGULARITIES OF RUNOFF FORMATION OF THE CRIMEAN RIVERS

A.G. Kositskiy, E.M. Bogutskaya
Lomonosov MSU, Moscow, Russia

В докладе будет представлен анализ данных наблюдений на гидрологических постах рек Крыма, обозначены основные проблемы их использования (связанные, прежде всего, с сильным антропогенным искажением стока), а также некоторые результаты собственных работ, направленных на уточнение оценок характеристик стока.

The report will present the analysis of observations on hydrological posts of the rivers of Crimea, the main problems of their use (associated primarily with a strong anthropogenic distortion of flow), as well as some of the results of their own work aimed at clarifying the estimates of flow characteristics.

Крым – один из наиболее дефицитных в водно-ресурсном отношении регион России. Ситуация усугубляется перекрытием подачи воды по Северо-Крымскому каналу. В результате в настоящее время происходит стопроцентное изъятие стока ряда рек, фактически существующих лишь в верхнем течении, а в нижнем представляющие собой сухие русла. В наибольшей степени данная закономерность проявляется в дефицитный летне-осенний период. Однако для ряда рек такую картину можно наблюдать и зимой, когда водность рек в соответствии с крымским типом режима наибольшая, а потребности в воде наименьшие. Тем не менее, расположенные на реках многочисленные водохранилища и пруды зачастую накапливают всю поступающую в них воду в многоводную фазу, не сбрасывая ничего в нижний бьеф.

Для грамотного использования водных ресурсов необходимо изучение закономерностей формирования стока рек. Прежде всего для этой цели следует использовать данные гидрологических наблюдений на постах Гидрометслужбы. Всего на территории Крымского полуострова в разное время работало более 100 гидрологических постов, но большинство из них сейчас закрыто. В настоящее время на полуострове действует лишь чуть более 30 гидрологических постов, из которых только 22 имеют относительно продолжительный период наблюдений (не менее 30 лет).

Использование гидрологических данных по этим постам для оценки формирования стока крымских рек связано с рядом сложностей. Первая сложность связана с тем, что, все гидрологические посты расположены в южной, преимущественно горной части полуострова, где происходит основное формирование стока крымских рек (рис. 1). Так самый северный действующий гидрологический пост Крыма находится на р. Биюк-Карасу на широте 45°13' с.ш., что примерно посередине между самой северной и самой южной точками Крыма. Следовательно, северная половина республики Крым не охвачена гидрологическими наблюдениями. Самый восточный гидрологический пост расположен между городами Судак и Феодосия. Все, что находится восточнее данного населенного пункта, включая весь Керченский полуостров, также не имеет пунктов гидрологических наблюдений. Таким образом, большая часть территории Крымского полуострова, расположенная в его северной и восточной частях является неизученной в гидрологическом отношении.

Вторая сложность связана с тем, что сток подавляющего большинства рек сильно искажен в связи с вышеупомянутым антропогенным влиянием. Расходы воды, наблюдаемые на гидрологических постах, несут в себе не только природную, но и значительную антропогенную составляющую. Последняя чаще уменьшает водность реки, однако для некоторых рек, например являющихся объектами водоотведения, она может и увеличивать сток. Следует подчеркнуть, что изъятие стока Крымских рек зачастую носит несанкционированный характер, в связи с чем очень сложно установить его масштабы. Очевидно, что это в значительной степени затрудняет пространственный анализ закономерностей формирования стока.



Рис.1 Действующие гидрологические посты с периодом наблюдений не менее 30 лет

Третья сложность связана с тем, что подавляющее большинство гидрологических постов расположено на малых реках. Размеры Крымского полуострова не позволяют сформироваться на нем большим рекам. Даже средних рек (с площадью бассейна более 2 тыс. км² [1]) здесь всего две: это р. Салгир и р. Чатырлык, причем на последней гидрологические посты и вовсе отсутствуют. Все остальные реки являются малыми. Как известно, малые реки – азональны. Их сток и режим в большей степени зависит от местных локальных условий водосборов, поэтому в меньшей степени поддается пространственным закономерностям. Кроме того, для многих малых рек Крыма характерно серьезное несовпадение подземных и поверхностных водосборов [2, 3]. В результате их модули стока, полученные традиционным способом (делением средних многолетних расходов воды на площади поверхностных водосборов) оказываются далеки от истинных значений.

Несмотря на вышеперечисленные проблемы, анализ данных гидрологических постов позволил выявить некоторые закономерности. Так средние многолетние модули стока обнаруживают возрастающую зависимость от средней высоты водосбора и убывающую от площади водосбора. Обе зависимости носят степенной характер. Если первая зависимость очевидна и связана с увеличением с высотой атмосферных осадков, уменьшением испарения за счет уменьшения температуры и как следствие увеличением стока, то вторая, на первый взгляд может показаться неожиданной. Действительно, для большинства малых рек России модули стока обычно увеличиваются с ростом площади бассейна вследствие увеличения числа дренируемых подземных водоносных горизонтов. В Крыму же основное формирование стока происходит в верхних звеньях речных систем, где площади водосбора невелики, поэтому с увеличением последних модули стока убывают. Также большое значение имеет и антропогенный фактор, выраженный прежде всего в изъятии стока. Зачастую по длине рек (то есть с ростом площади водосбора) обнаруживается уменьшение не только модулей стока, но и расходов воды.

Используя множественный регрессионный анализ, выявлена зависимость средних многолетних модулей стока M от площади F и средней высоты H_{cp} водосборов:

$$M = 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot F^{-0,29} \cdot H_{cp}^{2,5}. \quad (1)$$

Отклонения фактических от рассчитанных по уравнению (1) модулей стока уменьшаются с ростом площади бассейна и при $F > 200$ км², как правило не превышают 50% (рис. 2).

Уточнение полученных закономерностей возможно при выполнении следующих условий: во-первых, нужно сгущать сеть гидрологического мониторинга, а во вторых, необходимо выявлять природные и антропогенные составляющие стока. В связи с отсутствием возможности прямого определения антропогенных составляющих стока из-за несанкционированного водозабора, следует определять их косвенным образом. Например, для гидрологических постов

с продолжительным периодом наблюдений можно выявить зависимость стока от хода метеоэлементов. Отклонения фактических значений от выявленных зависимостей будут свидетельствовать об антропогенном влиянии.

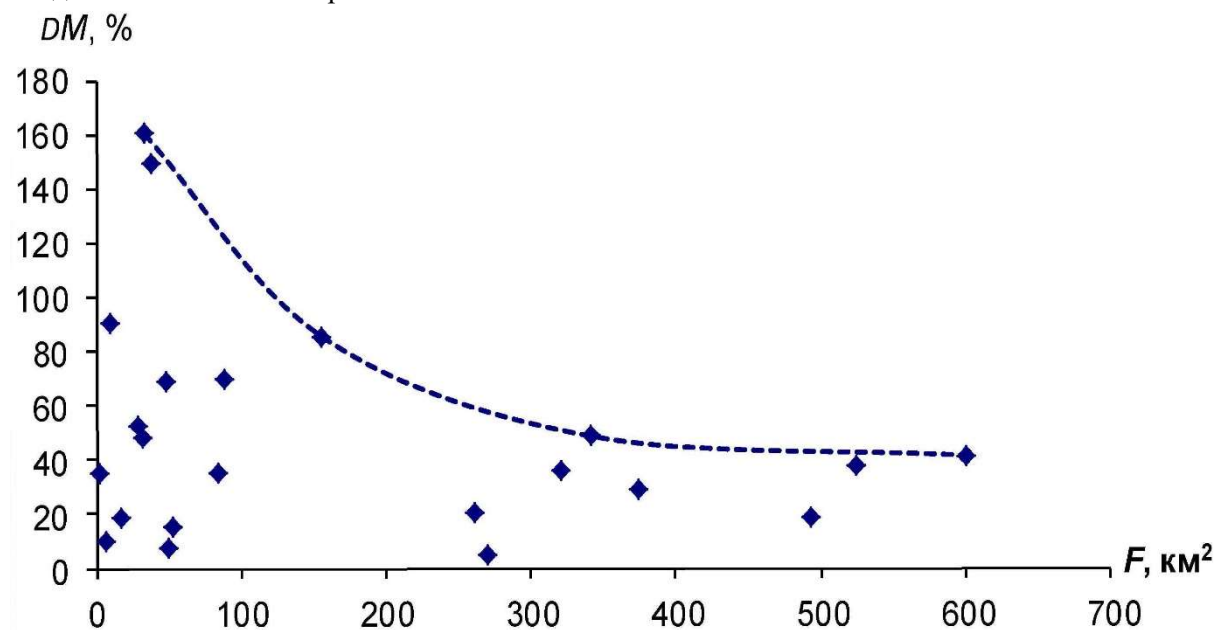


Рис. 2 Уменьшение отклонения фактических от расчетных модулей стока (DM) с ростом площади водосборов рек

Другим способом может стать анализ гидрологических данных по створам рек, в наименьшей степени подверженных антропогенному воздействию. К таковым могут быть отнесены реки, используемые в качестве источников водоснабжения крупных населенных пунктов, например, притоки Чернореченского водохранилища, служащего главным водоисточником г. Севастополя. К сожалению, даже на таких реках не приходится говорить о полном исключении антропогенного фактора, однако влияние его здесь значительно меньше, чем на других реках. Проблема еще заключается в том, что из используемых 22 гидрологических постов очень немногие удовлетворяют таким требованиям. В частности в бассейне Чернореченского водохранилища расположен лишь один пост – на р. Черная в с. Родниковское. Очевидно, что он не может в полной мере дать информацию о закономерностях формирования стока в данном районе. К тому же в бассейне р. Черная выше створа данного поста расположено одно из наиболее крупных скоплений подземных водоисточников (неслучайно название с. Родниковское), подземные водосборы которых могут существенно превышать поверхностные.

Для четкого выявления закономерностей формирования стока в данном районе необходимо проводить сгущение сети мониторинга, охватывая все смежные с р. Черной водосборы. Летом 2019 г. авторами заложены временные водомерные посты на всех притоках Чернореченского водохранилища. В настоящее время они представляют собой рейки для фиксации максимальных уровней воды. В будущем предполагается их оборудование датчиками уровней воды. В каждом створе предполагается проведение поперечной нивелировки русел и пойм рек, а также измерение продольных уклонов. Предполагается также неоднократное измерение расходов воды в выбранных створах при разных значениях уровней (летом 2019 г. такие измерения уже были проведены). По полученным поперечным профилям и уклонам будут построены кривые зависимости расходов от уровней воды $Q=f(H)$ с помощью формул Шези и Маннинга. Значения коэффициентов шероховатости предполагается определять обратным пересчетом по измеренным расходам воды.

С помощью полученных кривых $Q=f(H)$ можно будет перейти от уровней к расходам воды. Они должны будут иметь относительную синхронность с расходами р. Черной в с. Родниковское, в виду близкого расположения, что позволит получить характерные расходы по данным створам. Увеличение количества створов с характерными расходами воды позволит

более четко выявить их зависимость от определяющих факторов для данного небольшого района (бассейна Чернореченского водохранилища). Предполагается также провести аналогичное сгущение сети и в других районах на реках, неподверженных серьезному антропогенному влиянию. Все это позволит уточнить пространственные закономерности формирования стока крымских рек.

Литература

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М., Государственный комитет СССР по стандартам, 1988, 36 с.
2. Амеличев Г.Н., Олиферов А.Н., Новикова Ф.Н. Гидрологические особенности р. Абдалки (Симферополь) в области питания артезианского бассейна равнинного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3 (69), №1. с. 160 – 175.
3. Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озёра Крыма. Симферополь: Изд-во Доля, 2005. 216 с.

«ПОВЫШЕНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГОРОДСКИМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ» (СОКРАЩЕННО – RAINMAN) В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ПРИГРАНИЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФИНЛЯНДИИ – РОССИИ НА 2014-2020 ГОДЫ

И.Г. Костенко

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», Санкт-Петербург, Россия

«TOWARD HIGHER ADAPTIV CAPACITY IN URBAN WATER MANAGEMENT» (ACRONYM – RAINMAN) OF PROGRAMME SOUTH-EAST FINLAND – RUSSIA 2014-2020

I. Kostenko

SUE «Vodokanal of St. Peterburg», Saint Petersburg, Russia

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» совместно с ведущими институтами города: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт», с Российской стороны и с Финской стороны: Геологическая служба Финляндии (Ведущий партнер Проекта), город Миккели, город Лахти, Коммунальное объединение HSY по оказанию экологических услуг региону Хельсинки. принимает участие в международном проекте RAINMAN. Цель проекта – Разработка инновационных решений, обеспечивающих надлежащее состояние пресноводных ресурсов в условиях изменения климата и более интенсивного использования земель, в том числе уменьшение площадей территорий, подвергающихся затоплению и подтоплению; защиту водных объектов от загрязнений неочищенными сточными водами.

State Unitary Enterprise Vodokanal of St. Petersburg together with the leading institutes of the city: Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikova, Federal State Budgetary Institution “State Hydrological Institute”, from the Russian side and from the Finnish side: Geological Survey of Finland (Leading Partner of the Project), Mikkeli, Lahti, HSY Community Service for Environmental Services in the Helsinki Region. takes part in the international project RAINMAN. The aim of the project is the development of innovative solutions that ensure the proper state of freshwater resources in the face of climate change and more intensive use of land, including reducing the area of territories undergoing flooding and flooding; protection of water bodies from pollution by untreated sewage.

Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности выступил инициатором участия в Программе приграничного сотрудничества Юго-Восточной Финляндии – России на 2014-2020г. с проектом «Повышение адаптационного потенциала при управлении городскими водными ресурсами» (сокращенно – RAINMAN, далее – Проект), со стороны Санкт-Петербурга в составе: ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» (далее – Водоканал), Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт». Управляющий орган Программы рекомендовал с Финской стороны участие в проекте: Геологическая служба Финляндии (Ведущий партнер Проекта), город Миккели, город Лахти, Коммунальное объединение HSY по оказанию экологических услуг региону Хельсинки.

Проект направлен на поиск решений проблем, связанных с негативным воздействием на пресноводные водоемы, системы водоотведения изменения климата и урбанизации территорий. Изменения климата вызывают увеличение количества выпадения интенсивных атмосферных осадков, что уже приводит к перегрузке существующих централизованных систем водоотведения и, как следствие, подтоплению городских территорий.

В рамках Проекта будут изучены инновационные решения для поддержания и сохранения пресноводных водоемов и улучшения безопасной среды обитания. Основными целями Проекта являются разработка реализуемых инновационных решений для обеспечения надлежащего состояния пресноводных ресурсов в условиях изменяющегося климата и интенсивного землепользования, а также включение отдельных решений в руководящие принципы и планы развития города. Также будут представлены варианты адаптации и решений для смягчения воздействия результатов изменения климата на системы водоотведения, в том числе централизованные системы. Это включает в себя обновление планов защиты подземных вод с

учетом последствий изменения климата, экологические решения для управления ливневыми стоками, обновление местных стратегических планов экономического и социального развития, нормативных документов по проектированию систем канализования, а также активное управление ливневыми стоками.

Проект предоставит подробную информацию о текущем и будущем изменении климата (до 2050-2100 г) для Санкт-Петербурга, г. Миккели и г. Лахти, а также информацию об элементах и областях в местных системах управления водными ресурсами, которые чувствительны к воздействиям изменения климата и могут оказывать негативное воздействие на пресноводные ресурсы. Проектный консорциум разработает эксплуатационные гидравлические модели, которые учитывают влияние изменения климата на количество пресной воды, ее качество и наводнения в городах. На основании полевых исследований и моделирования определяются наиболее уязвимые участки и риски, связанные с затоплением ливневыми стоками и землепользованием. Планируется разработать набор альтернативных решений для снижения негативного воздействия ливневых вод на пресноводные ресурсы и среду обитания на основе передового опыта и новых инноваций. Трансграничное сотрудничество и общие учебные мероприятия играют центральную роль в управлении водными ресурсами в городах Санкт-Петербург, Миккели и Лахти. Обновленные и измененные официальные документы по управлению водными ресурсами в городах, включая последствия изменения климата и возможные ответные меры (законодательство, местные стратегические документы, руководящие принципы и т. д.), будут разрабатываться на основе выбранных решений и вариантов адаптации. Проектная группа обобщит трансграничные рекомендации по устойчивому управлению водными ресурсами в городских условиях в условиях изменения климата, чтобы уменьшить негативное воздействие на пресноводные ресурсы.

Проект стартовал 1 января 2019 года и рассчитан на 3 года. В 1 год работы перед Водоканалом поставлена задача сбора данные о режимах потоков сточных вод в централизованных системах водоотведения на потенциально опасных участках подтопления городских территорий в выбранных 4-х типовых зонах (исторически плотно застроенные городские районы, плотно застроенные районы, развивающиеся районы и природные территории). По действующему законодательству параметры сетей водоотведения поверхностных сточных вод рассчитываются на 2 сверхрасчетных дождя с интенсивностью выпадения атмосферных осадков 7,2 мм за 20 минут. Соответственно, если этот показатель увеличивается, то система водоотведения перестает справляться и возникают подтопления. Сегодня ситуация изменилась, средняя интенсивность выпадения атмосферных осадков составляет 28 мм за 20 минут, кроме того их количество за год увеличилось до 30. По сути, сейчас город сталкивается с увеличением количества выпадения ливневых дождей. Кроме того, выпадение таких нерасчетных дождей имеет неравномерный характер, т.е. дождь может пройти в Курортном районе, при этом в Центральном районе будет светить солнце.

С целью учета количества фактически выпавших атмосферных осадков в Водоканале для отдельно взятых территорий, совместно с Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова, и ФГБУ «Северо-Западное УГМС», разработана и введена в эксплуатацию Автоматизированная информационная система АИС «Осадки» (далее АИС «Осадки»), которая состоит из 34 автоматизированных постов наблюдений за атмосферными осадками в разных районах города. Проект измерительной сети такой плотности – первый в России. Автоматизированная сеть наблюдения состоит из равноудаленных между собой метеопостов оборудованных осадкомерами, 7 метеопостов оснащены метеорологическим комплексом, которые в автоматическом режиме измеряют атмосферное давление, скорость и направление ветра, температуру и влажность воздуха. Каждые 5 минут с каждого поста наблюдений в Водоканал и в ФГБУ «Северо-Западное УГМС» отправляются метеоданные. Данные, полученные от осадкомеров, передаются непосредственно в диспетчерские Предприятия, в архив Предприятия и в «Росгидромет» в лице представителя в Санкт-Петербурге ФГБУ «Северо-Западное УГМС. С вводом АИС «Осадки» в эксплуатацию, как части государственной наблюдательной сети, данные передаются в государственный архивный фонд и во Всемирную метеорологическую организацию (ВМО), где накапливаются все архивы погоды по планете. Это важно для наблюдения за климатом. В связи с неравномерностью выпадения атмосферных осадков, АИС «Осадки» позволяет оперативно регулировать наполняемость канализационных

сетей во время интенсивных дождей, проводить точный расчет объемов поверхностного стока для конкретных территорий города Санкт-Петербурга и его пригородов, что в свою очередь помогает оперативно реагировать на ситуацию и предотвращать подтопления районов города на которых фиксируется выпадение осадков с наибольшей интенсивностью.

Основными задачами АИС «Осадки» являются:

1. Автоматизированный сбор данных о количестве атмосферных осадков на территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов;
2. Расчет количества атмосферных осадков в произвольной точке (заданной координате) на территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов;
3. Прогнозирование выпадения (краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный прогнозы) количества атмосферных осадков;
4. Предоставление метеоданных для проведения коммерческих расчетов за объемы оказанных услуг по водоотведению поверхностного (дождевого, талого и инфильтрационного) стока с юридическими и физическими лицами (далее абонентами).

С 22 по 24 октября 2019г. в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» прошли мероприятия в рамках международного Проекта RAINMAN по Программе трансграничного сотрудничества «Россия – Юго-Восточная Финляндия» на период 2014 – 2020 годов с участие Российских и Финских партнеров. В рамках встречи был проведен семинар по моделированию сетей водоотведения на котором были представлены результаты гидравлического моделирования канализационных сетей Санкт-Петербурга, Хельсинки, Лахти, определены их сильные стороны и проблемы. Кроме этого, в течение 3 дней происходил обмен опытом между партнерами по проекту в таких важных и актуальных для всех сторон областях как гидрология, мониторинг грунтовых вод и их воздействие на канализационные сети, изменения климата, экологическая защита водных объектов, строительство новых и модернизация существующих систем водоотведения и т.д.

Также участники международного Проекта RAINMAN посетили объекты водоотведения Санкт-Петербурга и познакомились с работой сети ливневых стоков, а также системой измерения расходов воды в ходе реализации проекта.

На средства гранта, выделенного для реализации Проекта RAINMAN Водоканал закупил и установил приборы учета ливневых стоков, среди которых 3 радарных бесконтактных расходомера для безнапорных потоков, электромагнитный скоростемер и расходомер для безнапорных потоков. В течение года показания приборов будут использоваться для сбора данных по проекту при разных погодных условиях (Рис. 1). Одной из зон проекта RAINMAN стала Парашютная улица, где в период нерасчетных дождей не раз возникали подтопления проезжей части.



Рис. 1. Сотрудники ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» снимают показания с приборов учета, установленных на Парашютной ул.

Полученные результаты замеров мест подтоплений будут занесены в гидравлическую-динамическую модель, после чего будут смоделированы все возможные варианты влияния климатических изменений на проблемных участках с перспективой до 2050 года.

В рамках Проект (3 года) предстоит решить много задач, направленных на получение детальной информации о текущем и будущем состоянии климата Санкт-Петербурга, Хельсинки,

Миккели и Лахти до 2050 года и об изменениях климата, которые могут негативно повлиять на качество пресноводных ресурсов. Также будут разработаны общие рекомендации по адаптационному управлению ливневыми стоками для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и т.п.

Наиболее наглядно получить представление о том, как влияет интенсивность выпадения атмосферных осадков на работу системы водоотведения можно сравнив два дождя, которые сопоставимы по суммарному количеству выпавших осадков. В первом случае 09.07.2019 до 27,6 мм осадков выпало за 3,5 часа (Рис 2). Максимальная интенсивность дождя за 20 минут составила 15.12 мм, что более, чем в 2 раза превышает расчетную. Канализационная сеть не смогла одномоментно принять такое количество образовавшихся осадков. Вода полностью сошла в течение 30-40 минут после того, как дождь закончился. Суммарный объем осадков который выпал во время второго дождя 18.07.2019 составил 19.39 мм за 8 часов (Рис 3). Максимальная интенсивность дождя за 20 минут составила 2.48 мм, что почти в 2 раза меньше расчетной. При этом канализационные сети полностью принимали всю воду.



Рис. 2. Объем осадков (мм), выпавших на территории Санкт-Петербурга, в период с 8:30 до 14:00 09.07.2019г.

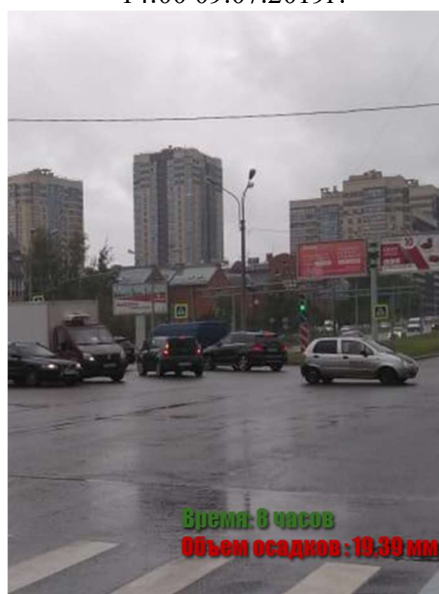


Рис. 3. Объем атмосферных осадков (мм), выпавших на территории Санкт-Петербурга, в период с 13:00 18.07.2019г. до 06:00 19.07.2019г.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНЕВСКИХ ОЗЕР ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА ПО РЯДУ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

А.К. Котова, Е.Ю. Воякина

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

ESTIMATE OF THE STATE OF KONEV LAKES OF THE VALAAM ARCHIPELAGO BY A NUMBER OF LIMNOLOGICAL PARAMETERS

A.K. Kotova, E.Ju. Voyakina

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

В работе приведены лимнологические параметры Коневских озер за период с июня по сентябрь 2015-2018гг.. Произведен анализ данных характеристик, а также их сравнение с многолетними данными.

The limnological parameters of Konev Lakes for the period from June to September 2015-2018 are presented. The analysis of these characteristics, as well as their comparison with long-term data were made.

Большое количество озер, расположенных на территории Северо - Запада России, значительно отличаются друг от друга. В Карелии, например, озера покрывают 12,5% территории. На долю малых озер приходится более 40,0 % площади всех озер Карелии, а по своему количеству они составляют более 99,0 % от общего числа водоемов. Для малых озер характерны свои гидрологические, гидрохимические и гидробиологические особенности.

Для малых озер характерны значительные межгодовые колебания лимнологических параметров, таких как содержание растворенного в воде кислорода, органического вещества, прозрачности, рН и биогенных элементов. Изучение лимнологических характеристик озер представляет собой важную составную часть комплекса экологических исследований. На формирование химического режима озер наибольшее влияние оказывают азональные факторы, включающие в себя следующие группы: показатели морфометрии котлованы, характеристики водосборного бассейна, микроклиматические параметры и другие.

Валаамский архипелаг находится в северо-восточной части Ладожского озера в 40 км от г. Сортавала [1, 2, 3]. Работа проводилась на Валаамском архипелаге, расположенном в северной глубоководной зоне Ладожского озера, наименее подверженной влиянию вод притоков. Площадь архипелага 36 км². Валаамский архипелаг характеризуется большим разнообразием микроландшафтов, вследствие этого, озера, являющиеся важнейшими их частями, различаются по целому ряду лимнологических параметров. Особенности озер, в значительной степени связаны с их местоположением, характеристиками их водосборного бассейна. В систему Коневских озер входят три озера: Игуменское, Черное и Оссиёво (последовательно с запада на восток), они располагаются в северо-западной части Валаама. Озера соединены в цепочку мелководными зарастающими протоками глубиной 0,5 м, которые завалены бревнами. Озера Игуменское и Черное являются не типичными для Карелии [4], для них был выделен новый подтип, так как в воде повышенное содержание органического вещества. Относительно высокая прозрачность, невысокая цветность и повышенное содержание биогенных элементов, все это создает в озерах благоприятные условия для образования органического вещества [5]. Вследствие особенностей рельефа в Коневских озерах водообмен между озерами незначителен. А так же из-за того, что озера расположены выше, чем Ладожское озеро, то весной в период половодья идет только активный сток [5, 6, 7].

Цель данной работы: дать оценку состояния Коневских озер Валаамского архипелага по ряду лимнологических параметров в период с июня по сентябрь 2015-2018 гг.

Рассмотрено использование гидрохимических, гидрофизических и гидробиологических параметров для оценки состояния озер, таких как: температура, прозрачность, рН, содержание растворенных газов (O₂ и CO₂), содержание общего органического вещества и общего железа, а

также хлорофилла. Средние значения исследуемых параметров и их диапазоны Коневских озер за 2015-2018 гг. представлены в таблице 1.

Таблица 1. Диапазоны и средние значения ряда лимнологических параметров Коневских озера Валаамского архипелага за 2015-2018 гг.

Озеро	Черное ср. знач. (min – max)	Игуменское ср. знач. (min – max)	Оссиево ср. знач. (min – max)
T, °C	18,1 (10,6 - 24,8)	18,0 (11,0 - 26,2)	17,5 (11,3 - 24,7)
SD, м	1,58 (1,00 - 2,00)	1,62 (1,15 - 2,20)	1,13 (0,60 - 1,50)
pH	6,46 (6,03 - 6,85)	6,50 (6,05 - 6,86)	6,31 (5,83 - 6,66)
O ₂ , %	74 (50 - 89)	82 (60 - 93)	65 (41 - 87)
CO ₂ , мл/л	6,99 (2,29 - 15,31)	6,37 (1,76 - 20,24)	9,04 (2,99 - 23,76)
ПО, мгО/л	17,62 (9,60 - 24,00)	18,28 (13,85 - 24,15)	20,99 (14,37 - 30,46)
Fe, мг/л	0,36 (0,29 - 0,53)	0,41 (0,18 - 0,54)	0,62 (0,36 - 1,00)
Хлорофилл-А, мкг/л	17,05 (2,00 - 148,62)	6,05 (1,75 - 17,64)	17,63 (2,38 - 60,00)

Температура воды в озере Черное за весь исследуемый период изменялась в интервале от 10,6 °C до 24,8 °C, в оз. Игуменское – 11,0 – 26,2 °C, в оз. Оссиево – 11,3 - 24,7 °C. Для Коневских озер был рассчитан параметр Δt , в оз. Черное он равен 14,1 °C, в Игуменском – 14,0 °C, в Оссиевом – 7,0 °C, по классификации Китаева данные озера входят в диапазон значений $5^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ и относятся к термически глубоким озерам. Термическую классификацию К. Patalas [8] можно применить только для оз. Игуменское и Черное (значение 0,39 и 0,38 соответственно), по которой озера считаются глубокими, где присутствует три слоя – эпи-, мета- и гипolimнион. По термическому режиму озера Игуменское и Черное сходны.

Среднее значение прозрачности за исследуемый и многолетний период не отличались. В оз. Черное значение среднемноголетней прозрачности – 1,49 м [5], в оз. Игуменское – 1,62 м, в оз. Оссиево – 1,10 м. По классификации С.П. Китаева [8] по соотношению прозрачности воды и средней глубине оз. Игуменское и Черное относятся к олигофотобатным водоемам. В то время как оз. Оссиево относится к олигомезофотобатным водоемам. В целом, озера Коневской системы относятся к малопрозрачным водоемам (интервал 1-2 м)

По активной реакции среды озера Черное и Игуменское практически не отличаются, а вода в оз. Оссиево имеет более кислую реакцию (Таблица 1). По сравнению с многолетними данными активная реакция воды за последние годы снизилась. Таким образом, по активной реакции среды вода Коневских озер находится на границе между слабокислыми и нейтральными.

Содержание растворенного кислорода в последние годы также снизилось. Среднее значение процентного насыщения кислородом за исследуемый период в оз. Черное на поверхности 74 %, на дне 0 %. На поверхности за последние четыре года, содержание кислорода было ниже на 14% по сравнению с многолетним периодом [5]. Возможно, это связано с неблагоприятными погодными условиями, снижением инсоляции, увеличением рекреационной нагрузки. Обращает на себя внимание, что за последние 17 лет были выявлены периоды, когда в придонном горизонте наблюдался кислород в следовом количестве, в последнее время, растворенного кислорода в придонном горизонте не было отмечено. Среднее значение процентного насыщения кислородом за исследуемый период в оз. Игуменское на поверхности 82 %, на дне 0 %. Таким образом, видно, что, как и в озере Черное, последние годы отличаются по содержанию кислорода, как на поверхности, так и на дне. На поверхности за последние четыре года, содержание кислорода было ниже, чем за 17- летний период. Среднее значение процентного насыщения кислородом за исследуемый период в оз. Оссиево - на поверхности 65 %, на дне 21 %. Последние годы отличаются по содержанию растворенного кислорода на поверхности на 15 %, возможно это связано с тем, что последнее время на водосборе этого озера велись активные строительные работы.

Озера Игуменское и Черное можно отнести к водоемам с низким содержанием кислорода, а оз. Оссиёво – с очень низким содержанием кислорода. Кислородный режим озер Игуменское и Черное имеет сходный характер. В озерах наблюдались минимальные значения растворенного кислорода, а в период максимального прогрева воды и также заморные явления (Таблица 1).

В поверхностных горизонтах диапазон значений растворенного CO₂ в исследованных озерах варьировал значительно (Таблица 1). Максимальное среднее значение наблюдалось в оз. Оссиёво, минимальное – в оз. Игуменское. Коневские озера по классификации Китаева – это озера с высоким содержанием CO₂. При анализе динамики CO₂ за исследованный период показано, что во всех трех озерах можно выделить годы с очень высоким содержанием углекислого газа (2016, 2017 гг.) и годы с более низким (2018 г.).

Средние и абсолютные значения содержания органического вещества, определяемого методом перманганатной окисляемости в озерах были высокие, особенно это касается придонных горизонтов (Таблица 1). Максимальные значения были отмечены в оз. Оссиёво. Согласно классификации С.П. Китаева [8] по значениям перманганатной окисляемости Коневские озера можно охарактеризовать, как озера с высокой перманганатной окисляемостью. В оз. Игуменское и Черное среднее значение перманганатной окисляемости в придонном горизонте в 2 раза больше, чем в поверхностном горизонте. Из чего можно сделать вывод о том, что происходит накопление органических веществ на дне. В оз. Оссиёво разница между средним значением перманганатной окисляемости на поверхности и дна практически нет, органические вещества распределяются по всей толщине воды. Это может быть связано с тем, что в этом озере идет активное перемешивание всей водной толщи.

Средние значения и диапазоны общего железа в поверхностных горизонтах в озерах Черное и Игуменское различаются незначительно, в то время как в оз. Оссиёво значения общего железа выше. Здесь было зафиксировано и максимальное значение для поверхностных горизонтов (Таблица 1). В придонных горизонтах озер Черное и Игуменское значения общего железа были очень высокие (3,1 мг/л до 8,4 мг/л), что безусловно связано с накоплением биогенных элементов в придонных горизонтах в силу особенностей морфометрии котловины этих водоемов. По содержанию общего железа Коневские озера относятся к водоемам с повышенным содержанием этого показателя. Сравнивая значения общего железа в Коневских озерах с ПДК (0,3 мг/л), можно сделать вывод о том, что для каждого озера отмечено превышение по ПДК. Это можно объяснить тем, что основными породами, слагающими интрузию, являются габбро-диабазы (габбро-долериты) с примесью ферро-габбро-диабазов [10]. Они отличаются от аналогичных пород Карелии повышенным содержанием биогенных элементов.

Диапазон значений хлорофилла-а изменялся в исследованных озерах в широком диапазоне. Наибольший диапазон и максимальные значения в поверхностном горизонте наблюдались в озере Черное (от 2,00 мкг/л до 148,62 мкг/л), в оз. Игуменское диапазон значений был минимальным (1,75 - 17,64 мкг/л). По классификации трофического состояния пресных вод [9] оз. Игуменское и Черное относятся к мезотрофным водоемам, Оссиёво к эвтрофным (Таблица 1).

Таким образом, озера Черное и Игуменское из системы Коневских озер отличаются от оз. Оссиёво и остальных озер Валаамского архипелага по большинству лимнологических параметров. В первую очередь, их уникальность определяется особенностями термического и газового режима, высоким содержанием органического вещества и общего железа, особенно в придонных горизонтах, где идет их активное накопление. Это в свою очередь определяется морфометрией котловины, а также соотношением глубины и площади зеркала, что способствует формированию в водоемах двух водных масс, которые фактически не перемешиваются. Все эти свойства определяют не типичность водоемов, слагающих систему Коневских озер, как по сравнению с другими озерами Валаамского архипелага, так и материковыми озерами Карелии. Безусловно, необходимо их дальнейшее исследование и сохранение, что особенно актуально в настоящее время, когда идет активное освоение водосборных площадей озер на о. Валаам.

Литература

1. Гусаков Б.Л., Тержевик А.Ю. Лимническое районирование и особенности озерных процессов в лимнических зонах // Ладожское озеро критерии состояния экосистемы. - СПб., 1992 г.- С.21-27.
2. Белоусова Н.А., Кравченко А.В., Крутов В.И., Кучко А.А., Морозова Р.М. Флора и растительность // Экосистемы Валаама и их охрана. -Петрозаводск, 1989 г.-С.85-126.
3. Маринич М А , Степанова А Б, Воякина Е Ю , Бабин А В , Курочкин В Н, Яшина О И., Волгина М В Изменчивость гидрометеорологического режима ультрапрофундальной зоны Ладожского озера//Ладожское озеро Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами - Петрозаводск, 2000 г. – с. 345-352.
4. Лозовик П.А., Сабылина А.В., Коваленко В.Н., Басов М.И., Харкевич Н.С. Гидрохимическая характеристика малых озер Карелии // Матер. Всесоюзного совещания «Антропогенные изменения экосистем малых озер» Л., 1991 г.
5. Степанова А.Б., Шарафутдинова Г.Ф., Воякина Е.Ю. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам // Ученые записки РГГМУ, 2009 г., №12 – с. 143-155.
6. Гагарин А.П., Маринич М.А., Карпов А.С. Природные условия Валаамского архипелага // Комплексные природоведческие исследования на Северо-Западе России: Валаамская и Кургальская экспедиции СПбОЕ: Сб. науч. тр. / СПбОЕ СПб., 1998 г.-Т.92.-Вып.1- с. 9-16.
7. Кучко А.А. Оптимизация природопользования на Валааме и вопросы охраны природы // Экосистемы Валаама и их охрана. Петрозаводск; 1983 г.,- С.186-192.
8. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007 г.
9. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. - Минск. 1960 г.
10. Матинян Н.Н., Урусевская И.С. Почвы острова Валаам. СПб., 1999 г.- С. 1-31.

МЕТОД ПРОГНОЗА И АНАЛИЗА ТЕПЛОГО ЯДРА В ЦИКЛОНАХ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.Г. Котович, Л.Н. Василевская

Дальневосточный государственный университет, г. Владивосток, Россия

METHOD FOR FORECAST AND ANALYSIS OF THE WARM CORE IN CYCLONS BY MEANS OF NUMERICAL SIMULATION

N.G. Kotovich, L.N. Vasilevskaya

Far Eastern State University, Vladivostok, Russia

В работе показано применение методики австралийского метеоролога Э. Харта, разработанной для оценки термической структуры атлантических субтропических циклонов, над территорией северо-западной части Тихого океана (СЗТО). Подобные исследования субтропических циклонов над Тихим океаном являются пионерскими. С помощью методики Э.Харта за 1996-2018 гг. на основе архива реанализа ERA INTERIM GFS были выявлены субтропические циклоны с теплым ядром, которые зарождались в СЗТО в зимнее время. Наличие теплового ядра в циклоне является, как правило, указателем на дальнейший взрывной характер его развития. Исследования показали, что данная методика может быть применима в оперативных условиях при прогнозе эволюции субтропических циклонов над СЗТО.

The paper shows the application of the methodology of the Australian meteorologist E. Hart, developed to assess the thermal structure of Atlantic subtropical cyclones, over the territory of the northwestern Pacific Ocean (NWT). Similar studies of subtropical cyclones over the Pacific Ocean are pioneering. Using the methodology of E. Hart for 1996-2018. On the basis of the ERA INTERIM GFS reanalysis archive, subtropical cyclones with a warm core were identified that originated in the northwestern part of the city in winter. The presence of a warm core in a cyclone is, as a rule, an indication of the further explosive nature of its development. Studies have shown that this technique can be applied under operational conditions in predicting the evolution of subtropical cyclones over NWT.

Субтропические циклоны наряду с тропическими и внетропическими циклонами являются важнейшей составляющей общей циркуляции атмосферы. Северо-западная часть Тихого океана не является в этом смысле исключением. Ежегодно в этой области океана фиксируются десятки тропических, субтропических и внетропических циклонических вихрей, приносящих существенный ущерб экономике.

Цель исследования: оценка термической структуры субтропических циклонов северо-западной части Тихого океана в зимний период с применением методики Харта (2002) для дальнейшего понимания эволюции этих циклонов.

Исходный материал: карты приземного и высотного анализа за декабрь-февраль 1996-2018 гг. метеорологического японского агентства; архив ERA INTERIM GFS.

Методика исследования: для определения термической составляющей циклонов в настоящем исследовании привлекалась методика Харта [1], по которой рассчитываются асимметрия циклона в нижней тропосфере и термический ветер в нижней и верхней тропосфере. Строго определенное сочетание асимметрии циклона в нижней тропосфере (параметр «В») и термического ветра (« V_T ») в нижней и верхней тропосфере указывает на возможность образования теплового ядра в тропосфере [2]. На рисунке 1 в качестве примера представлены диаграммы асимметрии и разницы геопотенциальных высот, рассчитанные на базе модели HWRF NMM. Параметр «В» это наклон оси вихря; параметры $-V_T^L$ и $-V_T^U$ это разница высот в радиусе 500 км и центром циклона.

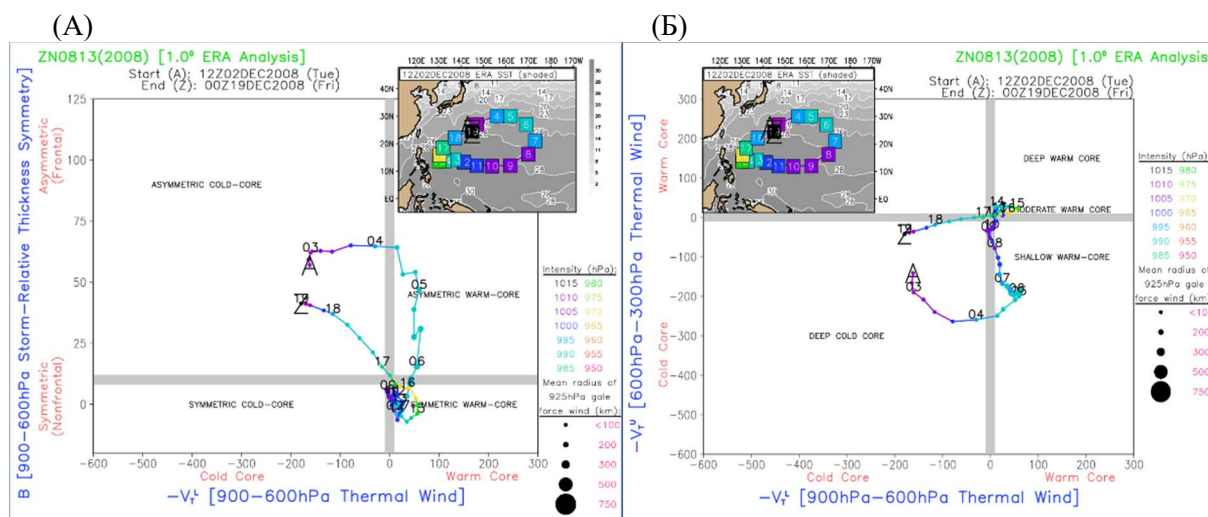


Рис. 1. Наклон пространственной оси (а) и Термическая структура (б) тропического циклона «DOLPHIN» 02-16 декабря 2008 г.

На диаграмме А (нижняя тропосфера – 900-600 гПа): верхний левый квадрант соответствует асимметричному холодному, верхний правый – асимметричному теплому циклону; нижний левый квадрант – симметричному холодному, а нижний правый – симметричному теплому циклону. На диаграмме В (верхняя – 600-300 гПа и нижняя тропосфера) в верхнем левом квадранте холодное ядро в нижней тропосфере и теплое в верхней; в верхнем правом квадранте теплое ядро во всей тропосфере; в нижнем правом квадранте теплое ядро в нижней тропосфере и холодное в верхней; в нижнем левом квадранте холодное ядро во всей тропосфере.

Для лучшего восприятия оценки термического состояния циклонов нами разработан другой вид графического представления рассчитываемых параметров (рис 2). Так как каждая точка (основные синоптические сроки по ВСВ) на диаграмме (рис.1) имеет свои координаты и все параметры рассчитываются в геопотенциальных метрах, то данные в виде графика (рис.2) будут более удобными для анализа.

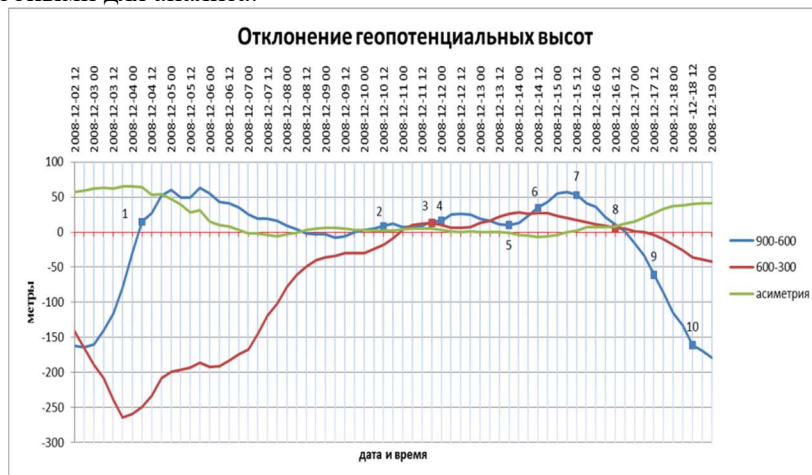


Рис 2. Термическая структура (параметры – V_T^L и $-V_T^U$ – синий и красный цвет соответственно) и наклон пространственной оси в нижней тропосфере (зеленый цвет) тропического циклона «DOLPHIN» 02-16 декабря 2008 г.

Положительные значения показывают наличие тепла в нижней и верхней тропосфере, а отрицательные – холодного ядра в центре циклона. В случае асимметрии вихря положительные значения соответствуют наклону пространственной оси в левую сторону по ходу движения циклона, а отрицательные – в правую; если же наклон оси не превышает 10 метров, то циклон считается симметричным.

Результаты и обсуждение: в ходе исследования были рассчитаны параметры термической и вертикальной структуры 215 зимних субтропических циклонов, зародившихся над морской поверхностью. Оказалось, что 63 % вихрей имели теплое ядро в нижнем или в верхнем слое тропосферы. В нижней тропосфере теплое ядро образуется в результате адвекции холода с севера и, как следствие, резкого углубления циклона. При этом выделение скрытого тепла конденсации происходит за счет активизации конвективных процессов, в результате чего образуется верхне-тропосферное теплое ядро.

Кроме того, были выделены циклоны, которые по наличию теплового ядра похожи на субтропические, но зарождались они в умеренных широтах над относительно холодной морской поверхностью дальневосточных морей или над сушей. Эти циклоны были названы гибридными. Процесс формирования теплового ядра в этих циклонах так же связан с выделением тепла конденсации.

Субтропические и гибридные зимние циклоны с теплым ядром обладают большим запасом энергии, тепла и влаги по сравнению с обычными циклонами умеренных широт, имеющими холодное тропосферное ядро. Практически все субтропические циклоны с теплым ядром в ближайшие полусутки углублялись со скоростью более 12 гПа за 12 часов.

Заключение: использование методики Харта над северо-западной частью Тихого океана показало, что модель может работать на любых достаточно точных данных реанализа. Методика достаточно стройна и позволяет получить данные о жизненном цикле циклона. Нами была усовершенствована визуальная составляющая этой программы, что значительно улучшило понимание процессов, происходящих внутри циклонов.

Эти исследования необходимы для определения термической составляющей циклонов, что поможет в прогнозировании интенсивных циклонов в северо-западной части Тихого океана в зимний период.

Литература

1. Hart, R. E. 2003 A Cyclone phase sace derived from thermal wind and thermal asymmetry. Monthly Weather Review, 131, 585-616.
2. Kotovich N.G., Vasilevskaya L.N. , Krokhin V.V. , Lisina I.A. A study of the winter subtropical cyclone in the North-Western Pacific ocean using the method of Hart//Marine science and technology for sustainable development The 26th International Conference of Pacific Congress on Marine Science and Technology (PACON-2019) July 16–19, 2019, Vladivostok, Russia Abstracts, p.73
https://www.pacon-conference.org/sites/default/files/PACON2019_abstracts.pdf

ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ЛЕТНЕГО ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО МУССОНА НА ЮГЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ 2013 – 2019 ГГ.

Крутиков Е.С., Василевская Л.Н.

Кафедра океанологии и гидрометеорологии ДВФУ, г. Владивосток

* E-mail: egorkrutikov97@gmail.com

FEATURES OF WEATHER CONDITIONS OF SUMMER FAR EASTERN MONSOON IN THE SOUTH OF PRIMORSK REGION 2013 – 2019

Krutikov E.S., Vasilevskaya L.N.

Department of Oceanology and Hydrometeorology FEFU, Vladivostok

*E-mail: egorkrutikov97@mail.ru

Исследование стадий дальневосточного муссона, проведенного по метеорологическим наблюдениям во Владивостоке с 1966 по 2018 гг. показало устойчивое уменьшение продолжительности летней фазы на фоне увеличения зимнего муссона; динамика продолжительности первой стадии летнего муссона показывает ее устойчивое, статистически значимое уменьшение; за 2013-2018 гг. определены четыре типа температурно-ветрового сочетания состояния атмосферы для первой стадии и три типа для второй стадии летнего муссона.

The study of the stages of the Far Eastern monsoon, carried out according to meteorological observations in Vladivostok from 1966 to 2018. showed a steady decrease in the duration of the summer phase against the background of an increase in the winter monsoon; the dynamics of the duration of the first stage of the summer monsoon shows its steady, statistically significant decrease; for 2013-2018 Four types of temperature-wind combinations of the atmosphere were identified for the first stage and three types for the second stage of the summer monsoon.

Муссонный характер циркуляции характерен для юга Дальнего Востока России – Амурской области, Приморского края и Сахалина. Особенностью климата дальневосточного муссона является резкая смена погодного комплекса и выраженная сезонная контрастность климатических условий от зимы к лету. Во время действия летнего муссона наблюдается повышенная абсолютная и относительная влажность воздуха, выпадение большей части осадков, значительное увеличение облачности, числа дней с туманами, снижение продолжительности солнечного сияния и количества ультрафиолетовых лучей. Дальневосточный муссон наиболее ярко выражен на юге Приморского края и, в частности, в районе города Владивосток. Различают первую и вторую стадии летней фазы муссона, погода которых существенно отличается [1].

Цель исследования: изучение динамики зимней и стадий летней фаз дальневосточного муссона на юге Приморского края; анализ погодного комплекса летнего муссона за последние шесть лет.

В качестве исходных данных были использованы срочные наблюдения за температурой воздуха, облачностью, явлениями погоды, осадками, направлением и скоростью ветра на станции Владивосток за период с марта по октябрь 2013 – 2018 гг. (сайт rp5.ru /<https://rp5.ru/>). Привлекались также срочные данные по температуре воздуха на станции Владивосток с 1981 по 2010 гг. представленные на сайте meteo.ru /<http://meteo.ru/>.

Методика: для определения даты перехода с зимней фазы муссона на летнюю и наоборот, проводился анализ повторяемости направления ветра во Владивостоке в марте – мае (для определения начала наступления летней фазы) и сентябре – октябре (для определения начала наступления зимней фазы) по данным восьмисрочных наземных наблюдений. За дату начала зимней фазы принималась пентада, в течение которой преобладали ветры северных румбов. За дату начала летней фазы принималась пентада, в течение которого преобладали ветры южного и юго-восточного направления. Определение даты начала второй стадии муссона производилось по ежегодным графикам среднесуточного изменения температуры воздуха. Резкое увеличение температуры от суток к суткам (в промежутки времени со второй половины июня до конца июля) является четким индикатором наступления второй стадии муссона. Согласно [2] даты

наступления 2 стадии муссона делятся на 5 классов.

Обсуждение результатов. Многолетний ход наступления зимней фазы дальневосточного муссона за 1966 – 2018 гг. приведен на рисунке 1. На графике видно, что начало наступления фазы за исследуемый период не показывает каких-либо значимых изменений, на что указывает отсутствие тренда. Однако десятилетнее линейное сглаживание позволяет увидеть, что с 1987 по 2001 гг. зимняя фаза муссона наступала раньше обычного, что указывает на аномально холодные зимы. В этот период зимняя фаза наступала раньше всего (5 сентября) в 1994, 2000, 2005 гг. Начиная с 2003 года наблюдается тенденция более позднего наступления зимней фазы.



Рис. 1. Межгодовая изменчивость даты наступления зимней фазы дальневосточного муссона за 1966-2018 гг.

На рисунке 2 приведен многолетний график наступления летней фазы дальневосточного муссона. Наступления летней фазы происходит позже, о чем свидетельствует положительная тенденция. Данная закономерность является устойчивой, так как линейный тренд значим.

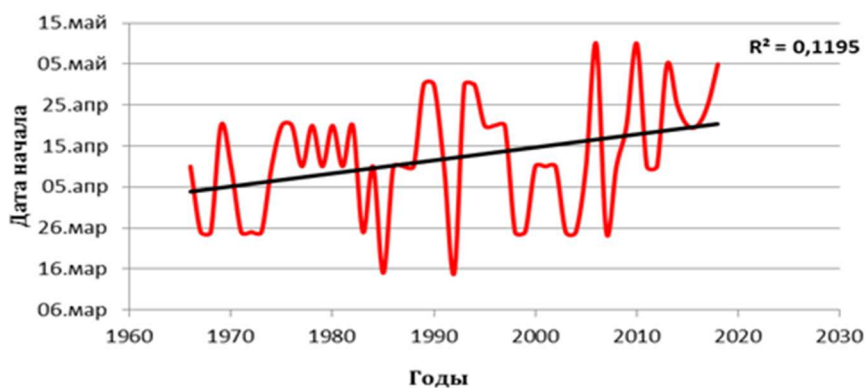


Рис. 2. Межгодовая изменчивость даты наступления летней фазы дальневосточного муссона за 1966-2018 гг.

Первая стадия летнего дальневосточного муссона характеризуется взаимодействием дальневосточной депрессии с охотским антициклоном, который способствует интенсивному выносу холодных и влажных масс с Охотского моря на континент. Динамика продолжительности первой стадии летнего муссона за исследуемый период показывает устойчивое, статистически значимое уменьшение продолжительности первой стадии (рис. 3).

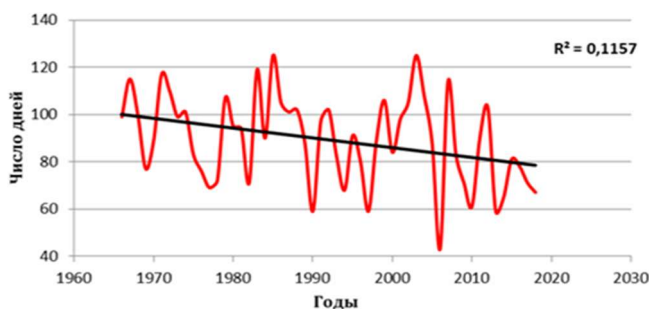


Рис. 3. Межгодовая изменчивость продолжительности первой стадии летней фазы дальневосточного муссона 1966-2018 гг.

Вторая стадия летнего дальневосточного муссона приобретает уже вид макромасштабной системы, взаимодействие в которой происходит между Азиатским материком и акваторией Тихого океана. Наступление второй стадии на протяжении последних десятилетий происходит несколько раньше (рис. 4). Но эта закономерность является неустойчивой, так как линейный тренд незначим, даже аппроксимация полиномом не отражает динамику второй стадии.



Рис. 4. Межгодовая изменчивость даты наступления второй стадии летней фазы муссона за 1966-2018 гг.

Из проведенного выше анализа следует, что продолжительность второй стадии увеличивается (рис. 5), однако линейный тренд незначим, лишь аппроксимация полиномом четвертой степени отражает колебательный характер многолетнего хода. До 1975 года тренд идет на увеличение продолжительности стадии, далее до 1993 года тренд идет на убыль. Затем до 2010 года тренд снова идет на увеличения. В этот промежуток наблюдается самый короткий период продолжительности второй стадии летнего муссона (43 дня в 2002 году) и самый продолжительный период (115 дней в 2006 году).



Рис. 5. Межгодовая изменчивость продолжительности второй стадии летней фазы дальневосточного муссона за 1966-2018 гг.

Общая продолжительность летней фазы в целом уменьшается по стохастическому закону (рис. 6). С 1966 по 1973 гг. наблюдается увеличение продолжительности фазы: в этот промежуток отмечается самый продолжительный период (209 дней в 1972 году). С 1973 по 1992 гг. наблюдается тенденция уменьшения фазы. Затем до 2010 г. тенденция идет на увеличение, в этот же год, фаза длилась меньше всего (118 дней).



Рис. 6. Межгодовая изменчивость продолжительности летней фазы за 1966-2018 гг.

В 2013 году в августе наблюдалось аномальные перебои летнего муссона. В промежутке с 18 августа по конец месяца более 70% дней преобладал ветер северных румбов. Но в сентябре летний муссон снова возобновился, повторяемость северных направлений резко снизилась. Это указывает на неустойчивое состояние летней фазы. Устойчивый же переход на зимнюю циркуляцию произошел с 12 по 17 октября. Неустойчивое наступление зимнего муссона наблюдалось в 2015 году: в период с первой декады до 13 сентября преобладал южный перенос, а устойчивым зимний муссон стал лишь 25 сентября.

Анализ интенсивности стадий летнего муссона за последние шесть лет проводился по знаку аномалий среднесуточной температуры воздуха. Для этого были посчитаны отклонения температуры воздуха относительно нормы, рассчитанной за каждый день (с апреля по август) базового тридцатилетнего периода 1981-2010 гг. Интенсивность определялась по повторяемости положительных и отрицательных значений, превышающих 2°C .

Температурно-ветровой режим погоды летнего муссона лег в основу разработанной нами классификации. По комплексным графикам междусуточных колебаний температуры и скорости ветра были выделены четыре типа их сочетаний для первой стадии муссона и три типа для второй стадии.

В результате: определены даты наступления и продолжительность зимней и летней фаз дальневосточного муссона, а также дата наступления и продолжительность второй стадии летней фазы; выявлено устойчивое уменьшение продолжительности летнего муссона на фоне увеличения зимней фазы; выделены четыре типа температурно-ветрового сочетания состояния атмосферы для первой стадии и три типа для второй стадии летнего муссона.

Литература

1. Новороцкий, П.В. Распространение муссона над южной частью российского Дальнего Востока / П.В.Новороцкий // Метеорология и гидрология - 1999. – №11. - С. 40–46.
2. Василевская, Л. Н. Особенности долгопериодной изменчивости температуры, осадков и сроков наступления второй стадии летнего муссона в заливе Петра Великого / Л. Н.Василевская, Б. Е.Ламаш, Е.
3. А.Кукаренко // Вестник ДВО РАН. 2013. - № 6. - С. 71–82.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ

Кузнецов А.А., Шевчук О.И.

«Российский Государственный Гидрометеорологический Университет» Санкт-Петербург
Россия

CHANGE IN OCEAN SURFACE TEMPERATURE AFTER THE PASSAGE OF TROPICAL CYCLONES IN THE ATLANTIC OCEAN

Kuznetsov A.A., Shevchuk O.I.

«Russian State Hydrometeorological University» Saint-Petersburg, Russia

В данной работе производится расчет времени восстановления температуры поверхности океана после прохождения тропических циклонов разного происхождения и мощности. Исследование и параметризация этих процессов крайне важны для улучшения прогнозов эволюции и интенсивности тропических циклонов.

In this paper, we calculate the time of restoration of the ocean surface temperature after passing through tropical cyclones of different origin and thickness. The study and parameterization of these processes is extremely important for improving forecasts of the evolution and intensity of tropical cyclones.

Изучение времени восстановления температуры поверхности океана после прохождения тропических циклонов и параметризация таких процессов крайне важны для улучшения прогнозов эволюции и интенсивности тропических циклонов. В данной работе исследуются лишь некоторые, особо мощные циклоны, развивавшиеся в Атлантическом океане в последние десятилетия – Игорь, Ирма и Николь. Для чего были выбраны среднесуточные значения температуры поверхности Атлантического океана во время, а также за месяц до и после прохождения циклона. Рассмотрим наиболее показательный циклон Игорь, который зародился 6 сентября у западного побережья Африки. И уже к 8 сентября поверхностная циркуляция была достаточно явно выражена и конвекции достаточно для образования тропического циклона. После того, как циклон стал тропическим штормом (Рисунок 2), он не мог укрепиться около суток. Фактически, система потеряла некую организацию. Циклон в конечном итоге достиг предела урагана к 13 сентября. Вскоре, после этого центральная часть циклона была ярко сформулирована облаками и симметрична. Скорость ветра на этот момент достигала 80 м/с, а при прохождении через тропическую Атлантику замедляется. За 14,15 и 16 сентября он прошел всего 10° широты, для сравнения, только за 11 сентября он прошел практически такое же расстояние в 9°. После появления намеков на четко сформулированную структуру глаза в тропическом циклоне, максимальные порывы ветра в Игоре снижаются до 60 м/с. Окончательное формирование и укрепление Игора произошло 15 сентября. В этот момент скорость ветра достигала 83 м/с и ураган находился в колебании между северо-западным и западно-северо-западным направлением. 22 сентября Циклон повернул на север и северо-северо-запад, его центр перемещается по северной Атлантике между Лабрадором и Гренландией. И уже 23 сентября система стала поглощаться другим крупным внematочными циклонами.

Из архива RSS(Remote sensing system), по определенной заранее схеме, были выбраны данные о температуре поверхности океана, с 8 августа по 21 октября 2010 года, которые получены со спутника F19 SSMIS после вторичной обработки «v04.0». Для чего заранее определялась траектория движения исследуемого циклона и координаты центров, используя спутниковые снимки, размещенные на Интернет ресурсе Nasa Worldview (рисунок 1).



Рис. 1. Спутниковое изображение циклона Игорь 17 сентября 2010 года (пик мощности циклона)

В результате была построена траектория с нанесением мощности циклона, по данным из национального центра ураганов США (рисунок 2). Так же на данном рисунке отмечены точки, выбранные для исследования. Точки 1-5 – основные и являются центрами циклона.

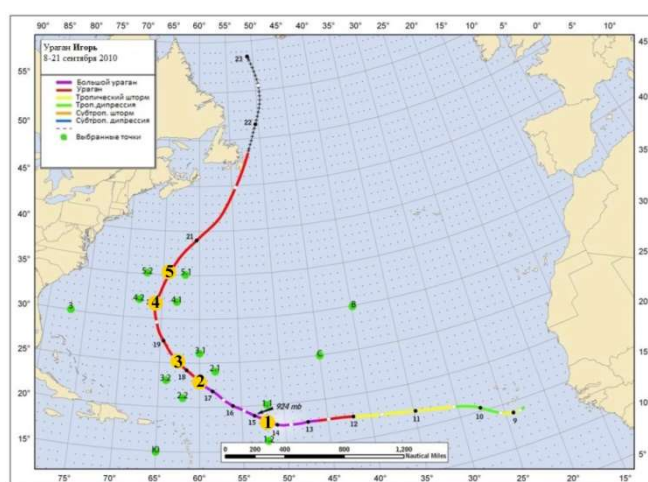


Рис. 2. Траектория ТЦ Игорь с нанесенными точками, выбранными для исследования

Для всестороннего исследования тропического циклона использовались дополнительные точки 1.1, 1.2 – 5.1, 5.2, находящиеся в непосредственной близости от центра, в среднем, на расстоянии 1-2 градуса широты, в районе полос плотных грозных кучевых облаков, а так же 4 независимые точки – С, Ю, З, В вдали от траектории движения.

На рисунке 3 изображено распределение поверхностной температуры в Атлантике 13 и 20 сентября 2010 года. На рисунке 3А стандартное распределение температуры поверхности океана для заданного времени года. В данный момент циклон только стал переходить в категорию «большой ураган», поэтому никак не прослеживается. Далее он начал проявляться следом пониженных температур, которые занимают довольно большую площадь и уже к 20 сентября, перейдя в стадию затухающего урагана, стал сливаться с поверхностной температурой, что хорошо видно на рисунке 3Б. Таким образом можно судить о том, что понижение температуры происходит именно после прохода тропического циклона, что связано с вертикальным перемешиванием в верхних слоях океана.

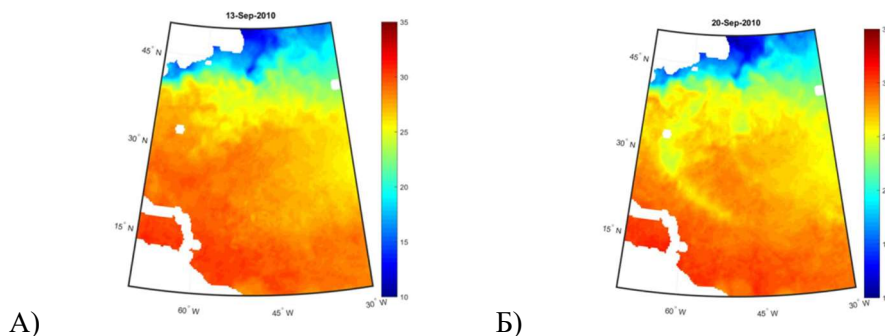


Рис. 3. Температура поверхности океана в западной части Атлантического океана (13 сентября 2010 года А и 16 сентября-Б)

Для оценки понижения температуры в связи прохождением тропического циклона, на один график наносится средняя климатическая температура за 10 лет в данной точке и температура за 2010 год (в период прохождения циклона Игорь). На рисунке 4 представлены данные в точке №1 (18° с.ш. 52° з.д.) В момент прохождения циклона 14 сентября можно наблюдать резкое падение температуры с 29°C до 26,5°C, а затем постепенное восстановление до среднеклиматической температуры, которая была достигнута только к 11 октября, а максимальное падение произошло 15 сентября, соответственно период восстановления занял почти месяц.

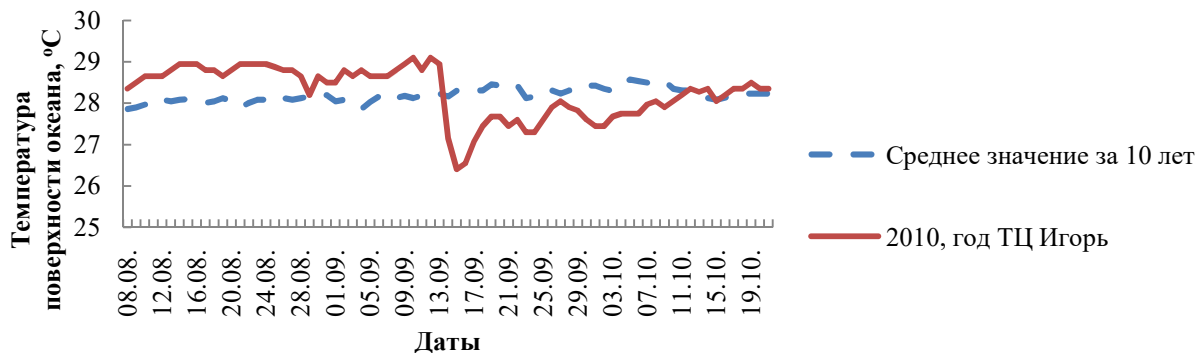


Рис. 4. Значение температуры поверхности океана в точке 18 с.ш. 52 з.д. относительно средней за 10 лет

В точку под номером 2 циклон пришел 18 сентября, температура поверхности океана резко снижается, как представлено на рисунке 5, 16 сентября температура составляла 29,25°C, а 18 сентября уже 25,65°C, снизившись почти на 4°C. Возврат к своему нормальному состоянию произошел к 17 октября. Также как и в точке №1 – восстановление заняло целый месяц.

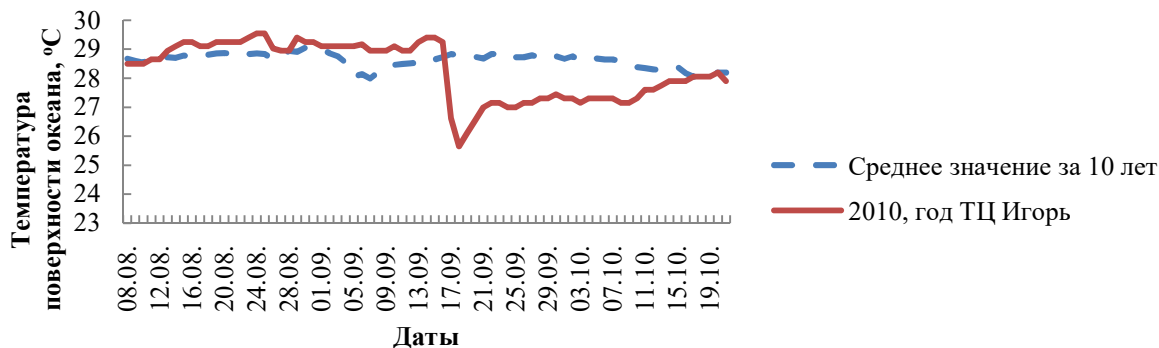


Рис. 5. Значение температуры поверхности океана в точке 23 с.ш. 60 з.д. относительно средней за 10 лет

Изучение различных по интенсивности циклонов, показало, что тропические циклоны в той или иной мере влияют на температуру поверхности океана. Характер данных изменений напрямую зависит от интенсивности тропических циклонов, но они совершенно по-разному влияют на поверхностную температуру. Для циклона Игорь отчетливо видно, что в двух рассмотренных точках температура восстанавливается к своему среднеклиматическому значению около месяца, что характерно во время прохождения мощных ТЦ при плохих погодных условиях. Однако при хороших погодных условиях, которые наблюдались во время развития очень мощного ТЦ ИРМаА, восстановление заняло 9-14 дней. Последствия снижения температуры поверхности океана после прохождения маленьких ураганов ликвидируются довольно быстро всего за 3-4 дня.

Литература

1. Географический атлас. — М.: ГУГК, 1982.
2. Физическая география материков и океанов / Под общей ред. А. М. Рябчикова. — М.: Высшая школа, 1988
3. Кравчук П. А. Рекорды природы. — Любешов: Эрудит, 1993
4. Деев М. Г. Южный океан. Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2017).
5. Статья «Tropical cyclone», Encyclopædia Britannica
6. Pasch, Richard J. and Lixion A. Avila (May 1999). «Atlantic Hurricane Season of 1996
7. Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Hurricane Research Division. Frequently Asked Questions: What is an extra-tropical cyclone? National Oceanic and Atmospheric Administration
8. Atlantic Oceanographic and Hurricane Research Division. Frequently Asked Questions: What are "concentric eyewall cycles" (or "eyewall replacement cycles") and why do they cause a hurricane's maximum winds to weaken?. National Oceanic and Atmospheric Administration
9. Вокруг света за погодой/ Санин Владимир Маркович /2006
10. Q: What is the average size of a tropical cyclone?. Joint Typhoon Warning Center (2009)
11. NOAA FAQ: How much energy does a hurricane release?. Национальное управление океанических и атмосферных исследований (August 2001).
12. Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Hurricane Research Division. Frequently Asked Questions: Why do tropical cyclones require 27 °C ocean temperatures to form?. National Oceanic and Atmospheric Administration
13. Tropical Cyclone Climatology. Национальный центр прогнозирования ураганов США (10 мая 2007).
14. Национальный центр прогнозирования ураганов США. Annual average official track errors for Atlantic basin tropical cyclones for the period 1989-2005, with least-squares trend lines superimposed. National Hurricane Center Forecast Verification. National Oceanic and Atmospheric Administration (22 мая 2006)

ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ВОДООХРАННЫХ ЗОН В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Кузьмина А.А.¹, Носаль А.П.¹, Власкин В.Ф.¹

¹ФГБУ «РосНИИВХ», Екатеринбург, Россия

PROBLEMS OF MONITORING WATER-PROTECTED ZONES IN THE MODERN SYSTEM OF STATE MONITORING OF WATER OBJECTS

Kuzmina A.A.¹, Nosal A.P.¹, Vlaskin V.F.¹

¹Federal State Budgetary Organization «Russian Scientific Research Institute of Integrated Use and Protection Water resources», Ekaterinburg, Russia

В статье представлен критический анализ данных, накопленных в действующей автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов, применительно к мониторингу состояния водоохраных зон. Приведен краткий перечень проблем, возникающих при проведении данного вида мониторинга, и обуславливающих причин. Предложен подход по усовершенствованию системы мониторинга водоохраных зон.

The article presents a critical analysis of the data accumulated in the existing automated information system of state monitoring of water bodies in relation to monitoring the status of water protection zones. The short list of problems arising during the conduct of this type of monitoring, and the underlying causes. An approach is proposed to improve the monitoring system for water protection zones.

Согласно «Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» (утв. ППР №219 от 10.04.2007 г.) в состав государственного мониторинга водных объектов (далее ГМВО) включен относительно новый вид мониторинга: мониторинг состояния дна, берегов, изменения морфометрических особенностей водных объектов или их частей, а также состояние и режим использования водоохраных зон (далее ВОЗ) [1]. Данная часть ГМВО упрощенно именуется гидроморфологический мониторинг.

В статье рассмотрена часть гидроморфологического мониторинга, касающаяся ВОЗ. Методической основой для ведения этой части ГМВО являются утвержденные приказом Минприроды России от 08.10.2014 № 432 «Методические указания (далее МУ) [2]. Согласно МУ ответственность за проведение мониторинга ВОЗ ложится на уполномоченные органы исполнительной власти (ОИВ) субъектов Российской Федерации, водопользователей (в пределах их землеотвода) и собственников водных объектов. Гидроморфологический мониторинг на водохранилищах, используемых как источник питьевого водоснабжения для двух и более субъектов РФ, осуществляется непосредственно органами Росводресурсов.

Результаты наблюдений накапливаются и хранятся в автоматизированной информационной системе государственного мониторинга (АИС ГМВО) в таблицах, форма которых установлена приказом Минприроды России от 6 февраля 2008 № 30 [3]:

- форма 27 «Данные о водоохраных зонах водных объектов» (ответственные Росводресурсы и ОИВ);
- форма 28 «Данные наблюдений за режимом использования водоохраных зон водных объектов» (ответственные ОИВ и Росводресурсы, с 2017 г. сведения по ВОЗ водных объектов, в ведении Росводресурсов заносятся в таблицу 28.1);
- форма 6.2 «Сведения о состоянии водоохраных зон водных объектов» и форма 6.3 «Сведения о режиме использования водоохраных зон водных объектов» (ответственные водопользователи идентичны формам 27 и 28).

В МУ приведены общие подходы к мониторингу ВОЗ, но не даются конкретные рекомендации по определению протяженности (масштаба) или доли ВОЗ, на которой следует проводить мониторинг в пределах каждого субъекта РФ или водохозяйственного участка (ВХУ), что снижает их практическую значимость. Если с водопользователями ситуация достаточно определенная (ВОЗ в пределах земельного отвода, принадлежащего водопользователю), то водный объект и протяженность ВОЗ, которых подлежат мониторингу по заданию ОИВ субъектов РФ определяются Региональными программами.

МУ предлагают участки мониторинговых наблюдений за состоянием ВОЗ устанавливать на основе морфологической классификации водоохранных зон, учитывающей положение ВОЗ в пределах пойменных массивов, речной долины, паводкового русла, т.е. применительно к водотокам, но отсутствуют какие-либо предложения по мониторируемым отрезкам ВОЗ для водоемов. К участкам мониторинговых наблюдений предлагается отнести участки проявления негативных естественных процессов (водно-эрозионных, заболачивания и подтопления, обезвоживания (осушения) в пределах ВОЗ и участки выявленных нарушений условий использования ВОЗ. Вызывает сомнения целесообразность морфологической классификации ВОЗ для нужд мониторинга. Это связано со схематичностью установления ширины ВОЗ на практике исключительно в зависимости от длины водотоков или площади водного зеркала для водоемов (ст.65 Водного кодекса), при котором ВОЗ для средних и больших водотоков будет охватывать только малую часть пойменного массива. При этом режим использования конкретной ВОЗ и ее влияние на экологическое состояние водотока будет весьма незначительна по отношению к общей пойме. Проведение морфологической классификации ВОЗ это крупномасштабная и весьма затратная специализированная работа, которая по факту не выполнялась до настоящего времени ни в одном из субъектов РФ.

Второй принципиальный недостаток МУ заключается в отсутствии взаимосвязи этого нормативно-методического документа с формой таблиц АИС ГМВО. Согласно п.93 МУ результатом работ по мониторингу в пределах ВОЗ, проводимого по заданию ОИВ, и передаваемых в территориальные органы Росводресурсов должны быть:

- карты морфологически классифицированных водоохранных зон и пойменных массивов;
- полные морфологические, экологические и эстетические описания водоохранных зон с фотоматериалами, составленные по материалам аэровизуального обследования;
- карта нарушений условий использования водоохранных зон и пойменных массивов и др.

Реальность получения указанных результатов мониторинга и возможность их анализа на текущий момент весьма сомнительна, поскольку, во-первых, отсутствуют обоснованные сравнительные критерии для выполнения «морфологических, экологических и эстетических» описаний ВОЗ. Во-вторых, в АИС ГМВО и в бассейновых водных управлениях (БВУ) не предусмотрено сбор и хранение картографических материалов, каталогов и отчетов по мониторингу. Требуемый масштаб карт, полученных с использованием аэрофотосъемки, почти неизбежно подпадет под ограничения по секретности и не сможет быть использован в широкой практике по управлению использованием и охране водных объектов. Текущая ситуация в связи с невыполнением положений МУ при мониторинге ВОЗ не критическая, поскольку по факту эти работы в больших масштабах не проводились.

Очевидные нестыковки нормативно-методического документа и базы данных достаточно долгое время игнорировались. Начиная с 2010 г. шло планомерное заполнение АИС ГМВО (с 2014 г. официальная информационная система) данными, направляемыми водопользователями и ОИВ. Формально данные мониторинга ВОЗ в стране ведутся и копятся, оценка эффективности и достоверности данных никем не проводилась.

Нами был проведен критический анализ данных, накопленных в АИС ГМВО за весь период (с 2010 г. по середину 2019 г.) по формам, касающимся мониторинга ВОЗ. Выполненная работа показала различия в информации предоставляемой водопользователями и ОИВ субъектов РФ.

Для водопользователей отчетность по форме 6.2-6.3 является обязательным условием по соблюдению условий на пользование водным объектом. Большинство либо не имеет земельного участка в пределах ВОЗ, либо из года в год дублирует одни и те же данные по трем видам ландшафта, указанным формам. По сути, ежегодная отчетность является тестом на законопослушность водопользователей, информация носит непоказательный «лоскутный» вид.

Доступная информация по ВОЗ, полученная от ОИВ субъектов РФ, в базах данных АИС ГМВО (формы 27-28) представлена намного уже, хотя теоретически должна составлять основной объем.

Анализ показал, что из 85 субъектов РФ данных по мониторингу ВОЗ не представляли никогда 35 (более 40% от общего числа), сведения по другим носят отрывочный характер и ведутся по 1-10 водным объектам, участок преимущественно выбирается произвольно. Основные причины невыполнения мониторинга его основными участниками являются: отсутствие средств в бюджетах местного уровня, отсутствие критериев выбора водных объектов или их участков, где требуется первоочередное проведение мониторинга, а также непонимание местными органами какие преференции может получить территория от проводимого мониторинга в социально-экономическом и экологическом плане. Половина субъектов РФ считают, что на проведение этого вида мониторинга средства должен выделять федеральный центр.

Представление информации по мониторингу ВОЗ в современном табличном виде АИС ГМВО формально удобно, но является неинформативным и непригодно для принятия решений по управлению и рациональному использованию водных объектов и их ВОЗ.

Для соответствия задачам, стоящим перед ГМВО (выявление и прогнозирование развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработка и реализация мер по предотвращению негативных последствий этих процессов, информационное обеспечение управления в области использования и охраны водных объектов и пр.) необходимо решить как минимум три блока вопросов: 1) организационный; 2) критериальный; 3) оценочный.

Организационный блок. Формально гидроморфологический мониторинг и мониторинг ВОЗ в частности должен проводиться на всех водных объектах, где наличествуют инженерные сооружения или проводятся мероприятия, способные воздействовать на русловые и береговые процессы, т.е. практически любая хозяйственная деятельность на водосборе. Иными словами с той или иной степенью обязательности такими наблюдениями теоретически должны быть охвачены все водные объекты на территории занятой хозяйственной деятельностью. Очевидно, что на практике такой подход нецелесообразен как по избыточным материально-финансовым затратам, так и в связи с различием масштаба негативных последствий на разных водных объектах. Проведение всего перечня мероприятий мониторинга в рамках предусмотренных МУ на всех водных объектах субъекта РФ потребует значительных материально-финансовых затрат из региональных бюджетов при неопределенном эффекте применения полученной информации для управления водными объектами. В сложившихся кризисных условиях экономики подобное размытое использование средств малопримемлемо и дискредитирует саму идею проведения мониторинга. По факту объекты для мониторинга назначаются без внятной системы отбора с финансированием по остаточному принципу. Это в итоге дает двоякую неопределенность: ОИВ должны вносить основной вклад в базу данных АИС ГМВО по мониторингу ВОЗ, но они не заинтересованы в издержках из-за неясных перспектив использования результатов и получаемых преференций для субъекта РФ.

Очевидно порядок, частота и состав наблюдений должны быть закреплены в Региональной программе, в которую включаются в первую очередь водные объекты или их участки:

- источники хозяйственно-питьевого водоснабжения, включая зоны санитарной охраны;
- с населенными пунктами или отдельно расположенными хозяйственными объектами, попадающими в зону затопления паводков 10% обеспеченности (ранжирование по ущербу);

- участки рек и водоемов с интенсивной боковой эрозией, затрагивающей населенные пункты, хозяйственные объекты стратегического значения, объекты инфраструктуры (по данным МЧС и т.д.).

Критериальный блок. Практически все положения МУ по ВОЗ только декларированы и не имеют четких градаций и классификаций. Исходя из задач мониторинга, совершенно необъективным смотрится выбор трех ландшафтов на территории ВОЗ, определенных как «Экосистемы ВОЗ». Выбор этих групп гипотетически утверждает их главенствующую роль и влияние на формирование качества воды водного объекта, что противоречит действительности. Во-первых, изменения общих и относительных площадей могут быть вызваны естественными, антропогенно-обусловленными или комплексными факторами и не означают обязательного негативного воздействия на водный объект. Во-вторых, часто изменение площадей обусловлены переходом одного в другой: зарастание кустарниками залуженных участков и т.д.

Более рационален подход к определению состава показателей и характеристик закрепленных в положениях о режиме хозяйствования в ВОЗ: площади (доли) и состояние селитебных территорий в пределах ВОЗ (их канализование, экспликация по поверхностям стока, пр.); густота дорожной сети по категориям; наличие зон рекреации и их обобщенные характеристики; распашка земель и наличие водозащитных насаждений; наличие свалок, общая захламленность ВОЗ; наличие водно-эрозионных процессов и т.д.

Перечень показателей должен адаптироваться к природной зоне и степени освоенности водосбора. Для сравнимости используемые показатели нужно выражать не в абсолютных величинах, а в баллах, отражающих диапазон изменчивости того или иного показателя.

Оценочный блок. Даже наличие сопоставимых данных не сразу дает понимание об интенсивности и направленности происходящих изменений в ВОЗ и их степени воздействия на качество воды в водном объекте, а соответственно необходимости проведения оперативных мероприятий для предупреждения или уменьшения негативных последствий.

В качестве основы при выборе первоочередности и последовательности проведения мероприятий, а так планируемых материально-финансовых затрат в пределах субъекта РФ предлагается использовать балльную оценку социально-экологической напряженности. Система балльной оценки социально-экологической напряженности разрабатывается в ФГБУ РосНИИВХ, ее модификации планируется использовать как на этапе разработки Региональной программы для выбора мониторируемых водных объектов или их участков, так и при использовании результатов мониторинга при установлении первоочередности проведения мероприятий по предотвращению/устранению негативных последствий воздействия вод или реабилитации водного объекта в качестве обосновывающего критерия при выделении федеральных субвенций. Перечень показателей, включаемых в систему балльной оценки отличается в зависимости от специфики хозяйственной деятельности в пределах бассейна.

Выводы. Критический анализ текущего состояния мониторинга ВОЗ в соответствии с действующими нормативно-методическими документами выявил несостоятельность и недееспособность последних. Накопленная в АИС ГМВО информация по мониторингу ВОЗ разрозненна и малопригодна для осуществления задач ГМВО. Требуется переработка МУ и совершенствование системы мониторинга для практической возможности осуществления оценки и прогнозирования изменений состояния водных объектов (количественных и качественных показателей), а также планирования необходимых мероприятий.

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 10 апр. 2007 г. №219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов.
2. «Методические указания по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохранных зон и

изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей» (утв. Приказом Минприроды России от 08.10.2014 № 432).

3. Приказ Минприроды России от 6 февраля 2008 № 30 «Об утверждении форм и Порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями».

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РУСЕЛ РЕК ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПАВОДКОВ ПО ДАННЫМ О РАСХОДАХ ВОДЫ, ИЗМЕРЕННЫХ В ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ СТОРАХ И ИХ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЗА ПРЕДЕЛЫ ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕРЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕК КУБАНЬ И АМУР)

Т. И. Яковлева, канд. техн. наук, О. Е. Кучеренко

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия.

EVALUATION OF THE CHANNEL CAPACITY DURING THE EXTREME FLOODS ACCORDING TO DATA ON WATER DISCHARGES MEASURED IN GAGING SECTIONS AND THEIR EXTRAPOLATION BEYOND THE MEASUREMENT RANGES (ON THE EXAMPLE OF THE KUBAN AND THE AMUR RIVERS)

T. I. Yakovleva, Cand. Tech. Sci., O. E. Kucherenko

Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute», St. Petersburg, Russia.

Рассматриваются различные подходы для оценки максимальных расходов воды по следам катастрофических паводков: 2002 г. – в бассейне р. Кубань и 2013 г. – в бассейне р. Амур. Предложены методы, которые могут быть рекомендованы при отсутствии надежных данных об уклонах водной поверхности.

Various approaches are considered to evaluate the peakflow with the marks of catastrophic floods: 2002 – in the basin of the Kuban river and 2013 – in the basin of the Amur river. Methods that can be recommended in the absence of reliable data on water surface slopes are proposed.

Одним из важнейших вопросов при планировании развития и функционирования водохозяйственных систем в бассейнах рек является определение вероятности превышения наблюдавшегося максимума расходов воды. Решение этой задачи, в свою очередь, зависит от надёжной оценки значений максимальных расходов воды и характеристик гидрографов экстремальных паводков.

Известно, что оценка максимальных расходов воды по меткам высоких вод очень непростая задача. Корректность расчёта максимумов стока в значительной степени зависит от правильности определения уклонов водной поверхности и назначения характеристик шероховатости. Наибольшая неопределённость при этом заключается в оценке коэффициентов шероховатости русел и участков затопленной поймы.

Для анализа условий формирования катастрофических паводков 2002 года на реке Кубань и 2013 года на реке Амур и их притоках были использованы все имеющиеся данные наблюдений на гидрологической сети, включающие полную совокупность данных наблюдений за многолетний период всех действующих гидрологических постов, а также всех стоковых постов, на которых наблюдения велись в отдельные периоды прошлого столетия.

При выборе схем расчёта был выполнен всесторонний анализ данных многолетних наблюдений на изучаемых гидрологических постах. Для оценки морфометрических параметров русел и поймы были использованы совокупности данных измеренных расходов воды (ИРВ) за многолетний период и материалы обследования, выполненные по следам прошедших паводков специалистами ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» – в бассейне реки Кубань и ФГБУ «Дальневосточное УГМС» – в бассейне реки Амур.

Максимальные расходы воды определялись отдельно для русла и прилегающих участков поймы. Наибольший расход воды в русле вычислялся тремя способами – по уравнению Шези-Маннинга, с использованием системно-параметрической модели (СПМ) [2], с использованием соотношения, полученного И. Ф. Карасёвым на основе закономерностей перемещения паводка в форме кинематической волны [3, 4].

В первом случае средняя скорость течения оценивалась по формуле:

$$V = C\sqrt{hI}, \quad (1)$$

где C – коэффициент Шези, h – средняя глубина, I – уклон водной поверхности на участке поста.

При выполнении экстраполяции расходов воды в дополнение к широко распространённому способу экстраполяции, основанному на использовании известного уравнения Шези, в отделе гидрометрии ГГИ под руководством проф. И. Ф. Карасёва были разработаны ещё несколько расчётных приемов экстраполяции. Их отличие от традиционного (по уравнению Шези) заключается в том, что в них не используются напрямую такие трудно определяемые характеристики пропускной способности русла как уклон и шероховатость. При этом оценка параметров, входящих в расчётные схемы экстраполяции, выполняется непосредственно по данным совокупностей измеренных расходов воды прошлых лет.

Так, вторая зависимость, применявшаяся для оценки максимальных расходов воды, вытекает из системно-морфометрической модели гидрометрического учёта стока, согласно которой средняя скорость течения потока определяется выражением:

$$V = K_c \left(\frac{gh}{\tilde{b}} \right)^{0.5} \quad \text{или} \quad V = \frac{I^{0.25}}{\eta^2} \left(\frac{gh}{\tilde{b}} \right)^{0.5}, \quad (2)$$

где η – инвариант, предложенный И. Ф. Карасёвым [2], I_0 – продольный уклон дна, \tilde{b} – относительная ширина русла, равная B/h .

Третье расчётное соотношение получено И. Ф. Карасёвым на основе редукции расходов воды по геометрическим характеристикам потока с учётом предпосылок кинематической волны [3, 4]:

$$Q_s = Q_0 \left(\frac{\omega_s}{\omega_0} \right)^S \quad (3)$$

где ω_0 и ω_s – площади живого сечения потока, соответствующие расходам Q_0 и Q_s .

Площадь живого сечения для расчета максимального расхода воды должна быть определена по данным нивелировки поперечного профиля в расчетном гидрометрическом створе до отметок высших наблюдаемых уровней воды

Для определения показателя степени S для зоны максимальных расходов воды могут быть использованы соотношения скоростей течения и глубин в русле, приведённые в [2] или формула:

$$S = \frac{\lg Q_i - \lg Q_{i-1}}{\lg \omega_i - \lg \omega_{i-1}}, \quad (4)$$

где Q_i и Q_{i-1} – смежные во времени на фазе подъёма в верхнем диапазоне уровней значения расходов воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

ω_i и ω_{i-1} – соответствующие расходам Q_i и Q_{i-1} значения площадей живого сечения, полученные по зависимости $\omega(H)$ в расчётном гидрометрическом створе.

Ключевой параметр СПМ (3) в виде комплекса $K_c = I_0^{0.25}/\eta^2$ так же, как и коэффициент Шези C формулы (2), рассчитывался по совокупностям наиболее надёжных данных об измеренных расходах воды прошлых лет.

Параметр K_c вычислялся по данным наблюдений по формуле:

$$K_c = \frac{V_{cp} \tilde{b}^{0.5}}{(gh)^{0.5}}. \quad (5)$$

Здесь V_{cp} – средняя скорость потока, при измерении расхода воды.

Коэффициент формулы Шези также оценивался по данным наблюдений прошлых лет по формуле:

$$C = \frac{Q}{\omega \sqrt{hI}}. \quad (6)$$

По рассчитанным данным строились зависимости параметра K_c : коэффициента Шези C от уровня воды: $C = f(H)$ (рис. 1), $K_c = f(H)$ (рис. 2). Многочисленные исследования на различных реках России показали, что в верхнем диапазоне уровней воды значения параметра K_c , как и коэффициента Шези мало изменяются, поэтому для расчёта средней скорости потока при прохождении максимального расхода воды были использованы значения K_c и C , снятые с графиков в диапазоне высоких уровней воды. Средняя скорость потока для расчёта максимального расхода воды в бровках русла вычислялась по формулам (1), (2) и (3).

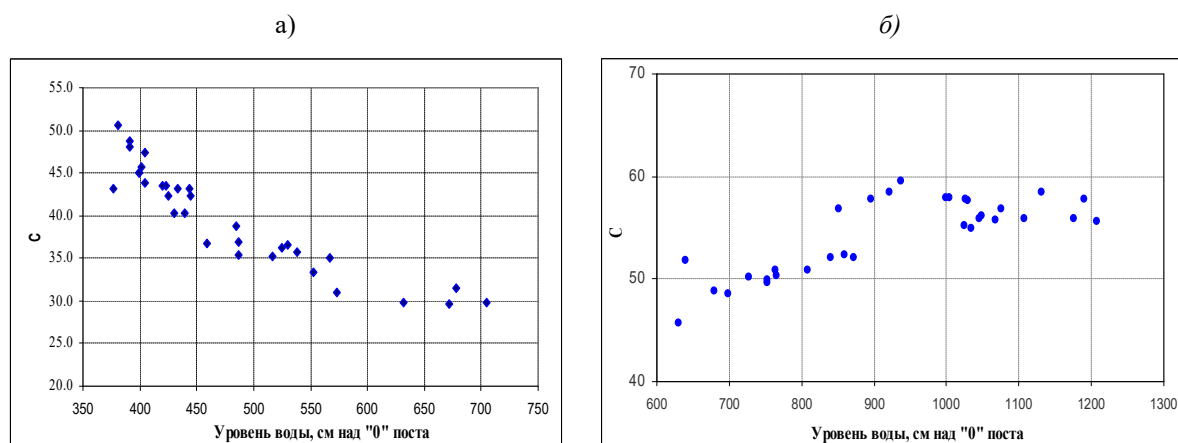


Рис. 1. Зависимость коэффициента Шези C от уровня воды
 а) ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская; б) ГП р. Амур – г. Хабаровск, г/ст
 а) б)

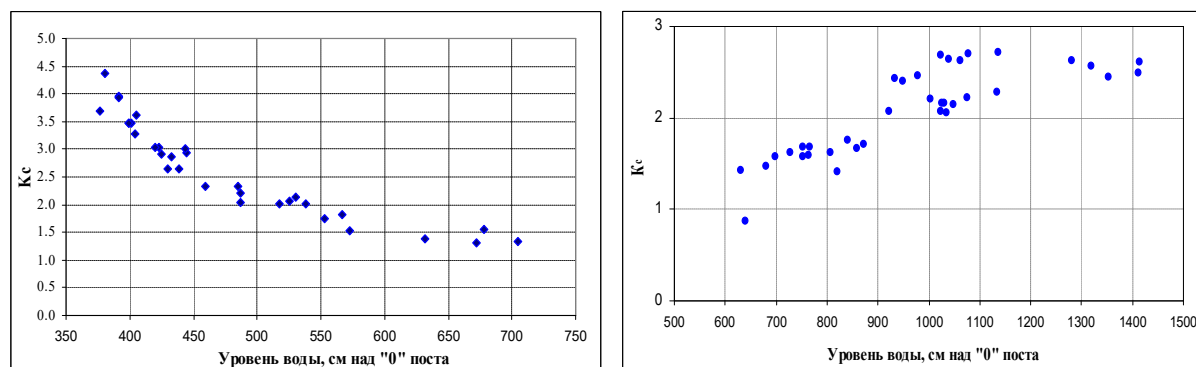


Рис. 2. Зависимость коэффициента Шези C от уровня воды
 а) ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская; б) ГП р. Амур – г. Хабаровск, г/ст

Перед тем, как использовать приведённые выше зависимости для гидрометрических створов, в которых максимальные расходы воды не были измерены, они были апробированы по данным ИРВ прошлых лет, а также данным гидрологических постов (ГП), на которых удалось выполнить инструментальные измерения расходов воды. Так для ГП на р. Амур предложенные зависимости изначально были апробированы по данным для данным ИРВ на постах р. Амур – г. Хабаровск (г/ст) и р. Амур – г. Комсомольск, на которых в 2013 г. удалось выполнить инструментальные измерения максимальных расходов воды с помощью акустического доплеровского профилографа.

Проверка зависимостей по данным прошлых лет показывает, что значения расходов воды, полученные по зависимостям (2) и (3) отличаются от наблюдаемых расходов воды в пределах 8-10%, в то время как расходы, полученные с использованием формулы Шези при отсутствии надежных данных об измеренных уклонах водной поверхности для отдельных створов могут отличаться до 20% и более. В таблице 1 приведены результаты проверки эффективности зависимостей по данным ГП р. Амур – г. Хабаровск, г/ст. за 2013 год.

Расчёты по всем трём зависимостям выполнены в предположении, что последний расход воды был измерен при уровне 1208 см над 0 поста, наблюдаемом при прохождении максимального расхода воды 37000 м³/с, который наблюдался в 1959 г. Высший измеренный в 2013 г. – 46000 м³/с. Лучшие результаты экстраполяции получены при использовании уравнений (2) и (3), худшие (отклонение от фактического более 24%) – при использовании уравнения Шези. Для ГП г. Комсомольск получены такие же результаты. По результатам проверки было принято решение для экстраполяции зависимостей за пределы диапазонов измерения для ГП р. Амур – с. Кумара и р. Амур – с. Гродеково использовать только уравнения (2) и (3).

Таблица 1. Варианты экстраполяции максимальных расходов воды 2013 г. для ГП р. Амур – г. Хабаровск

Метод	$H_{\text{высш}}$, см над «0» поста	Q_0 , м ³ /с	W_0 , м ²	h_0 , м	$W_э$, м ²	$h_э$, м	$K_э$	I , ‰	C	S	$Q_э$, м ³ /с	$Q_ф$, м ³ /с	δQ , %
уравнение (1)								0,068	56,0		57275		24,5
уравнение (2)	1414	37000	26000	9,6	30658	9,87	2,61				43951	46000	-4,4
уравнение (3)													

Для ГП в бассейне р. Кубань значение максимального расхода воды оценивались как среднее из расходов, полученных по трём приведённым выше зависимостям. Окончательное решение о величине максимального расхода воды принималось после увязки стока в смежных гидрометрических створах с использованием метода русловых водных балансов, рассчитанных для участков, ограниченных этими створами [5].

Результаты расчета максимальных расходов воды в руслах, при использовании различных методов расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета максимальных расходов воды, уточненные по меткам УВВ

Река – гидрологический пост	Высший уровень воды над «0» поста, см	Максимальный расход воды, м ³ /с				на пойме	Суммарный расход воды, м ³ /с
		в русле					
		(1)	(2)	(3)	принятый		
р. Кубань – с. им. Коста-Хетагурова	872	2660	2260	2070	2330	-	2330
р. Кубань – х. Дегтяревский	941	1650	2320	1790	2180	590	2510
р. Кубань – с. Успенское	601	2450	2100	1760	2100	1070	3170
р. Кубань – г. Армавир	820	2900	2790	2800	2890	960	3850
р. Кубань – г. Ладожская	780	1020	1025	1060	1035	525	1560

Для оценки расходов воды, прошедших по пойме, использовались материалы, полученные при обследовании прилегающих участков поймы, по которым уточнялись коэффициенты шероховатости пойменных участков. В конечном счете, оценивалось взвешенное значение коэффициента шероховатости на пойме.

На основе выполненных расчетов построены гидрографы стока в гидрометрических створах и определены основные характеристики выдающихся паводков: 2002 г. – в бассейне р. Кубань и 2013 г. – в бассейне р. Амур.

Результаты выполненных исследований показали, что оценку максимальных расходов воды по меткам уровней высоких вод можно достаточно надежно выполнить и при отсутствии данных о продольных уклонах водной поверхности. С этой целью рекомендуется использовать зависимости (2) и (3), оценка параметров которых выполнена на основе совокупностей ИРВ за многолетний период.

Литература

1. Яковлева Т. И., Кучеренко О. Е. Оценка пропускной способности русел реки Амур и её притоков по данным об измеренных расходах воды в гидрометрических створах и их экстраполяции за пределы диапазонов измерения. Сборник «Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты», с.109-122, СПб, 2015.
2. Карасёв И. Ф. Комплексы подобия и гидравлические сопротивления самоформирующихся русел рек и каналов. Гидротехническое строительство, № 12, 2006, с.17-31.
3. Карасёв И. Ф. Речная гидрометрия и учёт водных ресурсов. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 310 с.
4. И. Ф. Карасёв, С. Д. Винников, О. Е. Кучеренко. Экстраполяция максимальных расходов воды при нестационарном движении руслового потока. Стр. 20 - 25. Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 25. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 204 с. ISSN 2074-2762.
5. Яковлева Т.И., Шарина Ю.В. Расчет и анализ русловых водных балансов на участке реки Амур: г. Хабаровск – г. Комсомольск-на Амуре. Сборник «Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты», с.123-135, СПб, 2015.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ: РЕАНАЛИЗ И ЧИСЛЕННЫЕ ОЦЕНКИ

Лавров С.А., Жильцова Е.Л., Шаповалова К.О.

Федеральное Государственное бюджетное учреждение “Государственный гидрологический институт” (ГГИ), Санкт-Петербург, Россия

INFLUENCE OF CLIMATIC CHANGES ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF RUSSIAN CRYOLITZONE: REANALYSIS AND NUMERICAL EVALUATIONS

Lavrov S.A., Zhiltsova E.L., Shapovalova K.O.

State Hydrological Institute, St.-Petersburg, Russia

Аннотация: На основе использования расчётов по физико-математической модели проведён реанализ температуры и скорости протаивания многолетних мёрзлых грунтов на территории России за период 1990–2018 гг. Выполнен прогноз данных характеристик на период до 2050 г. Показано, что результаты реанализа, полученные в узлах пространственной сетки 0.5 градуса широты × 0.5 градуса долготы близки к экспериментальным данным. Тренд температуры на глубине 3.2 м в зоне распространения многолетних мёрзлых пород варьирует от 0.03 до 0.09 °C/год. Средняя величина тренда протаивания полученная экспериментально составляет 0.87 см/год, а по данным реанализа усредненное значение по всем типам почв равно 1.1 см/год. Прогнозируемое сокращение площади занятой многолетними мёрзлыми грунтами для всех типов грунтов составляет 5% за десятилетие.

Abstract: On the basis of use of calculations for physical and mathematical model it is carried out reanalysis temperatures and speeds of thawing of long-term frozen soils in the territory of Russia during 1990-2018. The forecast of these characteristics until 2050 is executed. It is shown that the results of a reanalysis received in clusters of a spatial grid 0.5 degrees of latitude × 0.5 degrees of longitude are close to the experimental datas. Temperature trend at a depth of 3.2 m in a zone of distribution of long-term frozen breeds varies from 0.03 to 0.09 °C/year. The average size of a trend of thawing received experimentally is 0.87 cm/year, and according to a reanalysis the average value on all types of soils is equal to 1.1 cm/year. The predicted reduction of the area occupied with long-term frozen soils for all types of soils is 5% in a decad.

В последнее время, в связи с климатическими изменениями, одной из основных задач криологии становится разработка методов прогноза характеристик криосферы как под действием естественных, так и антропогенных причин. При этом растёт роль новых источников информации о современном состоянии криолитозоны и тенденциях изменения её характеристик. Одним из перспективных методов расширяющим наши представления о процессах в криосфере может стать метод реанализа основанный на использовании математического моделирования. Данный метод пока не получил широкого распространения в геофизиологических исследованиях. В отдельных работах сделана попытка использовать в этих целях имитационные физико-математические модели [1].

На первом шаге, называемом ассимиляцией данных, математическая модель изучаемой системы калибруется по всем имеющимся для фиксированного интервала времени наблюдениям. Как правило, круг подобных наблюдений довольно ограничен, что накладывает некоторые ограничения на точность калибровки. На втором шаге проводится собственно реанализ, т.е. по откалиброванной модели мы рассчитываем геофизиологические характеристики в узлах сетки, охватывающей всю исследуемую область.

Ключевую роль в реанализе играет моделирование. В данной работе была использована физико-математическая модель теплопереноса в системе атмосфера-снег-растительность-почва, разработанная в Государственном гидрологическом институте (ГГИ), и подробно описанная в монографии [2]. Основу модели составляют дифференциальные уравнения переноса тепла и влаги в почве и снежном покрове. Модель позволяет вести расчёт при замерзании и протаивании грунтов в диапазоне отрицательных температур.

Кратко остановимся на задании граничных условий при моделировании температурного режима почвогрунтов. Модель адаптирована к различным вариантам их задания. Всё зависит от наличия исходной информации (температура воздуха, осадки, скорость ветра, влажность воздуха, характеристики приходящей солнечной радиации). Однако, подобная информация

доступна лишь в ограниченном количестве расчётных узлов, находящихся вблизи метеостанций. Поэтому при расчётах в качестве верхних граничных условий использовались лишь данные о температуре воздуха и осадках, которые были взяты из глобального архива метеоданных Уиллмотта и Мацууры, Университет Делавэра с сайта http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/archive.html. Среднемесячные значения температуры воздуха и осадков на метеостанциях были интерполированы в пространственную сетку 0.5 градуса широты × 0.5 градуса долготы. Всего на территории России находятся около 12 000 узлов данной сетки. Нами использовались среднемесячные данные о температуре и осадках за период с 1980 по 2018 гг. Прогностические данные (2019-2050 гг.) были взяты с интернет-портала <http://pcmdi.llnl.gov/>, где представлены результаты расчетов около 50 моделей CMIP5.

Основными расчётными характеристиками определяющими состояние криолитозоны являются температура грунта и мощность сезонно-талого слоя (СТС), а также тренды вышеуказанных характеристик за различные интервалы времени. Эти параметры и являются объектами реанализа.

В качестве исследуемой территории нами рассматривается зона распространения многолетних мёрзлых грунтов (ММГ) на территории России. Здесь следует особо указать, что мы в нашей работе планируем оценить изменения теплового режима не всей толщи ММГ, а ограничиться исследованием его динамики в верхних горизонтах, глубиной не более 3-4 м. Основной задачей наших исследований является выявление роли климатических изменений на характеристики криолитозоны, а основные процессы, связанные с сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов, наблюдаются именно в их верхних слоях.

Также следует особо отметить, что реанализ с использованием математической модели позволяет численно оценить влияние любых вероятных климатических изменений на геофизиологические характеристики, а также выполнить их оценку, используя в качестве исходной информации все возможные варианты характеристик окружающей среды. Для этой цели были проведены численные эксперименты с использованием вариаций исходных данных (температура воздуха, высота снежного покрова, тип почв и их плотность и влажность) в пределах наблюдаемых величин.

Анализируя результаты проведённых нами численных экспериментов, можно выделить два основных варианта развития процесса протаивания ММГ. Первый – протаивание проходит без особенностей с довольно стабильной небольшой скоростью. Обычно такой вариант наблюдается при средних глубинах протаивания менее 2 м. Во втором варианте, начиная с некоторого момента времени, процесс протаивания начинает резко ускоряться. В связи с этим был проведён дополнительный анализ распределения льдистости по глубине исследуемого слоя почво-грунтов. Оказалось, что во всех этих случаях в момент резкого роста глубины протаивания начинается процесс отрыва слоя сезонного промерзания пород от многолетнемерзлой толщи. Как показали численные эксперименты, для торфяных и суглинистых почво-грунтов с высокой влажностью данный процесс может происходить в диапазоне 1-2 м, для супесчаных почво-грунтов при глубинах СТС от 2 до 3 м, а для песчаных от 3 до 4 м.

Было проведено сопоставление результатов расчёта с данными наблюдений за температурой почвы на глубине 3.2 м измеряемой на метеостанциях. Для этого были использованы данные по 282 станциям, на которых имеются ряды наблюдений за период с 1980 по 2015 год продолжительностью не менее 15 лет. Коэффициент корреляции полученной связи между наблюдаемыми и расчётными величинами температуры $R=0.92$, то есть довольно высокий.

Нами были также проведены сопоставления результатов расчёта и измерения глубин протаивания выполненных на экспериментальных площадках международного проекта CALM (CircumPolar Active-Layer Monitoring). На территории России в различное время было задействовано 68 площадок, на многих из них ряды наблюдений непродолжительны и имеют пропуски, а часть площадок, на которых когда-либо проводились измерения, в настоящее время закрыты. Полный ряд наблюдений размещен на сайте www.gwu.edu/~calm. Коэффициент корреляции между расчётными и измеренными значениями глубин протаивания составил 0.72.

Кроме значений температуры на глубине 3.2 м, характеризующей термические характеристики криолитозоны несомненный интерес представляет и тренд данного показателя. Для экспериментальной оценки трендов за период 1980–2015 гг. были отобраны данные по 182 станциям, так как рядов с непрерывными наблюдениями за температурой почво-грунтов продолжительностью хотя бы 20 лет гораздо меньше, чем количество метеостанций на которых проводятся наблюдения. Практически на всех станциях наблюдается положительный тренд температуры грунта. Средняя его величина составляет 0.032°C/год.

Результаты наших расчётов в узлах сетки показывают, что тренд температуры на глубине 3.2 м в зоне распространения многолетних мёрзлых пород варьирует в значительных пределах, от 0.03 до 0.09 °C/год. Результаты реанализа показали, что расчётные значения трендов температуры для центральной и южной зон ММГ близки к наблюдаемым на метеостанциях. Из сопоставления современных данных реанализа и прогнозных видно, что тренд температуры в почво-грунтах в ближайшие десятилетия в большинстве случаев возрастёт.

В таблице 1 приведены усреднённые данные о трендах протаивания ММГ полученные в результате проведённого реанализа за период 1990-2018гг и прогноза за период 2019-2050 гг. в различных регионах России для различных типов почв.

Таблица. 1 Результаты расчёта среднемноголетних скоростей протаивания ММГ (см/год) за периоды 1990-2018гг и 2019-2050 гг. для различных регионов России и различных типов почв.

Период расчёта	Типы почвогрунтов			
	песок	супесь	суглинок	торф
ЕТР (30° – 65° в. д.)				
1990-2018гг	5,15	6,07	8,65	6,50
2019-2050гг	10,44	7,67	19,93	7,99
Западная Сибирь (65° – 90° в. д.)				
1990-2018гг	1,05	2,03	3,57	3,89
2019-2050гг	5,07	5,74	13,55	6,14
Центральная Сибирь (90° – 120° в. д.)				
1990-2018гг	0,43	0,79	1,27	0,74
2019-2050гг	1,85	2,82	5,46	2,54
Восточная Сибирь (120° – 150° в. д.)				
1990-2018гг	0,90	1,21	1,77	1,22
2019-2050гг	1,29	1,82	4,56	2,05
Дальний Восток (150° – 190° в. д.)				
1990-2018гг	1,66	1,92	2,06	1,19
2019-2050гг	1,82	2,54	4,74	2,16

Средняя величина тренда протаивания полученная в проекте CALM составляет 0.87 см/год, по данным реанализа усредненное значение тренда по всем типам почв равно 1.1 см/год. То есть результаты близки друг к другу.

Если сравнить аналогичные результаты за период 1990-2018 гг. и 2019-2050 гг., то можно увидеть что скорость протаивания ММГ по прогнозным оценкам в будущем увеличится и в некоторых регионах значительно. В среднем более чем в два раза.

На рис. 1 приведены карты мощности СТС не превышающей 3 м построенные по результатам расчёта для суглинистых почв на начало 1990 г. и результатам прогноза на 2050 год. Красной линией обозначена граница распространения ММГ на территории России по данным работы [3]. Как видно расчётные границы практически совпадает с зоной распространения ММГ полученной на основе экспериментальных данных.

По нашим оценкам прогнозируемое среднее сокращение площади занятой ММГ в период 2019-2050 гг. для всех типов грунтов составляет 5% за десятилетие.

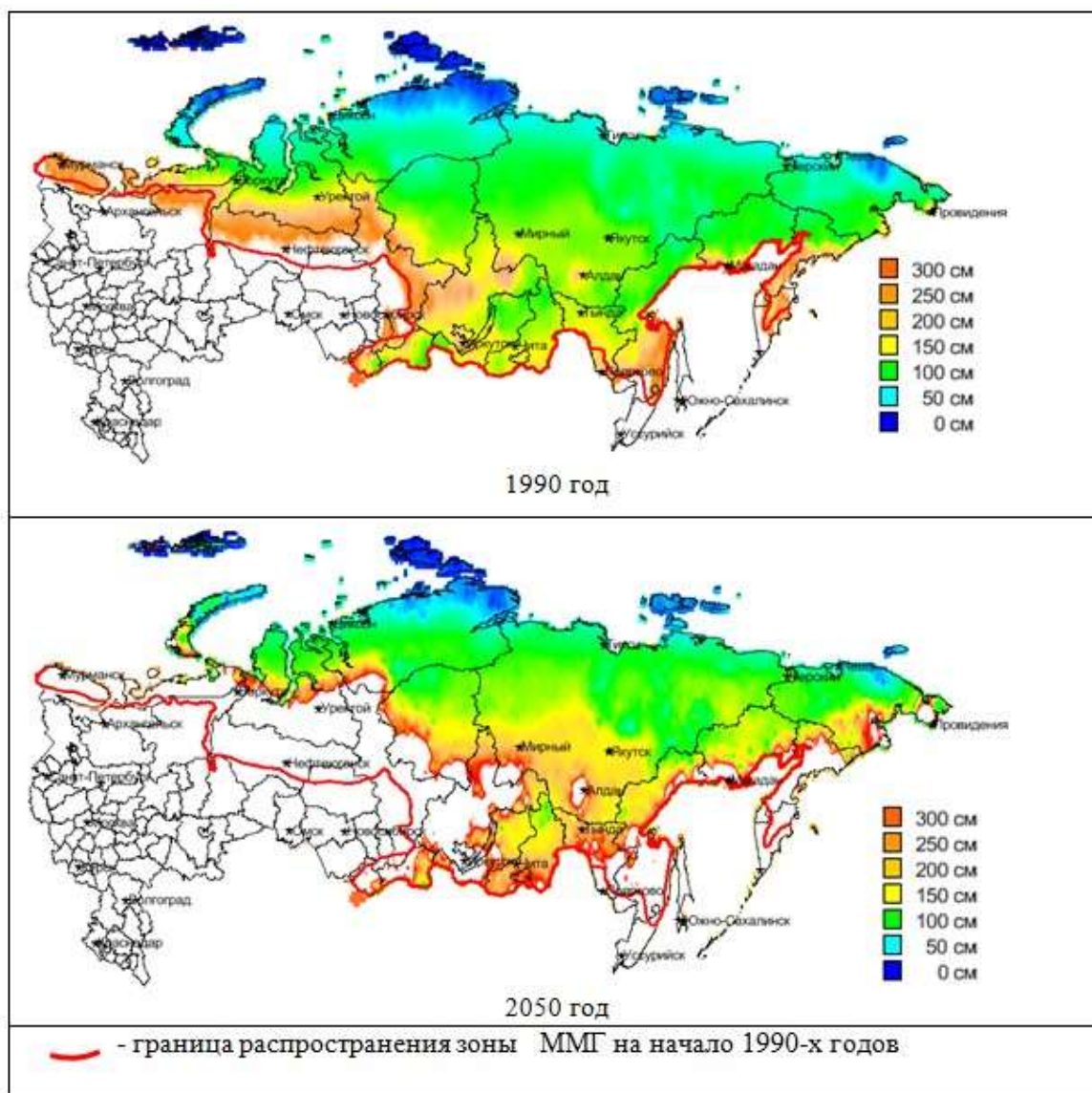


Рис. 1. Карты распределения глубин протаивания ММГ на территории России для суглинистых почво-грунтов. Результаты реанализа на 1990 г. и прогноз на 2050 г.

Полученные результаты расчётов следует принимать как возможный сценарий развития процессов в криолитозоне. Уточнения возможны при уточнении климатических прогнозов.

Литература

1. Аржанов М.М., Елисеев А.В., Демченко П.Ф., Мохов И.И. Моделирование изменений температурного и гидрологического режимов приповерхностной мерзлоты с использованием климатических данных (реанализа) //Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 4, с. 65–69
2. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Гидрофизические процессы на водосборе. Экспериментальные исследования и моделирование. Санкт-Петербург: Нестор-История. 2012. 616 с.

3. Zhang T., Barry R.G., Knowles K. et al. Statistics and characteristics of permafrost and groundice distribution in the Northern Hemisphere // *Polar. Geogr.*, 1999, vol. 23, No. 2, p. 132–154.

ПРОНИКНОВЕНИЕ ОСОЛОНЕННЫХ ВОД В ДЕЛЬТУ РЕКИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

С.В.Лебедева¹, Е.Д.Панченко², М.Льюменс³

¹Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва; ²МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва

S.V.Lebedeva, E.D.Panchenko, M.Leummens

¹Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia; ²Lomonosov MSU, Moscow, Russia, ³"Aquatic" JSC, Moscow, Russia

Углубление глубоководного судоходного канала в дельте Северной Двины может привести к изменению режима проникновения осолоненных вод внутрь дельты. Для анализа этих изменений разрабатывается методика на базе полевых работ и моделирования.

Dredging of the navigable canal in the Northern Dvina delta is expected to influence the salinity regime. Hydrological monitoring, fieldwork and computer modeling are used to assess potential consequences.

Проникновение осолоненных вод из моря в русла устьевой области реки – процесс, который зависит от морских гидрологических факторов (приливы, нагоны, внутренние волны), от речного стока и морфологии (рельефа дна и конфигурации) взморья и всей устьевой области. В случае с рекой Северной Двиной проникновение осолоненных вод в большой степени связано с антропогенным воздействием на устьевую область.

В 1898 г. в устьевом баре Северной Двины в устье Корабельного рукава были проведены дноуглубительные работы. В результате, песчаный бар был «прорезан» глубоководным судоходным каналом [1] (рис. 1). В настоящее время поддерживается гарантированная глубина в этом канале не менее 10 м. Канал проходит через устье Корабельного рукава, далее по протоке Маймаксе и выходит к вершине дельты снова через Корабельный рукав. Таким образом, Маймакса оказывается наиболее глубоким водотоком дельты, связывающим Северную Двину с Двинским заливом. За последние 20 лет произошли значительные изменения максимальных глубин на большом протяжении протоки Кузнечици. До причала нефтебазы "Талаги" (29 км от морского края дельты или 13 км от слияния Кузнечици и Маймаксы) обеспечены гарантированные глубины также не менее 10 м, что могло заметно изменить как структуру приливо-отливных течений, так и условия проникновения осолоненных вод. В связи с углублением русла на участке Кузнечици и также планами по увеличению гарантированных глубин в судоходном канале через Березовый бар, Корабельный рукав и Маймаксу, возможно изменение режима солёности в устьевой области и учащение случаев проникновения осолоненных вод.

Сильное проникновение осолоненных вод происходит при определенном соотношении величины речного стока в вершине устьевой области и величины ветрового нагона. Влияют и гидрометеорологические условия, предшествующие этому нагону. При низком расходе воды значительное осолонение может вызвать даже небольшой нагон. Низкий сток способствует увеличению дальности проникновения приливной волны вверх по реке и одновременно вызывает повышение концентрации морских солей в Двинском заливе из-за снижения разбавления пресными речными водами. Дополнительное воздействие может оказать ветровой сгон, предшествующий нагону и отгоняющий от устьевого створа пресные воды в море [2].

Во время экстремальных проникновений осолоненных вод в дельту затруднение в работе испытывает Архангельская ТЭЦ, расположенная в 37 км от морского края дельты на правом берегу Кузнечици. Впервые такой опасный случай произошел в 1974 г. через 5 лет после ввода ТЭЦ в эксплуатацию. Было установлено (по материалам Северного УГМС), что проникновение осолоненных вод произошло через вершину дельты после того, как осолоненные воды проникли по Маймаксе на приливе на несколько километров выше вершины дельты, а затем на отливе распространились на остальные рукава, в том числе в Кузнечицу.



Рис. 1. Схема дельты реки Северной Двины

Во время сильного осолонения вод в дельте солоноватая вода фиксируется в краях коммунального водоснабжения островных районов Архангельска, а в 1974 г. осолоненные воды попали и в Центральный водозабор города. После 1974 г. особенно экстремальные проникновения осолоненных вод происходили в 1992 г. и в 2014 г. Штатные осложнения работы Архангельской ТЭЦ из-за проникновения осолоненных вод происходят почти каждый год, в этих случаях ТЭЦ переходит на использования запасных емкостей воды. Еще одно направление антропогенного воздействия в дельте Северной Двины изучено очень мало - это влияние смены условий осолонения на устьевую биоту и экосистему.

Текущие условия проникновения осолоненных вод, сложившиеся после углубления подхода к причалу нефтебазы в Кузнечихе, не изучены. Мониторинг характеристик солёности ведется химической лабораторией Архангельской ТЭЦ. Раньше подобные оперативные наблюдения проводились на Соломбальском ЦБК (25 км от морского края дельты по Маймаксе) и Гидролизном заводе (32 км от морского края дельты по Кузнечихе), однако после прекращения их работы в 2000-е годы эти источники оперативной информации утрачены.

Северное УГМС использует для прогноза условий возможных осолонений в дельте данные о солёности в поверхностном слое на посту Мудьюг, как индикатор средней солёности в заливе. Ежемесячные съёмки продольного профиля солёности и температуры на полной и малой воде проводятся Северодвинской устьевой станцией вдоль глубоководного судоходного канала в Корабельном рукаве и Маймаксе.

Этих материалов на сегодня недостаточно, чтобы исследовать изменяющиеся условия осолонения дельты Северной Двины. С целью исследования процесса проникновения осолоненных вод и последующей разработки методики расчетов и прогнозов осолонения

(дальности проникновения) коллективом ученых кафедры Гидрологии суши и ГОИНа был проведен ряд экспедиций в 2016-2018 гг. [3].

Оптимальным методом исследований принято сочетание полевых натурных наблюдений и численного гидродинамического моделирования.

По результатам полевых работ 2016 г. в протоке Маймаксе была создана тестовая версия двумерной профильной гидродинамической модели на базе ПК W2-CEQUAL [4]. Для сопоставления смоделированных характеристик и данных натурных наблюдений на этом этапе оказалось недостаточно. Наличие нескольких неизвестных, то есть настраиваемых (калибруемых) параметров, создает сложности для моделирования. Чем больше калибруемых параметров, которые похожим образом влияют на расчеты, тем труднее найти единственный, наиболее подходящий набор значений для них. Было оценено влияние различных калибровочных параметров модели и входных условий на результаты расчета скоростей течения и распределения солёности, а также возможности данных типов моделей и программных комплексов для расчетов гидродинамики и режима солёности на таком сложном объекте. Калибруемыми коэффициентами были коэффициент шероховатости Маннинга, продольная и вертикальная турбулентная вязкость, коэффициенты вертикальной и продольной дисперсии.

Изменения коэффициента шероховатости (число Маннинга) в диапазоне от 0,01 до 0,04 м/с^{1/3} показали его незначительное влияние на средние скорости потока. Гораздо более заметно влияние коэффициента шероховатости на форму скоростной эпюры и придонные скорости течения, которые, в свою очередь, меняют условия и дальность распространения клина осолоненных вод по дну во время прилива. Влияния параметра продольной турбулентной вязкости на скорости течения и режим солёности практически не было выявлено. Однако большие коэффициенты продольной дисперсии привели к большей однородности распределения солёности по вертикальному профилю, в результате чего уменьшалась расчетная дальность проникновения соленых вод. Также было выявлено небольшое влияние коэффициента дисперсии на профиль скорости течения. Вероятно, это связано с изменениями градиента плотности из-за выравнивания профиля солёности. Разные формулы расчета коэффициента вертикальной турбулентной вязкости приводят к разной форме расчетной эпюры скоростей. Наиболее однородное распределение скоростей течения по вертикали достигается с использованием формулы $k-\epsilon$ модели турбулентности. Теория турбулентности, наиболее близко воспроизводящая реальную форму эпюры скоростей течения, может быть выбрана в соответствии с результатами анализа эпюр, построенных по результатам полевых наблюдений [4].

Теперь собраны данные для калибровки и валидации модели на участок, включающий всю протоку Кузнечиху. Моделирование проводится в нескольких программных комплексах с целью сравнения результатов и оценки возможностей воспроизведения скоростей течения и проникновения осолоненных вод одномерной (MIKE11, HEC-RAS), двумерной профильной (CEQUAL W2) и трехмерной моделями (Delft3D).

По мере получения результатов калибровочных, валидационных и сценарных расчетов формулируется запрос на новую программу наблюдений. Развитие мониторинга и компьютерного моделирования проникновения осолоненных вод в морских устьевых областях со значительным антропогенным воздействием на гидрологическую систему представляется необходимым условием развития водно-хозяйственной деятельности на таком объекте.

Исследование выполняется при поддержке грантов РФФИ: полевые работы выполнялись в рамках проектов № 16-05-01018 и 18-05-60021, моделирование и аналитическая работа проводится в рамках проекта № 18-35-00531.

Литература

1. Гидрология устьевой области Северной Двины / под ред. М.И. Зотина и В.Н. Михайлова. – М.: Гидрометеоиздат, 1965. 376 с.
2. Лупачев Ю.В. Особенности проникновения соленой воды в приливное устье реки (на примере Северной Двины) // Тр. ГОИН, 1976. Вып. 129. С. 7–52.

3. Лебедева С. В., Панченко Е.Д., Аракельянц А.Д. Проникновение осолоненных вод в дельту Северной Двины: натурные наблюдения и моделирование // Труды VII Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)” Том I (IV), сборник, Тверь, 2019, С. 239-243
4. Лебедева С.В., Панченко Е.Д., Аракельянц А.Д. Возможности и ограничения одномерной и двумерной профильной гидродинамических моделей при расчете распространения осолоненных вод в приливных устьевых областях // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Ю.Б. Виноградова "ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ", Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 года. СПб., 2018. С. 754–758

ВОДНЫЙ РЕЖИМ МАЛЫХ РЕК РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

П.А. Леготина ¹, Л.А. Тимофеева ²

¹ ФГБУ «Северо-Западное УГМС», Санкт-Петербург, Россия

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

WATER REGIME OF SMALL RIVERS ACROSS DIFFERENT LANDSCAPES IN THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA BASIN

P.A. Legotina ¹, L.A. Timofeyeva ²

¹ Federal State Budgetary Institution Northwestern Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, St. Petersburg, Russia

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

На основе ландшафтно-гидрологического подхода, кластерного анализа и статистической обработки многолетних рядов ежедневных расходов воды показано влияние ландшафтной принадлежности водосборов на водный режим рек.

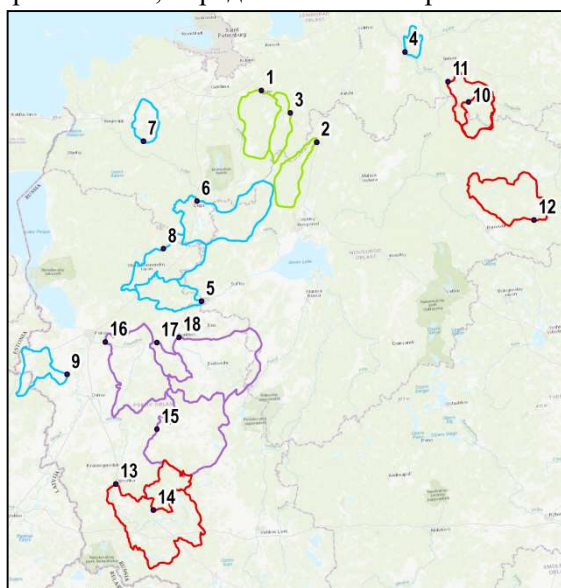
The impact of catchment landscapes on the river water regime has been shown based on the landscape-hydrological approach, cluster analysis and statistical processing of long-term series of daily discharge data.

Введение

Оценка распределения водных ресурсов в пространстве и во времени – крайне сложная, а оттого и наиболее важная проблема многих территорий. В условиях дефицита данных натуральных гидрометрических наблюдений особый интерес вызывает применение интердисциплинарных подходов. Один из них – ландшафтно-гидрологический подход, заключающийся в применении ландшафтной информации в гидрологическом анализе [1]. Наиболее тесно связан с окружающим ландшафтом водный режим малых рек, поскольку они больше подвержены воздействию местных факторов среды и гидрологический отклик на их изменения формируется сравнительно быстро.

Исходные данные и методы

Для исследования были выбраны 18 действующих гидрологических постов (рисунок 1) на реках с площадями водосборов от 515 до 3500 км². Группы ландшафтно-подобных водосборов выделены путём кластерного анализа, метод k-средних. Кластеризация выполнена с учётом следующих ландшафтных характеристик водосборов: значения средних высот водосборов (H) и лесистости ($K_{лес}$), полученные из [2], а также амплитуды высот (A), вычисленные по отметкам горизонталей, определенным по картам масштаба 1:100000.



Кластер 1	Кластер 3
1. р. Тосна – ст. Тосно	10. р. Кудеб – д. Свериково
2. р. Кересть – д. Сябраницы	11. р. Воложба – д. Воложба
3. р. Тигода – ст. Любань	12. р. Уверь – д. Меглецы
	13. р. Великая – г. Опочка
	14. р. Алоля – д. Ермолово
Кластер 2	Кластер 4
4. р. Валя – д. Подборье	15. р. Сороть – д. Осинкино
5. р. Ситня – д. Пески	16. р. Череха – д. Крякуша (Сорокино)
6. р. Луга – г. Луга	17. р. Уза – д. Дубская
7. р. Вруда – д. Извоз	

8. р. Плюсса – с. Плюсса	18. р. Шелонь – г. Порхов
9. р. Кудеб – д. Свериково	

Рис. 1. Распределение исследуемых водосборов по кластерам

Для гидрологического анализа использовались среднесуточные расходы воды за период с 1988 по 2012 гг. Этот период был выбран в результате анализа трендов индекса Де-Мартона, характеризующего увлажненность территории, вычисленного для метеостанций Белогорка, Гдов, Старая Русса, Пушкинские Горы, Великие Луки, Тихвин. За данный период тренды по всем станциям незначимы, что означает стационарность условий увлажненности.

Среднесуточные расходы в некоторых случаях переводились в суточные слои стока (для расчета годового слоя, кривых продолжительности стояния суточных слоев и др.).

Исследование

При кластерной обработке были хорошо идентифицированы водосборы низменностей и возвышенностей: водосборы кластера 1 располагаются на низменности, кластер 3 занимает склоны Валдайской возвышенности (включая Тихвинскую гряду на востоке), кластер 4 включает водосборы, расположенные на Беженицкой и Судомской возвышенностях. Кластер 2 не имеет явной ландшафтной идентификации.

Значения средних высот водосборов кластеров 1, 3 и 4 различны, а амплитуда их изменений небольшая (рисунок 2). Наоборот, значения средних высот водосборов кластера 2 изменяются в большем диапазоне, который включает значения кластеров 1 и 4; подобная закономерность отмечена для лесистости. Кластеры 2 и 3 могут включать водосборы с одинаковым значением амплитуды высот, но средние амплитуды высот водосборов разных кластеров заметно отличаются.

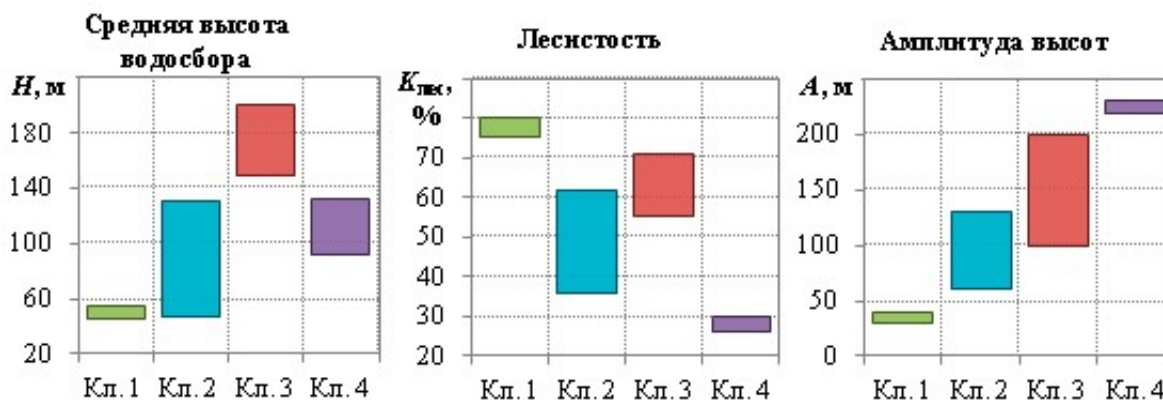


Рис. 2. Диапазоны значений характеристик водосборов для каждого кластера

Таким образом, ландшафтное различие характеристик водосборов сформированных кластеров очевидно. Затем было исследовано влияние ландшафтных особенностей водосборов на водный режим расположенных на них рек.

Коэффициент естественной зарегулированности стока

Важной характеристикой водного режима является естественная зарегулированность стока. Коэффициенты естественной зарегулированности стока определялись по гидрографам с помощью макроса Excel.

Менее всего зарегулирован сток низменных рек кластера 1 ($\varphi = 0,44 \div 0,47$), существенно всего зарегулирован сток рек кластера 3 ($\varphi = 0,61 \div 0,74$), для кластеров 2 и 4 диапазоны изменения значений φ составляют $0,52 \div 0,66$ и $0,47 \div 0,61$ соответственно.

Кривые продолжительности стояния суточных расходов

В кластере 1 находятся реки с высокими значениями максимальных модульных коэффициентов стока ($k_{max} = 10,3 \div 11,5$), а при продолжительности стояния примерно в 200 суток модульные коэффициенты близки к 0. Значения k_{max} в кластере 2 равномерно изменяются от 6,3 до 11,9, а значения, близкие к нулю, появляются на 300-х сутках. Максимальные модульные

коэффициенты кластера 3 также имеют заметный разброс, однако диапазон значений ниже: от 3,5 до 8,6, нуля кривые не достигают. Кривые кластера 4 подобны кривым кластера 3, однако они приближаются к нулю (примерно на 250-х сутках).

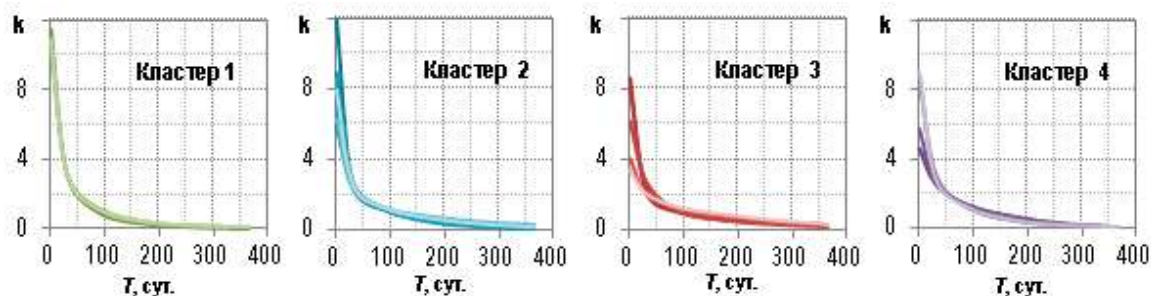


Рис. 3. Кривые продолжительности стояния модульных коэффициентов

Также были построены кривые по методике, предложенной в [3]. Суточные слои стока, в которых построены кривые, выражаются на логарифмической шкале. Ее плюсом является графическое отображение вариативности стока для квантилей, подтверждающейся графиком изменения коэффициента вариации C_V для разной продолжительности, что отражает степень естественной зарегулированности стока. Как видно на рисунке 4, кластеру 1, включающему реки с наименьшей естественной зарегулированностью стока, соответствуют наибольшие значения вариации минимального стока.

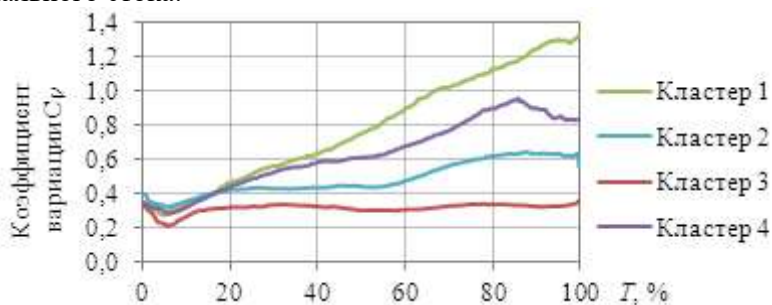


Рис. 4. Коэффициент вариации суточных слоев стока для каждого квантиля

Внутригодовое распределение стока

Географические особенности кластеров отражаются во внутригодовом распределении стока (рис. 5). Различия между кластерами проявляются в различии объема стока в марте и мае, в величине максимального стока, в месяце с минимальным стоком и продолжительности межени, в величине стока маловодного зимнего месяца.

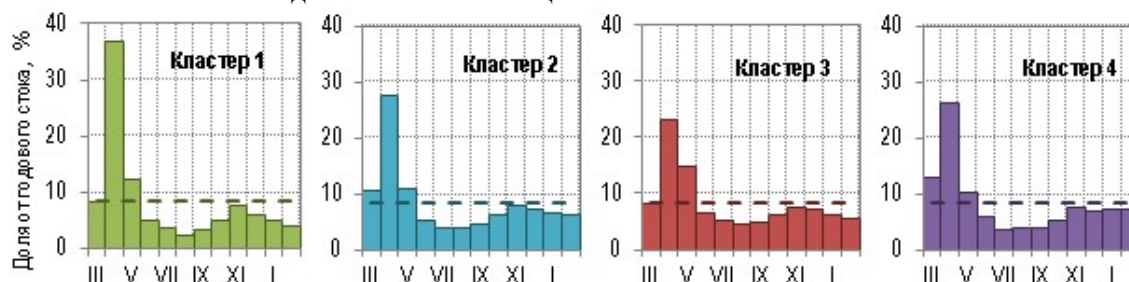


Рис. 5. Среднегодовое внутригодовое распределение стока

Водность и ежегодный сток

Кластерная принадлежность водосборов не находит однозначного отражения в характеристиках среднегодового стока расположенных на них рек. Отмечается небольшое различие по среднему для кластера годовому слою стока: кластер 1 – 225 мм, кластер 2 – 297 мм, кластер 3 – 340 мм, кластер 4 – 243 мм.

На рисунке 6 видно, что с 1988 по 1997 гг. сток рек кластеров 1, 3 и 4 (выраженный в модульных коэффициентах) изменяется синхронно внутри каждого кластера, затем такая закономерность нарушается. Минимальный сток у всех рек наблюдается в 1996 г., а максимальный – в 1990 и 2004 гг., у некоторых – в 1998 г.

Хронологические графики отчетливо демонстрируют степень гидрологического подобия рек внутри отдельных кластеров.

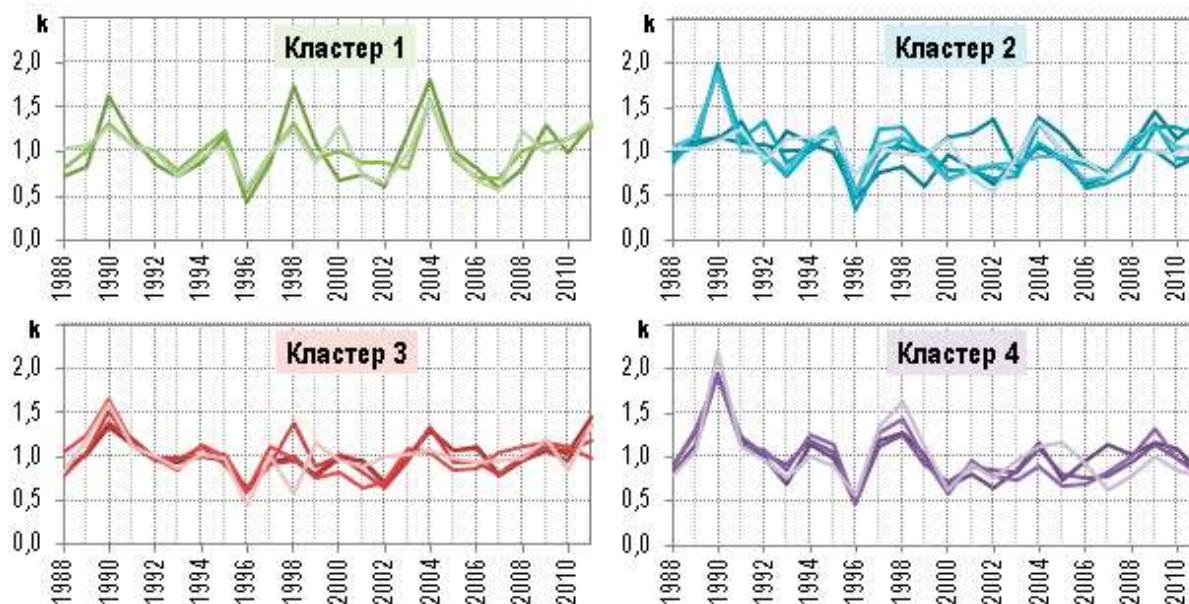


Рис. 6. Хронологические графики модульных коэффициентов стока рек

Заключение

Три из четырех сформированных кластеров (кластеры 1, 3 и 4) включают ландшафтно-подобные водосборы и существенно отличаются друг от друга. Водосборы кластера 2 менее подобны друг другу по сравнению с другими кластерами, но при этом они не имеют явного сходства с водосборами остальных кластеров. Ландшафтно-однородные кластеры однородны гидрологически (см. рис. 6).

Анализ показал, что водный режим рек различных ландшафтных групп существенно различается по следующим характеристикам:

- естественная зарегулированность стока;
- вид кривых продолжительности стояния суточных расходов воды;
- вариативность стока различной продолжительности;
- внутригодовое распределение стока.

Результаты исследования могут быть полезны при оценке стока неизученных рек методом гидрологической аналогии.

Литература

1. Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод // Изв. ГГИ, 1933. № 57–58. С.5–9
2. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг. и весь период наблюдений) Том 2, Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 670 с
3. Patil, S. and Stieglitz, M. Hydrologic similarity among catchments under variable flow conditions, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 989–997, 2011

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМАТИВНЫХ АКТОВ В РОССИИ В ОБЛАСТИ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДВОДНОЙ СРЕДЫ

А.Я.Лисовский

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» Санкт-Петербург, Россия

IMPLEMENTATION OF INTERNATIONAL REGULATORY ACTS IN RUSSIA IN THE FIELD OF NOISE POLLUTION OF UNDERWATER ENVIRONMENT

Andrew J. Lissovsky

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University» Saint-Petersburg, Russia

Данный доклад посвящён реализации на практике в России различных директив международных организаций в области экологической защиты подводной среды от шумового загрязнения. Проблемы, связанные с этим и перспективы разработок по данному вопросу.

This report is devoted to the practical implementation in Russia of various directives of international organizations in the field of environmental protection of the underwater environment from noise pollution. Problems associated with this and development prospects on this issue.

Акватория Мирового океана представляет собой систему взаимодействующих между собой физических полей, оказывающих влияние на живые организмы, обитающие в морской среде. Одним из разновидностей таких полей являются шумы моря, которые бывают как слышимые, так и не слышимые. Источниками таких шумов служат: морские волнения, являющиеся случайным процессом, связанным с гидрометеорологическими условиями; шумы, излучаемые от корпусов судов, выполняющие траловую съёмку; а также электрические разряды, излучаемые биологическими объектами[1-5]. Основными источниками подводных шумов судна служат: судовые двигатели, гребные винты, турбулентные потоки в пограничном слое при обтекании неровностей и шероховатостей корпуса и др.[6].

Развитие судоходства, активное освоение шельфа и тотальное ухудшение экологической обстановки в прибрежных зонах мирового океана приводят к необходимости оценки влияния антропогенного воздействия на морскую экосистему.

В настоящее время в России эксплуатируются научно-исследовательские суда в основном старого поколения, построенные на основе проектов с уровнем шума значительно превышающим рекомендации ИКЕС[7, 8].

IMO (IMO – International Maritime Organization) призвала государственные структуры и промышленность провести ревизию национальных коммерческих флотов для выявления наиболее шумных судов и совершенствовать их конструкцию для уменьшения излучаемого ими подводного шума.

В 2008 г. Международная морская организация, созданная при ООН, приняла в качестве высокоприоритетной программу работ «Шум от коммерческого судоходства и его влияние на морскую фауну», имеющей целью разработку рекомендаций по снижению шумности коммерческих судов.

На европейском уровне это инициировало выпуск Рамочной Директивы по Морской Стратегии Евросоюза (EU Marine Strategy Framework Directive) о необходимости контроля подводных шумов, вызванных судоходством, для достижения «хорошего состояния окружающей среды» в европейских водах.

В рамках этой директивы предполагается проводить измерения подводного шума, излучаемого коммерческими судами, и такие измерения могут сопровождаться правительственными поручениями в соответствии с международными обязательствами по линии ИМО и правил Евросоюза [9].

Характеристики шумов моря включены в ряд национальных и международных директив. Вопрос необходимости контроля для целей экологического мониторинга изменчивости пространственной когерентности морских шумов и фазовыми соотношениями между шумовыми сигналами, воспринимаемыми рассеянными в пространстве приёмниками, остаётся открытым.

Показано, что экологический мониторинг шумов моря, проводимый, в том числе в нашей стране, проводится с различными целями, в соответствии с различными параметрами перечень которых постоянно пополняется. Источники шума при ведении морской хозяйственной деятельности можно классифицировать по функциональной принадлежности на такие группы, как стационарные, технологические, транспортные. При этом морские порты являются важными источниками негативных техногенных шумов различного происхождения.

Наименее шумными в гражданском флоте должны быть рыболовные и рыбопоисковые суда, для того чтобы не отпугивать своим присутствием искомые или вылавливаемые косяки рыб. Именно для этих судов уже обоснованы предельные нормы шумоизлучения.

Целью исследования является анализ реализации на практике в России различных директив международных организаций в области защиты подводной среды от шумового загрязнения.

Исследования показывают, что за последние 40 лет подводный шум на частотах от 10 до 50 Гц в прибрежных зонах мирового океана возрос в среднем на 10 – 12 дБ [10], а на морских трассах – на 10 дБ только за последнее десятилетие [11].

Предлагаемые в ICES CRR 209 требования к максимальному уровню L подводного шума (в полосах частот 1 Гц) рыбопоисковых судов при скорости их хода 11 узлов выражаются следующими неравенствами:

- в диапазоне от 1 до 1000 Гц $L \leq 135$ дБ;
- в диапазоне от 1 до 100 кГц $L \leq 130$ дБ.

Выполнение этой нормы позволяет судну приблизиться к косяку рыб на расстояние до 20 м.[12]

На основе проведённых в Японском море экспериментов были выбраны рекомендации ICES (ИКЕС – Международный Совет по исследованию моря), согласно которым уровень шума рыболовных научно-исследовательских судов на частоте 10 кГц не должен превышать порог восприятия на расстоянии 20 метров[13]. При этом дистанция реагирования рыб на шум судна существенно варьируется от 40 м до 500 м и более, но чаще 100 м - 200 м в зависимости от

слуховых способностей рыб, времени суток, физиологического состояния рыб, уровня шума и условий окружающей среды. Реакция рыб сопровождается стремлением выйти из шумового поля. Диапазон воспринимаемых частот у разных рыб составляет от 0,1 Гц до 2 кГц, но чаще всего до 1 кГц, а иногда до 4 кГц, некоторые виды рыб способны улавливать ультразвук.[13] Акустический режим порта является одной из составляющих при оценке вредного воздействия от деятельности предприятия на окружающую среду (раздел проекта ОВОС (Оценка воздействия на окружающую среду) в техническом проекте) [14]. Обеспечение предприятием требований законодательных актов и нормативных документов по соблюдению санитарных норм шума на территории порта и в селитебной зоне выступает в качестве решения проблемы шумового загрязнения окружающей среды, а также снижения шумовой нагрузки на персонал и жителей прилегающей жилой зоны.

Согласно выводам Р.Б. Митсона, на основе проведённых исследований в 2000 г. Необходимая мощность двигателя для промысловых исследовательских судов, должна быть около от 2 МВт (2500 л.с.) до 6 МВт (8000 л.с.). Поэтому наилучшим решением для нанесения наименьшего вреда рыбам состоит в том, чтобы использовать суда с уменьшенным шумом, но это не будет осуществимо в краткосрочной перспективе.[15]

С учётом рекомендаций 237 ИКЕС по шуму в настоящее время уже построено свыше 30 научно-исследовательских судов нового поколения, использующих для снижения шума электродвижение, фиксированный шаг гребного винта и другие новшества. В России пока эксплуатируются в основном научно-исследовательские суда старого поколения, построенные на основе проектов промысловых судов, которые имеют уровни гидроакустического шума, значительно превышающие рекомендованные ИКЕС.[16]

Литература

1. Зотов Е.М. Поле естественных низкочастотных звуковых шумов в море //Морской гидрофизический институт: ВИНТИ, 1983. – с.13
 2. Изак Г.Д., Гомзиков Э.А.Шум на судах и методы его уменьшения: монография. –М. : Транспорт, 1987. – с.303
 3. Исакович М.А.Общая акустика : монография. – М.: Наука, 1973. – с.496
 4. Клей К.С., Медвин Г.Акустическая океанография : монография. – М. : Мир, 1980. – с.580
 5. Коротков В.К.Реакции рыб на трал, технология их лова: монография. – Калининград : МАРИНПО, 1998. – с.398
 6. Кузнецов М.Ю., Вологдин В.Н. Гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и их влияние на поведение и оценки запасов рыб (обзор и перспективы исследований) // Изв. ТИНРО. – 2009. – Т. 157. – с.334–355.
 7. Изак Г.Д., Гомзиков Э.А.Шум на судах и методы его уменьшения: монография. –М. : Транспорт, 1987. – с.303
 8. КузнецовМ.Ю., Шевцов В.И., Поляничко В.И.Характеристики гидроакустического шума научно-исследовательских судов ТИНРО-Центра. Известия ТИНРО. 2014. – Т. 177. – с.235 – 256.
 9. Leaper, R., Renilson, M. R., Frank, V. and Papastavrou, V. 2009. Possible steps towards reducing impacts of shipping noise. Presented to the IWC Scientific Committee, June 2009, Madeira, Portugal, SC/61/E19
 10. P.T. Andersen and B. Trimoreau, Understanding the Problems of Underwater Noise, *Lloyd's Register Consulting*, Sept. 2013.
- Электронный ресурс: <http://www.skibstekniskelskab.dk/public/dokumenter/Skibsteknisk/Efteraar>
11. Underwater Noise of Research Vessels – Review and Recommendations, ICES, Cooperative Research Report No. 209, May 1995.
 12. Mitson R.B. Underwater noise of research vessels: review and recommendations : ICES Cooperative Research Report. – 1995. – № 209. – p.61

13. Кузнецов М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума // Изв. ТИНРО. – 2011. – Т. 164. – с.157–176.
14. Коротков В.К. Реакции рыб на трал, технология их лова: монография. – Калининград : МАРИНПО, 1998. – с.398
15. Mitson R.B., Research vessel standards: underwater radiated noise, Theme Session: Use of Marine Research Vessels in ICES – Options for the Future, Session J:10, CM 2002, Электронный ресурс:
<http://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/2002/J/J1002.PDF>
16. Кузнецов М.Ю., Шевцов В.И., Поляничко В.И., Характеристики гидроакустического шума научно-исследовательских судов ТИНРО-центра, Известия ТИНРО, 2014, - с.3-4

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ

Е.Н.Литина⁽¹⁾, Е.А. Захарчук^{(1),(2)}

⁽¹⁾ Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова, Санкт-Петербургское отделение, Санкт-Петербург, Россия

⁽²⁾ Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

CHANGE OF OXYGEN REGIME IN THE BALTIC SEA AT THE END OF THE XX - THE BEGINNING OF THE XXI CENTURIES

E. N. Litina ⁽¹⁾, E.A. Zakharchuk^(1,2)

⁽¹⁾ State Oceanographic Institute, St. Petersburg branch, St. Petersburg, Russia

⁽²⁾ St. Petersburg state University, St. Petersburg, Russia

Рассматривается изменение кислородного режима в Балтике, в частности, оценивается динамика гипоксических зон в период длительного отсутствия больших Балтийских затоков. Изучаются динамические факторы, влияющие на перераспределение кислорода в воде.

In this work, we consider the change in the oxygen regime in the Baltic, in particular, the dynamics of hypoxic zones during the long absence of large Baltic inflows is estimated. The dynamic factors affecting the redistribution of oxygen in water are studied.

Введение

Особенности формирования кислородного режима в Балтийском море связаны с комплексом физико-географических, гидродинамических и биохимических факторов, определяющих поступление, перенос и трансформацию субстанции в море. Наиболее значимые из них: ограниченный водообмен с Северным морем, большой материковый сток, высокий уровень антропогенной нагрузки, абсорбция кислорода из атмосферы, а также его адвекция и турбулентная диффузия в водной толще [1].

В последние десятилетия наблюдаются очень заметные изменения природных условий Балтийского моря, которые большинство ученых связывают с последствиями глобального потепления климата: повышение температуры его вод, снижение солёности, резкое сокращение количества больших балтийских затоков [2, 3]. Эти изменения должны оказывать влияние и на кислородный режим вод Балтийского моря, а также и на его экологические условия.

Анализ результатов исследований, представленных в работах [1, 4] показал, что причины изменений кислородного режима связаны, преимущественно, с меняющимися условиями адвекции североморских вод и изменением интенсивности вертикального перемешивания [1]. На основании данного вывода целью настоящего исследования стало выявление сравнительного вклада следующих параметров на изменение кислородного режима Балтики: адвекции течениями, горизонтальной и вертикальной турбулентной диффузией.

Данные и методы

В работе использовались данные из двух источников: 1) – база данных DAS (<http://nest.su.se/das/>) - insitu измерения кислорода; 2) – данные реанализа (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>) – модельные данные среднесуточных концентраций кислорода и среднесуточные данные о течениях. Для исследования межгодовых изменений пространственного распределения районов с гипоксическими условиями, вся выборка станций, на которых производились измерения содержания кислорода в водах Балтики, разделялась на годовые массивы. Местоположение выбранных за каждый год станций отмечено на рисунке 1 в виде кружков. Для оценки вертикального распределения слоя гипоксии в пространстве и во времени оценивалось за каждый год изменение с глубиной содержания кислорода на разрезе, пересекающем Балтийское море с востока Финского залива до юго-западной части Балтики (рис. 1). Для каждой станции, включенной в разрез, для стандартных горизонтов за каждый год производилась выборка данных (с радиусом 5 км от положения станции) о концентрации кислорода. Для выбранных данных на

стандартных горизонтах производилось их среднегодовое осреднение. Далее для каждого года строились распределенные по вертикали на всех станциях разреза среднегодовые значения концентрации кислорода. Горизонты, где отмечались гипоксические условия ($O_2 < 2$ мл/л), выделялись черным цветом (рис. 2). Для оценки вертикальных смещений верхней границы зоны гипоксии на станциях разреза проводился квантильный анализ рядов исходных значений концентрации кислорода, наиболее обеспеченных данными измерений. Для анализа сравнительного вклада динамических предикторов на изменение кислородного режима Балтики были выбраны три станции в открытой Балтике (BY2, BY15, BY9) и одна станция в Финском заливе (LL7). Для станций BY 2 и LL 7 исследования проводились для горизонтов 4-5 м и 50 м, для станций BY15 и BY9 – 4-5 м, 50 м и 110 м. Из исходных рядов судовых измерений *in situ* были рассчитаны среднемесячные значения. Пропуски в рядах судовых измерений были заменены модельными данными. Анализ проводился в стационарном приближении и с учетом нестационарности процесса. Период нестационарности был принят равным 4 годам.

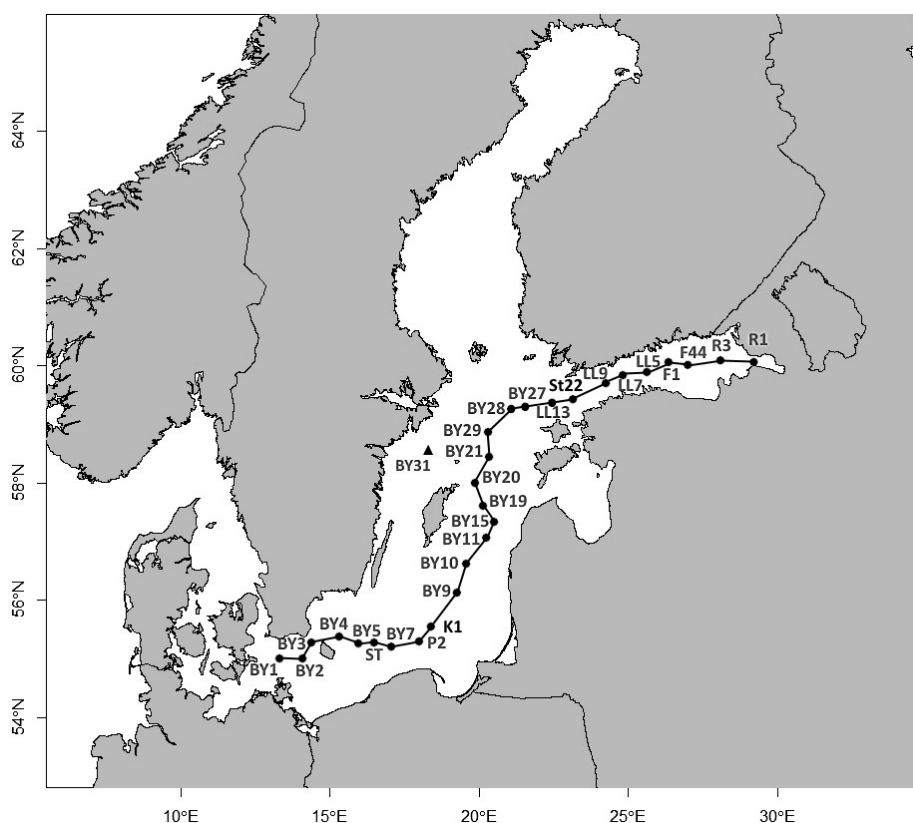


Рис. 1. Схема расположения станций океанологического разреза (кружки) и станции BY31 (треугольник)

Результаты и выводы

За период период 1989 – 2017 гг. наблюдается увеличение площади распространения гипоксических зон по сравнению с предыдущим тридцатилетием [1, 4]. Например, если в 1959-1988 гг. гипоксические условия в Слупском канале, соединяющем Борхольмский бассейн и Гданьскую впадину, наблюдались только в 1968 г., а на границе между Ботническим заливом и открытой Балтикой они вообще не наблюдались [1], то в рассматриваемый нами период в этих районах неблагоприятные кислородные условия отмечаются в большинстве случаев (рис. 2).

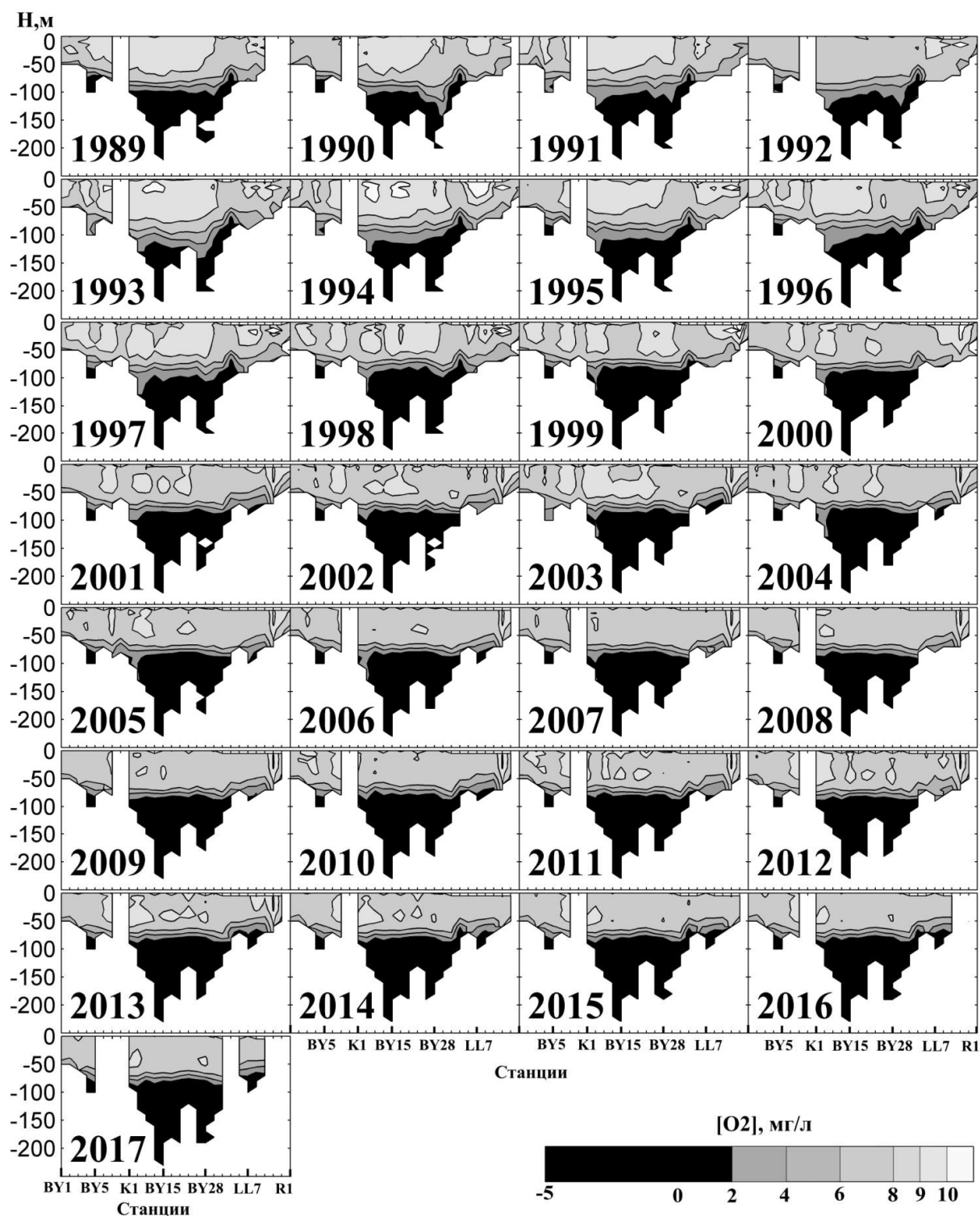


Рис. 2. Вертикальное распределение содержания растворенного кислорода в водах Балтийского моря на разрезе океанологических станций (см. рис. 1). Источник данных <http://nest.su.se/das/>.

Особенно заметные ухудшения кислородного режима отмечаются для Финского залива. Если в предыдущее тридцатилетие (1959-1988 гг.) гипоксические условия наблюдались только в самой западной части залива, и не во все годы, то, начиная с 1993 г., зоны гипоксии здесь отмечаются каждый год, распространяясь с течением времени дальше на восток залива, все чаще наблюдаясь в его центральной и восточной частях. Для Рижского залива характерна смена периодов наличия и отсутствия зон гипоксии. Наибольший период отсутствия случаев гипоксических условий здесь продолжался 4 года (с 1990 по 1993 гг.), и, наоборот, - наибольшие многолетние периоды, когда

в Рижском заливе встречались гипоксические условия составили 7 лет (с 2002 по 2008 гг.) и 5 лет (с 2012 по 2016 гг.). На рисунке 2 показаны межгодовые изменения кислородных условий на разрезе, пересекающем Балтийское море. Можно видеть, что с 1990 по 1997 гг. отмечается улучшение кислородных условий на станциях разреза в открытой части моря, что проявляется в увеличении содержания кислорода в верхнем квазиоднородном слое и заглужении верхней границы гипоксической зоны в центральной Балтике, а также исчезновении гипоксических условий на большинстве станций в южной и юго-западной части моря. Особенно благоприятные кислородные условия в этот период складывались в северной части открытой Балтики, где верхняя граница гипоксического слоя в отдельные годы заглужалась до 140-150 м (станции ВУ28, ВУ29). После 1997 г. кислородные условия в открытой Балтике стали ухудшаться и эта тенденция продолжается до настоящего времени. На это указывает стабильное повышение верхней границы гипоксического слоя, которая в последние годы стала достигать 80 – 70 м. Результаты квантильного анализа вертикальных смещений верхней границы гипоксического слоя свидетельствуют, что в юго-западной части Балтики среднее медианное значение (M_e) этой границы наблюдается на глубине 45 м в Арконском бассейне и на глубинах 62 – 70 м в Борнхольском бассейне. В центральной Балтике медиана колебаний верхней границы гипоксии отмечается на больших глубинах (78 – 89 м). В Финском заливе значения медианы соответствуют глубинам 59 – 70 м. Значения x_{min} во впадинах открытой Балтики соответствуют глубинам придонных горизонтов. Это связано с тем, что после случаев больших балтийских затоков происходит сравнительно кратковременная аэрация придонных вод, когда гипоксические условия исчезают: например по оценкам М. Мейера и др. [5] в придонном слое Готландской впадины после трех последних затоков гипоксические условия исчезали на время от 1 до 6 месяцев. Оценки x_{max} , показывают, что максимальные подъемы верхней границы гипоксической зоны достигают глубин 40-50 м в Финском заливе, 40-60 м в юго-западной части Балтийского моря и 50-65 м в открытой Балтике. Результаты исследований сравнительного вклада динамических предикторов выявили, что наибольшее влияние на изменение кислородного режима из рассматриваемых процессов оказывают горизонтальная и вертикальная турбулентная диффузия. Однако воздействие этих процессов является нестационарным. Наибольший коэффициент корреляции между исследованными процессами выявляется в период 2001-2004 годы ($R = -0,67$), а так же на отдельных станциях в периоды 1997-2000 гг. ($R = 0,62$) и 2005-2008 гг. ($R = 0,66$). В стационарном приближении значимых коэффициентов корреляции не наблюдается. Таким образом, наибольшее влияние на изменение кислородного режима из рассматриваемых процессов оказывают горизонтальная и вертикальная турбулентная диффузия. Однако, влияние этих процессов является нестационарным. На основании полученных результатов делается вывод, что одной из возможных причин ухудшения кислородного режима в Балтийском море и Финском заливе в последние десятилетия является увеличение стратификации водных масс.

Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.3. Балтийское море. Вып.2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. /Под ред. Ф.С. Терзиева и др. - СПб, Гидрометеоиздат, 1994.
2. Лутина Е. Н., Захарчук Е. А. Изменчивость термohалинных и гидрохимических характеристик на станциях международного мониторинга Балтийского моря во второй половине XX и начале XXI веков // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 54-64.
3. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря. Проект "Балтика". Вып.1. Экосистема и ее компоненты. /Под ред. И.Н. Давидана, О.П. Савчука, Ю.В. Сустанова. – Л., Гидрометеоиздат, 1983.
4. Assessment of the effects of pollution of the natural resources of the Baltic Sea/ T. Melvasalo et. all.// Baltic Sea Environ. Proc. 1981, N 5B, p. 426.
5. Meier H.E.M., G. Väli, M. Naumann, Kari Eilola, and Claudia Frauen. Recently Accelerated Oxygen Consumption Rates Amplify Deoxygenation in the Baltic Sea. J. Geophys. Res. Vol. 123, Issue 5, 2018, pp. 3227-3240.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПУНКТАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

д.т.н. В.А. Лобанов, РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются основные статистические методы определения расчетных гидрологических характеристика при отсутствии данных наблюдений в пункте проектирования: пространственная интерполяция, гидрологическая аналогия и региональные зависимости от физико-географических факторов. В рамках каждого подхода разработаны новые модели и методики оценки их эффективности на независимом от расчетов материале наблюдений. Для оперативной пространственной интерполяции предлагаются методы лучей и перпендикуляров. В методе гидрологической аналогии выбирается наиболее эффективный аналог на основе пространственной связанности и синтезируется многолетний ряд в неизученном пункте. Построение региональных зависимостей осуществляется в 3 этапа: выбор эффективных факторов с их функциональными преобразованиями, формирование структуры зависимости с расчетом коэффициентов и анализ остатков региональных моделей на независимой информации и для условий экстраполяции. Разработанные методы и модели расчетов реализованы в программном комплексе «Гидрологическая ГИС России». Полученные региональные методики и статистические модели для различных областей России (Западная Сибирь, Причерноморье, Приморье, Калининградская область, Северо-Запад и другие) рассматриваются и обсуждаются.

Следующей частью региональной ГИС является программное обеспечение для определения расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений. В общем случае для выполнения расчетов при отсутствии данных наблюдений в гидрологии существует много разных способов, которые можно систематизировать следующим образом:

- осреднение в однородном районе в случае, если изменение рассматриваемых характеристик небольшое (практически не превышает погрешности их определения) и закономерности по пространству отсутствуют;
- построение карт изолиний или пространственная интерполяция в случае, если пространственные изменения существенные и неслучайны;
- применение метода гидрологической аналогии, если имеют место близкие условия формирования стока в неизученном пункте и пункте-аналоге в котором имеют место наблюдения;
- построение региональных зависимостей стоковых характеристик от основных гидрографических и физико-географических факторов водосборов;
- построение зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами;
- применение уравнений водного баланса.

Все перечисленные методы объединяются в три основные группы:

- методы пространственных обобщений (осреднение, интерполяция, аналог), основанные только на гидрологической информации в пунктах наблюдений;
- региональные модели для обобщенных гидрологических характеристик (параметры распределения, расчетные гидрологические характеристики) от гидрографических и физико-географических факторов (площадь водосбора, высота, уклон, лесистость, обобщенные характеристики осадков и т.д.);
- модели водосборов для погодичных характеристик стока от стокоформирующих факторов (эмпирико-статистические зависимости, уравнения водного баланса, математические модели формирования стока).

В связи с тем, что инженерная гидрология имеет дело с расчетными гидрологическими характеристиками, наиболее близкими для нее являются первые две группы методов, что в региональной ГИС также представлено в виде двух программных блоков. Первый блок включает методы пространственных обобщений, которые позволяют работать с исходной или обобщенной информацией в пунктах наблюдений. В методе пространственного осреднения основными условиями является отсутствие пространственных закономерностей и сопоставимость пространственной изменчивости рассматриваемого параметра с погрешностью его определения, что можно представить в виде критерия Фишера:

$$F_p = \sigma_{\text{пр}}^2 / \sigma_{\text{пог}}^2 \leq F_{\text{кр}, \alpha} \quad , \quad (1)$$

где: F_p – расчетное значение статистики критерия Фишера, $F_{\text{кр}, \alpha}$ – критическое значение статистики Фишера при уровне значимости α ; $\sigma_{\text{пр}}^2$ – дисперсия пространственной изменчивости рассматриваемой гидрологической характеристики (среднее значение, коэффициент вариации, расчетный 1%-ный модуль максимального стока и т.д.); $\sigma_{\text{пог}}^2$ – дисперсия погрешности определения рассматриваемой гидрологической характеристики.

При уровне значимости $\alpha = 5\%$ $F_{\text{кр}}$ при средних для гидрологии объемах рядов, коэффициентах асимметрии и автокорреляции близко к 2 и это свидетельствует о том, что осреднение может быть реализовано, если пространственная изменчивость отличается от погрешности расчетов не более, чем в 2 раза. Если все же пространственная изменчивость характеристики существенно превышает погрешность, а закономерностей по территории не наблюдается, то пространственная статистическая модель должна быть представлена уже двумя параметрами: средним и дисперсией (стандартным отклонением), хотя точность определения на ее основе для неизученного пункта будет ниже.

Методы пространственной интерполяции

Для всех остальных случаев используются методы интерполяции и аналогии, причем метод аналогии является частным случаем пространственной интерполяции, т.к. использует информацию только по одному пункту. Ранее в инженерной гидрологии методы интерполяции ассоциировались только с построением карт изолиний и последующей линейной интерполяцией в центр тяжести неизученного водосбора между наведенными сглаженными изолиниями. При современных технологиях компьютерной обработки информации понятие изолинии практически отсутствует, т.к. в результате интерполяции

будет получена пространственная сеточная модель с любым размером ячеек сетки и соответствующим проинтерполированным значением в каждой ячейке. Для интерполяции в узлы регулярной сетки обычно применяются детерминированные интерполяционные методы: полиномиальная, линейная кубическая интерполяция, би-кубическая, точечная, интерполяция с помощью окна, различные виды сплайн-интерполяции и т.д. [9]. Как правило, детерминированная интерполяция применяется для обобщенных гидрологических характеристик (среднее значение, коэффициент вариации), для которых географическая составляющая является преобладающей. Если перейти к интерполяции погодичных значений, больший вес может уже иметь индивидуальная составляющая (азональность, синоптическая изменчивость) и в этом случае эффективнее использовать детерминировано-статистические методы интерполяции, типа оптимальной интерполяции на основе пространственной корреляционной функции [10].

В общем случае имеет место пространственный дуализм любой гидрологической характеристики, проявляющийся в ее пространственной непрерывности и дискретности. При этом, непрерывность обусловлена свойством географической зональности, а дискретность выражена в виде однородных гидрологических районов, в которых имеют место региональные зависимости от определяющих факторов. Раскрытие дуализма может быть представлено в виде следующей зависимости:

$$Q = f_1 (\text{Широта, Долгота}) + f_2 (X_1, X_2, X_3, \dots) \pm E \quad , \quad (2)$$

где: Q – рассматриваемая гидрологическая характеристика;

f_1 (Широта, Долгота) – составляющая географической зональности, представляющая собой зависимость от координат центров тяжести водосборов;

$f_2 (X_1, X_2, X_3, \dots)$ – региональная составляющая, представляющая собой зависимость от основных факторов (X_1, X_2, X_3, \dots) в данном однородном районе;

E – неучтенные и индивидуальные факторы.

Соотношение между этими двумя составляющими и определяет эффективность применения методов интерполяции и регионализации. Так, например, для нормы годового стока, пунктов наблюдений со средними площадями водосборов и для достаточно большой территории вклад зональной составляющей будет определяющим и применение методов пространственной интерполяции вполне правомерно. Если же в качестве характеристики рассматривать 1%-ный модуль максимального стока с малых водосборов небольшой территории, то скорее всего вклад зональной составляющей будет небольшим и для расчетов необходимо использовать только региональные зависимости. Поэтому прежде, чем применять методы интерполяции необходимо, по крайней мере, оценить статистическую значимость зависимости картируемой гидрологической характеристики от координат центров тяжести водосборов.

Если все же установлено, что зависимость от координат существует, то для детерминированной пространственной интерполяции помимо сеточной модели, которая содержит большой объем невостребованной информации, можно предложить метод,

основанный на определении проинтерполированного значения в заданную точку пространства. Метод основан на определении средневзвешенной гидрологической характеристики с весами обратно пропорциональными расстояниям (или квадратам расстояний) от рассматриваемой точки до линии, соединяющей каждые две точки с гидрологическими характеристиками. Это расстояние представляет собой перпендикуляр и является изолинией, полученной в результате линейной интерполяции между каждой парой точек. Выражение для получения интерполированного значения имеет вид:

$$\mu_{cp} = \frac{1/h_1 * \mu_1 + 1/h_2 * \mu_2 + \dots}{\sum (1/h_1 + 1/h_2 + \dots)} \quad (3)$$

где: μ_{cp} - проинтерполированное значение гидрологической характеристики в заданной точке пространства;

μ_1, μ_2, \dots - значения гидрологической характеристики, полученные на основе линейной интерполяции между каждой парой точек с информацией;

h_1, h_2, \dots - расстояния от рассматриваемой точки по перпендикуляру до линии, соединяющей каждую пару пунктов наблюдений.

Каждое значение h вычисляется при этом следующим образом:

$$h = 2[\sqrt{p(p-a) + (p-b) + (p-c)}] / a, \quad (4)$$

где: $p = (a+b+c)/2$; $a = \sqrt{(Y_j - Y_i)^2 (X_j - X_i)^2}$; $b = \sqrt{(Y_z - Y_i)^2 (X_z - X_i)^2}$; $c = \sqrt{(Y_z - Y_j)^2 (X_z - X_j)^2}$, $X_i, Y_i, X_j, Y_j, X_z, Y_z$ - координаты (долгота и широта) каждой пары пунктов (i и j) и неизученного водосбора (z).

Каждое проинтерполированное значение (μ) определяется по формуле:

$$\mu = \mu_i + a_1/a * \Delta, \quad (5)$$

где: $a_1 = \sqrt{(b^2 - h^2)}$; $\Delta = \mu_j - \mu_i$ при $a_1 < a$,

μ_i, μ_j - значения гидрологических характеристик в точках i и j .

Другой вариант предлагаемого метода основан на осреднении с весами обратно пропорциональными квадрату расстояния (или расстоянию) от центра тяжести неизученного водосбора до центра тяжести каждого водосбора с гидрологической характеристикой:

$$Y_m = K_1 Y_1 + K_2 Y_2 + \dots + K_n Y_n, \quad (6)$$

при $K_1 = (1/l_1^2) / (1/l_1^2 + 1/l_2^2 + \dots + 1/l_n^2)$, $K_2 = (1/l_2^2) / (1/l_1^2 + 1/l_2^2 + \dots + 1/l_n^2)$, . . . ,

где: Y_m – интерполируемое значение гидрологической характеристики в центр тяжести неизученного водосбора m ;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n – значения гидрологической характеристики в центрах тяжести n изученных водосборов;

K_1, K_2, \dots, K_n – весовые коэффициенты;

l_1, l_2, \dots, l_n – расстояния между центром тяжести неизученного водосбора и центрами тяжести изученных водосборов (в градусах или км).

Предлагаемые методы интерполяции требуют апробации и проверки на независимой информации, чтобы оценить какое наилучшее число точек выбрать для интерполяции. Очевидно, что в зависимости от гидрологической характеристики и расположения района, результаты будут разные. Поэтому программное обеспечение для интерполяции должно включать в себя блок оценки эффективности интерполяции на независимом материале, например, при последовательном исключении из расчетов по одному пункту наблюдений, в который будет осуществляться интерполяция.

Метод гидрологической аналогии

Понятие гидрологической аналогии в СП 33-101-2003 неоднозначно и практически не формализовано. Так, например, в п.4.10 СП сказано:

“При выборе рек-аналогов необходимо учитывать следующие условия:

- однотипность стока реки-аналога и исследуемой реки;
- географическую близость расположения водосборов;
- однородность условий формирования стока, сходство климатических условий, однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий, близкую степень озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
- средние высоты водосборов не должны существенно отличаться, для горных и полугорных районов следует учитывать экспозицию склона и гипсометрию;
- отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды)”.

Перечисленные условия не являются формализованными и свидетельствуют лишь о том, что аналог не должен располагаться далеко от рассматриваемого пункта, должен находиться в естественных условиях формирования стока и иметь близкие значения таких гидрографических факторов как средняя высота водосбора, залесенность, озерность, заболоченность и распаханность. При этом, предполагается, что другие приоритетные факторы, такие как площадь водосбора и уклон реки и водосбора, могут и отличаться.

Если рассматривать определение аналога в разделе 6 СП для определения гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений, то главным формализованным показателем аналога является значение коэффициента корреляции, которое не должно быть меньше $R=0.7$ и характеризует синхронность колебаний для рассматриваемой реки и реки-аналога. При данном значении $R \geq 0.7$ автоматически обеспечивается выполнение всех других условий статистически значимого уравнения связи между рядом наблюдений гидрологических характеристик в рассматриваемом пункте и пункте-аналоге при условии, что совместный период наблюдений более 6 лет.

Еще одним условием аналогии для максимального стока является примерное равенство следующих отношений гидрографических факторов (п.7.25 СП 33-101-2003):

$$L/A^{0,56} \approx L_a/A_a^{0,56}, \quad (7)$$

$$J \cdot A^{0,50} \approx J_a \cdot A_a^{0,50}, \quad (8)$$

где L и L_a - соответственно длина исследуемой реки и реки-аналога, км; J и J_a - уклон водной поверхности исследуемой реки и реки-аналога, промилле, A и A_a - площади водосборов исследуемой реки и реки-аналога, км².

Все перечисленные условия выбора аналога можно формализовать следующим образом. Прежде всего, должно соблюдаться условие синхронности, которое характеризуется достаточно высоким коэффициентом парной корреляции: $R \geq 0.7-0.8$ и существованием статистически значимого уравнения на основе которого можно осуществить синтез многолетних данных в рассматриваемом пункте по информации в пункте-аналоге:

$$Q_i = b_1 Q_{ai} + b_0 \quad \text{или} \quad Q_i = \sigma/\sigma_a \cdot R(Q_{ai} - Q_{cra}) + Q_{cp}, \quad (9)$$

где: b_1, b_0 - коэффициенты уравнения и $b_1 = \sigma/\sigma_a \cdot R$, $b_0 = Q_{cp} - b_1 \cdot Q_{cra}$, Q_i, Q_{ai} - значения гидрологической характеристики в i -год в рассматриваемом пункте и пункте-аналоге; Q_{cp}, Q_{cra} - средние многолетние значения гидрологической характеристики в рассматриваемом пункте и пункте-аналоге, σ, σ_a - средние квадратические отклонения гидрологической характеристики в рассматриваемом пункте и пункте-аналоге.

Если уравнение (9) переписать в модулях стока (M_i) и коэффициентах вариации (Cv), то оно будет иметь следующий вид:

$$M_i = A/A_a \cdot Cv/Cv_a \cdot M_{cp}/M_{cra} \cdot R(M_{ia} - M_{cra}) + M_{cp}, \quad (10)$$

где: A, A_a - площади водосборов рассматриваемой реки и реки-аналога, Cv, Cv_a - коэффициенты вариации рассматриваемой реки и реки-аналога, M_{cp}, M_{cra} - средние многолетние модули стока рассматриваемой реки и реки-аналога.

Коэффициент корреляции между рассматриваемым пунктом и аналогом можно определить на основе пространственной корреляционной функции, представляющей собой обратную связь между коэффициентами парной корреляции и расстоянием между центрами тяжести водосборов:

$$R_{ij} = f(D_{ij}), \quad (11)$$

где: R_{ij} - коэффициент парной корреляции между каждой парой рядов наблюдений в однородном районе, D_{ij} - расстояние между центрами тяжести водосборов (км).

Как правило, пространственная корреляционная функция для многих гидрологических характеристик, и особенно для максимального стока, имеет небольшой радиус корреляции (расстояние от $D=0$ до $D=f(R_{kp}=0.7-0.8)$) и большой разброс точек в верхней части кривой, обусловленный анизотропностью (неравенством по разным направлениям) пространственного поля изокоррелят.

В соответствии с (10) для синтеза временного ряда при отсутствии данных наблюдений помимо вычисленного коэффициента корреляции, необходимо определить также M_{cp} и Cv в рассматриваемом неизученном пункте. Для определения этих параметров могут быть использованы методы интерполяции и региональные зависимости от гидрографических факторов.

В частном случае, если пункты наблюдений находятся рядом, то параметры распределения также должны быть близкими, т.е. $M_{cp} \approx M_{cra}$; $Cv \approx Cv_a$, что следует из пространственной интерполяции. Условия (7) и (8) также предназначены для того, чтобы охарактеризовать

равенство параметров (среднего многолетнего или коэффициента вариации), исходя из факторов и коэффициентов региональных зависимостей. Если принять, что какое-либо региональное уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} \lg M_{\text{ср}} = \lg L - 0.56 \lg A & \quad \text{или} \quad M_{\text{ср}} = L/A^{0.56}, \\ \lg M_{\text{сра}} = \lg L_a - 0.56 \lg A_a & \quad \text{или} \quad M_{\text{сра}} = L_a/A_a^{0.56}, \end{aligned} \quad (12)$$

то при условии равенства $M_{\text{ср}} \approx M_{\text{сра}}$ имеем равенство правых частей уравнения: $L/A^{0.56} \approx L_a/A_a^{0.56}$. Аналогично, если принять, что какое-либо региональное уравнение коэффициента вариации имеет вид (для рассматриваемого пункта и аналога):

$$\begin{aligned} \lg C_v = \lg J - 0.50 \lg A & \quad \text{или} \quad C_v = J/A^{0.50}, \\ \lg C_{v_a} = \lg J_a - 0.50 \lg A_a & \quad \text{или} \quad C_{v_a} = J_a/A_a^{0.50}, \end{aligned} \quad (13)$$

то при условии равенства $C_v \approx C_{v_a}$ получим равенство правых частей уравнения: $J \cdot A^{0.50} \approx J_a \cdot A_a^{0.50}$. Таким образом, приведенные в СП 33-101-2003 условия (7) и (8) являются частным случаем одной региональной формулы и не могут быть рекомендованы как общие условия выбора аналога при расчете максимального стока.

Методы построения региональных зависимостей

Региональные расчетные формулы получили широкое распространение в инженерной гидрологии, но в большинстве случаев оценки эффективности этим зависимостям дано не было, так же как и статистического обоснования для включения в формулы множества параметров, каждый из которых зависит от новых переменных. Так, например, в наиболее распространенных в гидрологии редукционной формуле и, особенно, в формуле предельной интенсивности в сумме можно насчитать до 20-30 параметров, определяемых по эмпирическим данным. При этом, объем информации, который используется для региональных зависимостей обычно не превышает 30-40 пунктов наблюдений. Поэтому очевидно, что в таких зависимостях все коэффициенты не могут быть статистически значимыми. Как правило, в региональные модели входят не более 3-5 основных факторов, учитывающих местные особенности формирования стока. Общая последовательность построения региональных зависимостей включает три основных этапа:

- предварительный анализ, состоящий в выборе предполагаемых факторов, итерационном выборе однородного района, построении однофакторных зависимостей, осуществлении функциональных преобразований факторов и в конечном итоге – формировании возможных структур региональных зависимостей;
- вычислительный этап, состоящий в определении коэффициентов уравнений разными методами, в оценке их статистической значимости, вклада факторов в уравнение и в выборе окончательной наиболее эффективной региональной модели;
- этап проверки и корректировки модели, связанный с всесторонним анализом остатков, как на зависимом, так и на независимом от расчета материале на основе которого улучшается региональная зависимость и оценивается ее реальная погрешность.

Выбор предполагаемых факторов зависит от рассматриваемой гидрологической характеристики и, например, для максимального стока может иметь место следующий набор морфометрических и гидрографических факторов:

- А - площадь водосбора (км²);
- Н – средняя высота водосбора (м);

- $J_{\text{рсп}}$ – средний уклон реки в промиллях (‰);
- $J_{\text{рвзв}}$ - средневзвешенный уклон реки в промиллях (‰);
- $f_{\text{л}}$ - лесистость водосбора (%).
- ϕ – широта центра тяжести водосбора (в град),
- λ – долгота центра тяжести водосбора (в град)

Координаты центров тяжести водосборов выбраны в качестве факторов для того, чтобы учесть зональную составляющую, связанную с изменением гидрологической характеристики по широте и долготе.

Построение однофакторных зависимостей преследует две цели: установить необходимы ли какие-либо функциональные преобразование факторов и зависимой переменной, например логарифмическое преобразование площади водосборов, и для того, чтобы откорректировать границы района или учесть другие факторы, которые обуславливают отклонения данных в отдельных пунктах от общей однофакторной зависимости. Выбор функционального преобразования фактора осуществлялся, если коэффициент парной корреляции при этом преобразовании статистически значимо отличался от коэффициента парной корреляции прямолинейной зависимости. Статистически значимое отличие определялось следующим неравенством:

$$R_{\phi} > R_{\text{пр}} + \sigma_R, \quad (14)$$

где: R_{ϕ} – коэффициент парной корреляции при рассматриваемом функциональном преобразовании фактора, $R_{\text{пр}}$ - коэффициент парной корреляции прямолинейной зависимости, σ_R – стандартная погрешность коэффициента корреляции прямолинейной зависимости [11].

На следующем этапе осуществляется построение уравнения множественной регрессии двумя методами: шаговой процедурой и методом исключения [12]. Шаговая процедура представляет собой улучшенный вариант метода включения. В этом методе включаются все переменные по очереди до тех пор, пока регрессионное уравнение не станет удовлетворительным. После того, как уравнение регрессии построено, оценивается значимость коэффициентов на основе их доверительных интервалов. Доверительные интервалы определяются на основе стандартной погрешности коэффициента уравнения регрессии σ_{B_j} , которая вычисляется по формуле:

$$\sigma_{B_j} = \sigma_{\epsilon} / (\sum (X_{ij} - X_{j\text{ср}})^2)^{1/2}, \quad (15)$$

где: σ_{ϵ} – стандартная погрешность остатков уравнения регрессии,

X_{ij} – i -ое значение j -го фактора;

$X_{j\text{ср}}$ – среднее значение j -го фактора;

Как правило, используются 95%-ные доверительные интервалы относительно вычисленного коэффициента уравнения регрессии B_j , которые соответствуют удвоенной стандартной погрешности σ_{B_j} и определяются следующим образом:

$$B_j - 2\sigma_{B_j} < B_j < B_j + 2\sigma_{B_j}; \quad (16)$$

Если верхняя и нижняя границы доверительного интервала одного знака, то коэффициент уравнения регрессии B_j является статистически значимым. Если они разного знака, то коэффициент B_j может принимать и нулевое значение, т.е. не является статистически значимым.

В результате в уравнении множественной регрессии остаются только те переменные, при которых коэффициенты являются статистически значимыми. В полученном статистически значимом уравнении оцениваются вклады каждой переменной, которые выражаются в % к общему описанию исходного рассеивания полученным уравнением. Общее описание с помощью уравнения регрессии выражается в виде суммы квадратов, обусловленных регрессией или в виде разности суммы квадратов относительно среднего (исходное рассеивание) и суммы квадратов остатков.

При формировании региональных зависимостей и определении их коэффициентов могут рассматриваться следующие структуры уравнений:

- аддитивная структура уравнения в виде суммы аргументов с соответствующими коэффициентами, которая включает только преобразование площади водосбора в логарифм площади;
- структура, основанная на логарифмическом преобразовании, как площади водосбора, так и всех остальных факторов (аргументов);
- структура, основанная на логарифмическом преобразовании, как функции, так и всех аргументов;
- мультипликативная структура, где помимо отдельных слагаемых задаются новые аргументы в виде произведения факторов как для исходных значений функции и аргументов, так и для их логарифмических преобразований;
- классическая структура редукционной формулы, включающая два основных фактора: площадь водосбора и лесистость при логарифмическом преобразовании как функции, так и обоих аргументов.

В качестве примера ниже приведены полученные региональные зависимости в бассейне средней Ангары для максимальных в году 1%-ных модулей с учетом неоднородного генезиса формирования ($M_{1\%н}$):

$$\log M_{1\%н} = -0.246 \log A + 2.415 \log H - 11.087 \log \lambda + 19.061 \quad \text{с } R=0.85 \quad (17)$$

с вкладами факторов: 45.2% для $\log A$, 28.1% для $\log H$, 26.7% для $\log \lambda$ и стандартным отклонением остатков $\sigma_\epsilon = 76.7$ л/с км².

$$M_{1\%н} = -135.3 \log A + 1107.6 \log H - 5860.8 \log \lambda + 9547 \quad \text{с } R=0.80 \quad (18)$$

с вкладами факторов: 54.7% для $\log A$, 17.2% для $\log H$, 28.1% для $\log \lambda$ и стандартным отклонением остатков $\sigma_\epsilon = 87.4$ л/с км².

$$M_{1\%н} = 99.621 J_{\text{рвзв}} - 24.159 \lambda + 1.146 H + 2066.6 \quad \text{с } R=0.80 \quad (19)$$

с вкладами факторов: 67.1% для $J_{рвзв}$, 24.1% для λ , 8.8% для H и стандартным отклонением остатков $\sigma\epsilon=87.4$ л/с км².

$$M_{1\%N} = 24.899J_{рвзв} * J_{рвзв} + 0.00963H * f_{л} - 17.983\lambda + 1606.6 \quad \text{с } R=0.85 \quad (20)$$

с вкладами факторов: 72.7% для $J_{рвзв} * J_{рвзв}$, 14.2% для $H * f_{л}$, 13.1% для λ и стандартным отклонением остатков $\sigma\epsilon=76.7$ л/с км².

Классическая редукционная формула:

$$\log M_{1\%N} = -0.276 \log A + 1.792 \log f_{л} - 0.244 \quad \text{с } R=0.67 \quad (21)$$

или $M_{1\%N} = f_{л}^{1.792} / 1.754 * A^{0.276}$,

с вкладами факторов: 73.9% для $\log A$, 26.1% для $\log f_{л}$ и со стандартным отклонением остатков $\sigma\epsilon=108.1$ л/с км².

Методы оценки эффективности региональных зависимостей

Оценка эффективности полученных эмпирических зависимостей и формул, применяемых в гидрологических расчетах, выполняется на основе всестороннего анализа остатков, оценивания устойчивости параметров и коэффициентов этих зависимостей. Оценка эффективности является самостоятельным отдельным блоком региональной ГИС, т.к. применяется не только для вновь построенных региональных моделей, но для любых существующих формул, а также для любых других видов расчетов при наличии и недостаточности данных наблюдений..

Остатки любой эмпирической зависимости определяются как разности между фактическими (наблюденными) и расчетными значениями:

$$\epsilon_i = Y_i - \check{Y}_i \quad (22)$$

где: Y_i - фактическое (наблюденное) значение, \check{Y}_i - рассчитанное по зависимости, ϵ_i – остаток или погрешность полученной зависимости.

В качестве безразмерной характеристики остатков могут рассматриваться их относительные значения (Δ_i):

$$\Delta_i = (Y_i - \check{Y}_i) / Y_i \quad (23)$$

которые выражаются в долях единицы или процентах.

Наиболее распространенной обобщенной характеристикой остатков является их среднее квадратическое отклонение (σ_ε):

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n-1}}, \quad (24)$$

или:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_Y \sqrt{1 - R^2}, \quad (25)$$

где: ε - среднее значение остатков, R – коэффициент корреляции полученной зависимости, σ_Y – стандартное (среднее квадратическое) отклонение ряда фактических значений.

Стандартная погрешность дает первичную информацию об эффективности полученной эмпирической зависимости. В качестве обобщенной меры может служить также величина:

$$\Delta' = (1 - R^2) * 100\%, \quad (26)$$

которая характеризует долю исходного рассеивания (в %), не объясненного с помощью построенной зависимости.

Стандартная погрешность остатков, как следует из (25)-(26), связана с коэффициентом корреляции полученного уравнения. Поэтому можно решать и обратную задачу: определить каким должен быть коэффициент корреляции, чтобы уравнение удовлетворяло практической эффективности, например, по заданной стандартной погрешности стоковой характеристики, вычисляемой по уравнению (25). Если полученное уравнение имеет эффективность ниже, чем требуемая, то его можно попытаться улучшить путем введения новых факторов, изменения структуры зависимости и т.д. При этом необходимо иметь в виду, что практическая эффективность должна быть ориентирована на реальные возможности, связанные с погрешностями измерений и пространственно-временных обобщений факторов и определяемой стоковой характеристики, с ограниченностью объема данных, множеством неучтенных факторов и т.д.

Всесторонний анализ остатков включает в себя оценивание:

- резко отклоняющихся экстремальных значений;
- смещенности остатков;
- случайности остатков на основе хронологического графика;
- случайности остатков в зависимости от каждого фактора, входящего в уравнение;
- случайности остатков в зависимости от расчетных значений.

Наличие смещенности остатков определяется тем, что среднее их значение не равно нулю или статистически значимо отличается от нуля. В уравнениях регрессии, коэффициенты

которых определены по методу наименьших квадратов (МНК) или другими методами (единое решение, ортогональная регрессия), смещенность остатков отсутствует. Как правило, наличие смещенности может иметь место для уравнений балансового вида (уравнение водного, руслового и других видов баланса), где невязки уравнений характеризуют как неучтенные факторы, так и все систематические погрешности составляющих. Смещенность остатков необходимо исключать или путем корректировки свободного члена уравнения или тех коэффициентов и факторов, которые ее обусловили.

Так как ряд зависимостей, применяемых в расчетах стока, строится по многолетним рядам стоковых характеристик и факторов (восстановление по аналогам, восстановление по рядам стокоформирующих факторов и т.д.), необходим анализ случайности остатков в зависимости от времени, который может осуществляться двумя путями:

- применение известных статистических критериев оценки случайности и стационарности (критерии Стьюдента, Фишера и другие);
- применение графического анализа остатков в зависимости от времени.

При случайном характере остатков от времени будет иметь место полоса рассеивания параллельная оси нулевого значения. При неслучайном характере возможны следующие основные варианты:

- полоса разброса остатков сужается или расширяется, что связано с непостоянством дисперсии остатков во времени;
- полоса остатков имеет одинаковую ширину, но изменяется (линейно или нелинейно) в зависимости от времени, что свидетельствует о нестационарности средних значений остатков.

Установленная зависимость остатков от времени, как правило, обусловлена аналогичной зависимостью в одной или нескольких переменных уравнения. В этом случае необходимо искать причину нестационарности, ее исключать (привести к стационарному виду) или учитывать.

Графики погрешностей строятся в зависимости от каждого фактора (X_i), входящего в уравнение. При этом возможны следующие ситуации:

- зависимость отсутствует и полоса остатков горизонтальна и симметрична относительно нулевого значения, что свидетельствует о случайности погрешностей;
- зависимость представлена сужающейся или расширяющейся полосой остатков от фактора, что свидетельствует о неоднородности дисперсии остатков, которую надо учитывать взвешенным МНК или предварительным преобразованием Y_i ;
- линейная зависимость остатков от фактора свидетельствует о том, что линейный эффект данного фактора в уравнении исключен неверно;
- нелинейная зависимость остатков от фактора свидетельствует о том, что в уравнение необходимо ввести нелинейные члены от X_i или произвести преобразование Y_i .

При построении зависимости остатков от расчетного значения \hat{Y}_i возможны те же ситуации в полосах рассеивания, что при исследовании остатков от факторов.

Наиболее эффективной является проверка построенного эмпирического уравнения на независимом от расчета материале наблюдений. В этом случае условия проверки соответствуют практическому применению установленных зависимостей. Для независимой проверки часть исходной информации не включается в построение уравнения и используется в качестве «эталоны» для сравнения с расчетом. Анализ остатков в случае независимой проверки осуществляется теми же способами: на резко отклоняющиеся экстремумы, в

зависимости от времени, факторов и расчетного значения. Необходимо отметить, что должен иметь место оптимум между количеством информации, используемой для построения зависимости и для ее независимой проверки.

Литература

1. *Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003.* - М: Госстрой России, 2004, 72 с.
2. СНиП 2.01.14-83. *Определение расчетных гидрологических характеристик.* – М: Государственный комитет СССР по делам строительства. 1983, 97 с.
3. *Ресурсы поверхностных вод (РПВ) СССР. т.1 - т.20.* Л., Гидрометеоиздат.
4. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 448 с.
5. Лобанов В.А., Никитин В.Н. *Региональные модели определения характеристик максимального стока в зависимости от гидрографических факторов. Метеорология и гидрология, № 11, 2006, с.60-69.*
6. СНиП 10-01-94 *‘Система нормативных документов в строительстве. Основные положения’.* Минстрой России, Москва, 1994. – 21 с.
7. Лобанов В.А. *ГИС в гидрологии. ГИС-обзорение, № 1, 2001, с.54-59.*
8. ВСН 163-83 *Миннефтегазстрой. “Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов)”*, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1985, 118 с.
9. *Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology. UNESCO, International Hydrological Programme, IHP-IV M 2.3, Publ. No.23, The Netherlands, 1994, 243p.*
10. Гандин Л.С., Каган Р.Л. *Статистические методы интерполяции метеорологических данных.* - Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 359с.
11. Закс Л. *Статистическое оценивание.* М.: Статистика, 1976, 598 с.
12. Дрейпер Н., Смит Г. *Прикладной регрессионный анализ.* М., Статистика, 1973, 392 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СТОКА РЕК РФ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Георгиевский В.Ю., Лобанова А.Г.

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

REGULARITIES OF LONG-TERM FLUCTUATIONS OF EXTREME FLOW OF THE RIVERS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN MODERN SITUATIONS

Georgievsky V. Yu., Lobanova A. G.

State hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

Рассмотрены многолетние изменения максимальных и минимальных расходов воды незарегулированных рек Российской Федерации по данным наблюдений на гидрологических постах Росгидромета за многолетний период. Выполнена оценка статистических характеристик числа лет с превышением расхода воды обеспеченностью 10% для максимального стока и ниже 90% для минимального стока за летне-осенний и зимний сезоны за два многолетних периода – современного, характеризующегося повышением температуры воздуха, и предшествующего (базового) с климатическими условиями до начала потепления..

The long-term changes in the maximum and minimum water discharge of unregulated rivers of the Russian Federation according to observations at hydrological posts of Roshydromet for a long period are considered. The assessment of statistical characteristics of the number of years with excess water flow rate of 10% for the maximum flow and below 90% for the minimum flow for the summer-autumn and winter seasons for two multi-year periods - modern, characterized by increasing air temperature, and the previous (base) before warming.

Исследования многолетней динамики гидрологических характеристик показывают, что в последние десятилетия происходят разнонаправленные изменения сезонного стока рек РФ. При этом годовой сток остаётся относительно стабильным. Таким образом, происходит внутригодовое перераспределение стока рек. В качестве основной причины этих изменений предполагается влияние на сток климатической составляющей. [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

В последние годы в ФГБУ «ГГИ» проведены исследования по выявлению особенности изменений максимального и минимального стока рек в условиях происходящего потепления климата [7,8,9]. Было показано, что современные изменения максимального стока рек России, начавшиеся с конца 1970-х - середины 1980-х годов, для различных регионов определяются условиями его формирования. Так для значительной части ЕТР, где максимальные расходы формируются в период весеннего половодья, в последние десятилетия произошло существенное его уменьшение. В регионах, где максимальные расходы формируются дождевыми паводками в конце прошлого — начале нынешнего столетия отмечались катастрофические наводнения, не наблюдавшиеся ранее.

На рис.1 представлены результаты районирования территории РФ по величине изменений экстремальных расходов воды в современный период по отношению к предшествующему (базовому) периоду. Выделено несколько регионов, где произошло увеличение или уменьшение максимальных в году расходов воды (рис.1а). В целом эти изменения пока незначительные (статистически незначимы) и находятся в пределах $\pm 10\%$. Наиболее существенное снижение (на 40-60%) максимального стока произошло на реках, расположенных в южных и юго-западных районах равнинной части ЕТР. Увеличение максимального стока до 20-40% наблюдалось на ограниченном числе рек Черноморского побережья и Северного Кавказа, северной и северо-восточной части бассейна Волги, реках, расположенных в горных и предгорных районах Урала, юга Западной Сибири, Восточного Саяна, а также на некоторых реках Центральной части Восточной Сибири и бассейна Амура.

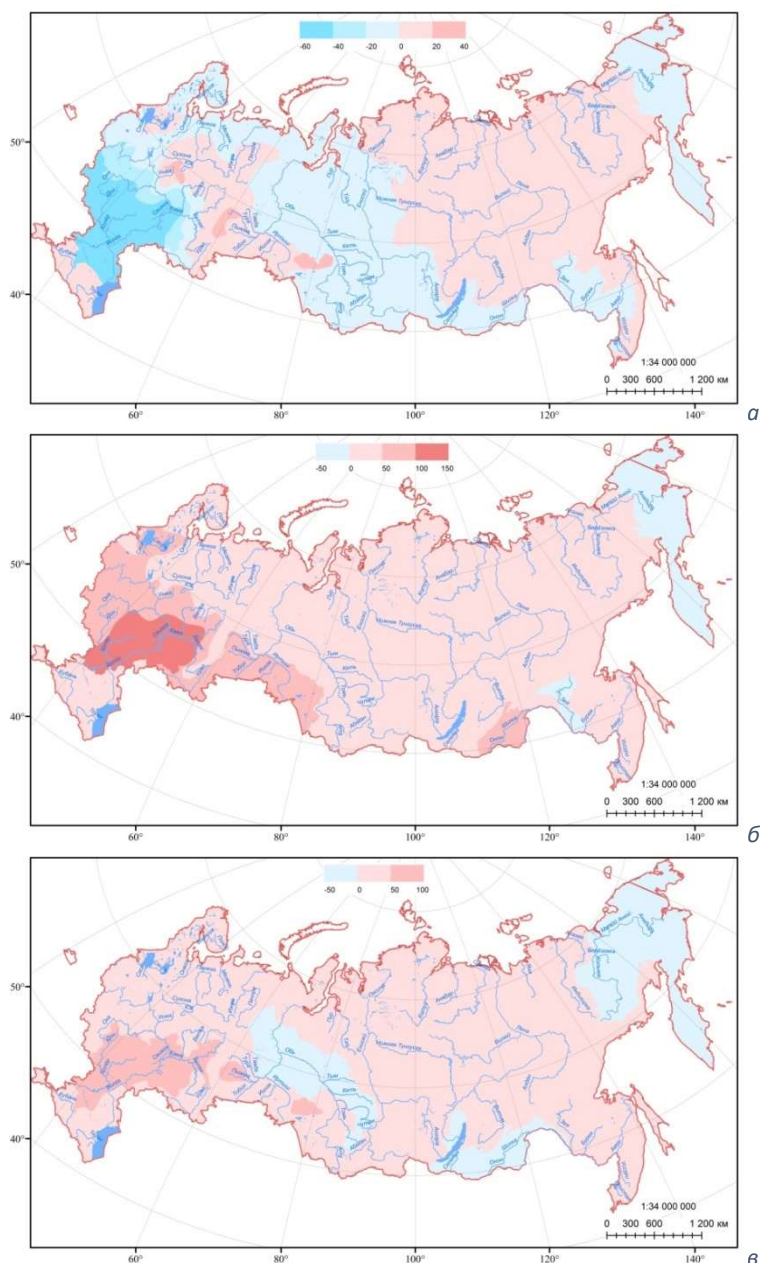


Рис.1. Карты-схемы изменения экстремального стока рек РФ в % в современный период по отношению к предыдущему: а - максимального стока, б - минимального зимнего стока, в- минимального летне-осеннего стока

Минимальный зимний сток рек увеличился на подавляющей части территории страны (рис. 1б). Наиболее значительное увеличение (на 100-200%) отмечается в равнинной части юга ЕТР. На реках бассейна Северного Ледовитого океана увеличение находится в пределах 50%. Незначительное снижение минимального зимнего стока отмечается на крайнем северо-востоке страны.

Увеличение минимального летне-осеннего стока (рис. 1в) отмечается на всей территории ЕТР и большей части АТР. Снижение стока выявлено на реках бассейна Иртыша, Забайкалья и северо-востока страны.

Результаты, приведенные на рис.1, дают представление только об изменении средних за период современного потепления климата значений экстремального стока по отношению к норме за предшествующий многолетний период.

Особый интерес представляет анализ динамики опасных гидрологических явлений (ОГЯ), к которым отнесены высокие и низкие расходы воды, оказывающие негативное воздействие на условия жизнедеятельности в прибрежных районах. В связи с этим рассмотрены изменения

максимального стока и минимального стока, приводящие к ОГЯ. При определении ОГЯ [10] по вероятности их возникновения приняты пороговые значения максимальных расходов воды обеспеченностью - 10% и выше, и минимальных – 90% -ной обеспеченности и ниже, которые были определены на основе данных за весь период наблюдений по эмпирическим кривым распределения.

Вероятность формирования числа случаев, выше (или ниже) заданных значений пороговых расходов воды в многолетних рядах гидрологических наблюдений для различных природных зон РФ в условиях происходящих изменений климата существенно отличается. В качестве примера на рис.2, показаны изменения максимального и минимального стока относительно пороговых значений для двух рек, расположенных в различных природных зонах.

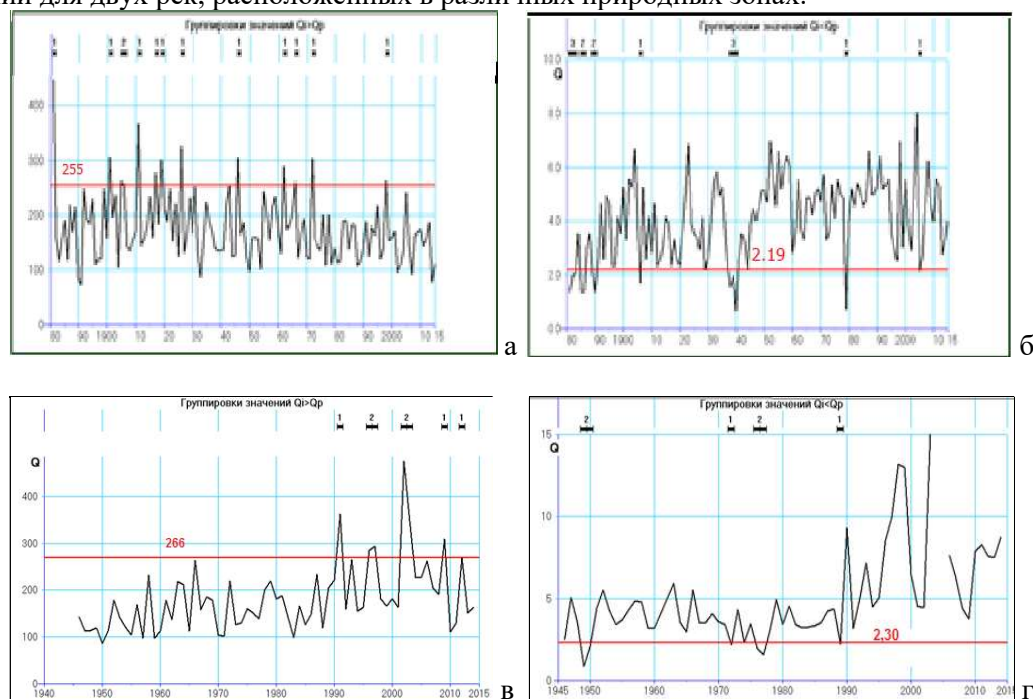


Рис. 2. Изменения количества «выбросов» относительно пороговых значений $Q_{10\%}$ и $Q_{90\%}$ р.Тихвинка-с.Горелуха: а) - максимальные расходы в году, б) - минимальные расходы за летне-осенний сезон и р.Большой Зеленчук- ст-ца Зеленчукская: в) - максимальные расходы, г) - минимальные расходы за летне-осенний период

Анализ изменений ОГЯ по постам с длительными рядами наблюдений по территории РФ позволили сделать следующие выводы:

- для ЕТР повышение максимальных расходов воды и частоты их появления выше порогового значения $Q_{10\%}$ отмечены для рр. Унжа, Ветлуга, Чусовая, Белая, рек бассейна Кубани и Черноморского побережья. Уменьшение максимальных расходов воды характерно для рек бассейна Дона, Днепра, Нижней Волги, южной части бассейна р.Ока. На этих реках в последние десятилетия максимумы выше порогового значения $Q_{10\%}$ практически отсутствуют.

- для АТР частота появления максимальных расходов выше порогового значения $Q_{10\%}$ отмечается для отдельных рек бассейнов Амура, Лены, Оленек, Индигирка, а также рек Восточного Саяна.

Уменьшение ОГЯ в результате повышения минимальных расходов, как в зимний, так и в летне-осенний сезон, отмечается за последние десятилетия практически на всей территории России.

В таблице 1 представлены результаты оценки изменений частоты появления максимальных расходов воды относительно порогового значения расхода 10%-ной обеспеченности для отдельных рек, расположенных в различных физико-географических условиях.

Таблица 1. Частота появления максимальных расходов воды выше расхода 10% - ной обеспеченности

Река-пост	Базовый период	Современный период	k_1	k_2	k_1/n_1 (%)	k_2/n_2 (%)
р. Унжа - г. Макарьев	1897-1980	1981-2015	3	8	3,6	22,9
р. Ока - г. Калуга	1882-1978	1979-2015	1 3	0	13,4	0,0
р. Свяга - с. Вырыпаевка	1926-1987	1988-2015	7	2	11,1	7,4
р. Дон - г. Задонск	1928-1980	1981-2015	8	0	13,6	0,0
р. Сосна - г. Елец	1928-1980	1981-2015	8	0	13,6	0,0
р. Днепр - г. Смоленск	1881-1979	1980-2016	1 3	0	13,1	0,0
р. Большой.Зеленчук - ст-ца Зеленчукская	1945-1985	1986-2014	0	6	0,0	20,7
р. Уруп - х. Стеблицкий	1926-1975	1986-2015	2	6	4,0	20,0
р.Лаба - х.Догужиев	1926-1975	1976-2016	0	8	0,0	19,5
р.Сочи - с.Пластунка	1928-1981	1982-2016	2	6	3,7	17,1
р. Лена - с. Солянка	1933-1980	1981-2015	3	5	5,6	17,2
р. Оленек - гм. ст. Сухана	1950 - 1980	1981- 2015	2	5	6,4	14,3
р. Ия - г. Тулун	1936-1979	1980-2019	3	6	6,8	15,0

Примечание: k_1 -число лет с превышением расхода воды 10%-ной обеспеченности за базовый период, k_2 -число лет с превышением расхода воды 10%-ной обеспеченности за современный период, n_1 и n_2 - соответственно число лет наблюдений за базовый и современный периоды

Представленные результаты исследований показали, что реакция характеристик экстремального стока рек страны на происходящие климатические изменения неоднозначна и зависит от условий его формирования. Увеличение или уменьшение частоты возникновения экстремальных расходов воды, представляющих опасность для населения и экономики прибрежных территорий, необходимо учитывать при планировании и осуществления мероприятий, направленных на предотвращение негативного воздействия вод.

Литература

1. Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М. М., Игонина М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги.//Вода: химия и экология. - 2013.- № 4 (58). - С. 3-12
2. Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д. Современные особенности гидрологического режима рек бассейна Волги//Вопросы географии./Русское географическое общество. - М.: Изд. дом Кодекс,-2018.-С.206-218
3. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Гидрологический режим и водные ресурсы./ в кн: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. - М.: -2012. - С. 53-85
- 4 Лавров С.А., Калюжный И.Л. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек бассейна Волги в условиях изменения климата.//Водное хозяйство России. - 2012. - № 4. -С. 74-84
5. Водные ресурсы России и их использование /под ред. И.А. Шикломанова. - СПб, Государственный гидрологический институт, 2008. - 600 с.
6. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. – М.: Планета, 2014. - 58с.
7. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н. Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г. Пространственно-временные изменения характеристик экстремального стока рек бассейна Волги. – Метеорология и гидрология, 2018, № 10, с.8-15

8. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Марков М.Л., Молчанова Т.Г. Опасные гидрологические явления на реках Арктической зоны Российской Федерации. – Метеорология и гидрология, 2019, № 4, с.89-98
9. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н., Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г. Оценка современных изменений максимального стока рек России. – Метеорология и гидрология, 2019, № 11, с.46-55
10. РД 52.04.563 – 2002 Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения, СПб, Гидрометеиздат, -2002, -27 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В.О. Лопуха, Н.В. Федосеева

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

USE OF MULTISENSOR SATELLITE REMOTE SENSING DATA FOR INTERPRETATION OF OIL SPILLS ON THE WATER SURFACE

V.O. Lopukha, N.V. Fedoseeva

Russian state hydrometeorological university, Saint Petersburg, Russia

В данной работе выполнен анализ аварийных разливов нефти на морской поверхности по мультиспектральным спутниковым данным Modis Aqua/Terra, которые оказывают серьезное воздействие на экологическую среду и социальную экономику

In this paper is conduct analysis of oil spills at sea with multisensory satellite remote sensing data, which can produce serious impact on ecological environmental and social economy

Введение

Аварийные разливы нефти представляют собой огромную угрозу для животного, растительного мира и окружающей среды. Их последствия, включая ликвидацию разливов нефти и восстановления животного мира наносят серьезный урон экономике стран, в которых они произошли.

В данной работе было проведено исследование наиболее значительных аварийных разливов нефти, детально проанализированы методы распознавания нефтяных разливов на спутниковых изображениях в разных диапазонах электромагнитного спектра.

В работе использовались мультиспектральные спутниковые данные, полученные при помощи спектрорадиометра MODIS, который позволяет проводить съемку в 36 каналах, причем ввиду непрерывного режима работы, периодичность получения снимков во всех каналах составляет до 3 раз в дневное время и аналогично ночью, а при использовании двух спутников (Aqua и Terra), возможное количество получаемых за сутки снимков может превысить один десяток.

Флуоресцентные индексы

Для определения толщины нефти с использованием оптических изображений MODIS были применены два метода FI (Fluorescent Index) и RAI (Relative Absorption Index). Первый из них состоит в использовании спектрального индекса, основанном на отношении спектральных полос в голубом (380-500 нм.), красном (600-760 нм.) и ближнем инфракрасном (760-2500 нм.) части электромагнитного спектра. Идея этого метода состоит в выделении флуоресцентного поведения поверхностных нефтяных пятен и повышения отражательной способности подповерхностных разливов нефти. Суть второго метода состоит в использовании более сложных отношений, но также основана на флуоресцентном поведении разливов нефти. Их алгоритм представлен в таблице 1.

Таблица 1. Алгоритм флуоресцентных индексов

Алгоритм	Полоса
Флуоресцентный индекс(FI)	Rb=490нм
	Rr=665нм

$$FI = \frac{R_B - R_R}{R_B + R_R}$$

Индекс поглощения(RAI)	Rb=490нм
	Rir=885нм

$$FI = \frac{R_B - R_{IR}}{R_B + R_{IR}} \|R\|,$$

где

$$\|R\| = \sqrt{\sum_{i=1}^T b_i^2}$$

b=излучение пикселя для диапазона излучения

T=общее количество полос

При использовании индекса флуоресценции и применения, встроенной в программное обеспечение, цветовой палитры, получим что разлив нефти располагается посередине и имеет белый цвет, земная поверхность красного цвета, водная поверхность имеет сине-голубой цвет, облачность выделена зелено-синим цветом (рисунок 1).

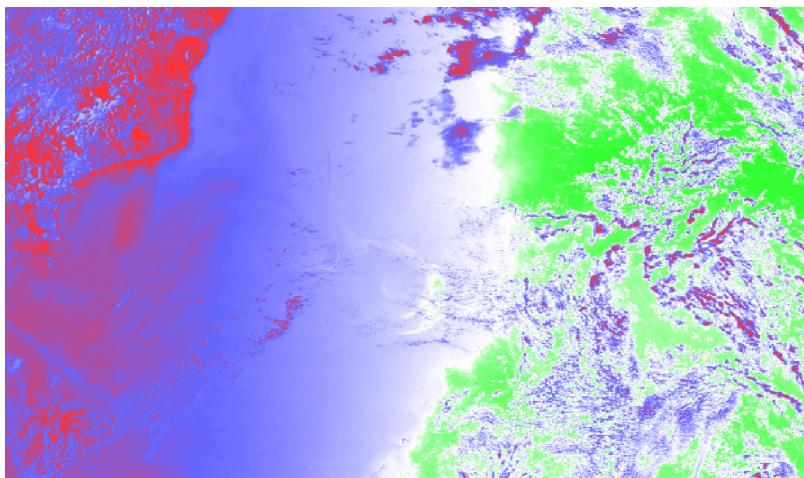


Рисунок 1. Фрагмент синтезированного изображения снимка от 12.11.2011 16.20 UTC вблизи Бразилии

При использовании индекса поглощения и процедуры колоризации стоит отметить, что, разлив нефти располагается по центру и имеет черный цвет, поверхность воды представлена в цветах от оранжевого до красного, земная поверхность от желтого до зеленого с вкраплениями черного и белого, облачность оранжевого цвета (рисунок 2).

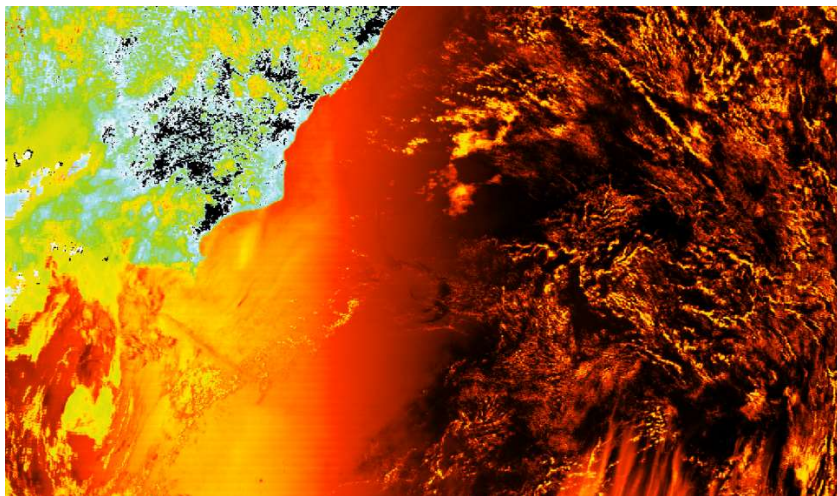


Рисунок 2. Фрагмент синтезированного изображения снимка от 12.11.2011 16.20 UTC вблизи Бразилии

Основываясь на предположениях: характеристики нефти меняются от дневного к ночному времени; шероховатость поверхности воды и морская пена влияют на спектральные свойства пятна, поскольку волны, ориентированные под зеркальным углом, отражают солнечную энергию; несмотря на более низкую эмиссию нефти по сравнению с водой, изменчивость реальной кинетической температуры воды может вызывать ложноположительные результаты в определении разлива нефти, был разработан индекс излучательной FEI (Fluorescent Emitting Index) способности, в частности, позволяя учитывать более высокий коэффициент отражения нефти в голубой длине волны (индуцированный как флуоресцентным, так и отраженным светом) и более низкой излучательной способности в области ближнего ИК:

$$FEI = \frac{\rho_{blue} - \varepsilon_{therm}}{\rho_{blue} + \varepsilon_{thermal}}$$

где ρ_{blue} – коэффициент отражения, вычисленный для спектральной полосы 0.459-0.479 нм., ε_{therm} – излучательная способность, вычисленная для спектральной полосы 10.780-11.280 нм.. FEI представляет собой нормализованный индекс со значениями от -1 до +1.

Согласно методу определения, разлив нефти располагается чуть ниже центра снимка и имеет бирюзовый цвет, от него шлейфом простираются потоки нефтяной эмульсии, поверхность земли имеет синий цвет, поверхность воды красный, переходящий в желтый цвет (рисунок 3).

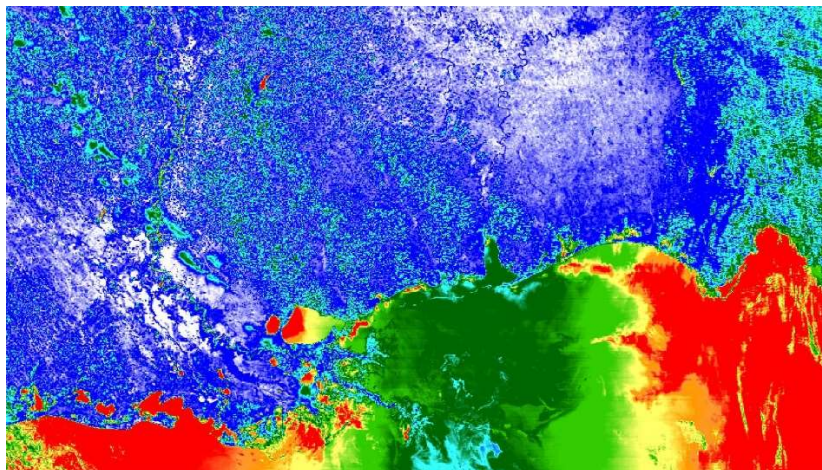


Рисунок 3. Фрагмент синтезированного изображения снимка от 25.04.2010 18:55 в Мексиканском заливе

Заключение

В результате проведенного анализа в работе использовалось несколько индексов флуоресценции которые показали, что использование каждого метода в отдельности не всегда дает достоверные результаты дешифрирования аварийных разливов нефти, ввиду различных природных условий и географического расположения региона разлива, а также при наличии или отсутствии солнечного блика на нефтяном пятне.

Параллельное использование всех методов является целесообразным для полноценной оценки произошедшего аварийного разлива нефти и наблюдения за его дальнейшей динамикой.

Применение предложенных методов тематической цифровой обработки спутниковых изображений для мониторинга разливов нефти позволит наиболее оперативно и своевременно оценивать масштабы нефтяных загрязнений и, соответственно, ликвидировать разливы особенно ввиду возможности автоматизации процесса обработки изображений.

В силу глобальности и высокой периодичности выполнения спутниковой съемки методы мониторинга нефтяных разливов, основанные на цифровой обработке снимков, особенно актуальны в отдаленных или труднодоступных регионах, таких как Арктика.

ПРОГНОЗЫ СТОКА РЕКИ ИЛИ ВЫШЕ И НИЖЕ КАПЧАГАЙСКОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ СКРЫТЫХ ГАРМОНИК В ЕГО КОЛЕБАНИЯХ С ДЛИНАМИ ПЕРИОДОВ В ДИАПАЗОНЕ 10 – 35 МЕСЯЦЕВ

А.В. Бабкин¹, В.И. Бабкин¹, А.С. Мадибеков², А. Мусакулкызы², А.В. Чередниченко³

¹Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

²Институт географии Министерства образования и науки, Алматы, Казахстан

³НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им “Аль-Фараби”, Алматы, Казахстан

FORECASTS OF RUNOFF OF ILI RIVER UPPER AND LOWER KAPCHAGAYSKAYA DAM TAKING INTO THE ACCOUNT THE HIDDEN HARMONICS IN ITS VARIATIONS WITH THE LENGTHS OF PERIODS IN THE DIAPASON OF 10 – 35 MONTHS

A.V. Babkin¹, V.I. Babkin¹, A.S. Madibekov², A. Mussakulkyzy², A.V. Cherednichenko³

¹State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

²Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan

³SRI problems of biology and biotechnology of the al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

Временные ряды месячных значений стока реки Или у постов, расположенных 164 км выше и 37 км ниже Капчагайской ГЭС проанализированы методом “Периодичностей”. По комбинациям повторяющейся последовательности средних месячных значений стока и синусоид с периодами, выявленными в его колебаниях выше и ниже плотины, рассчитаны его поверочные прогнозы. Оценка их результатов показала целесообразность использования при прогнозировании стока реки Или гармоник, периоды которых присутствуют в его временных рядах выше и ниже плотины.

The time series of monthly values of runoff of the Ili River of the posts located 164 km upper and 37 km lower than the Kapchagayskaya Dam were analyzed by the method of “Periodicities”. The training forecasts of the runoff were computed by the combinations of the repeating sequence of its mean monthly values and the sinusoids whose periods were revealed in its variations upper and lower the Dam. The estimation of their results confirms the expediency of application of the harmonics which periods are available in runoff time series as upper as lower the Dam for the prediction the runoff of Ili River.

Река Или, длина русла которой составляет 1440 км, начинается на территории КНР при слиянии рек Кунгес и Текес. На протяжении 815 км она протекает по территории Алма-Атинской области Республики Казахстан и впадает в озеро Балхаш. Река является крупнейшей в его бассейне, обеспечивая более 70% речного стока в озеро.

Часть притоков реки, стекающих с хребта Джунгарский Алатау, в настоящее время больше не доносят своих вод до нее. Эти воды теряются на испарение и разбираются на орошение, хозяйственные и коммунально-бытовые нужды населенных пунктов [1]. Начиная с середины прошлого века, сток реки Или в возрастающих объемах потребляется Китаем [2, 3].

В 1967 – 1970 гг. в среднем течении реки была построена Капчагайская ГЭС, у плотины которой сформировано водохранилище. Площадь его водной поверхности составляет 1847 км².

Водоохранилище используется в сфере рыбного хозяйства и туризма, а его воды забираются на нужды орошаемого земледелия [4].

Развитие подходов долгосрочного прогнозирования стока реки Или необходимо при планировании социально-экономического развития территорий, использующих ее воды. Дополнительную актуальность исследование колебаний и развитие методов прогнозирования стока этой реки получают в связи с современным потеплением климата, обуславливающим изменение притока вод к крупным водоохранилищам и замыкающим их ГЭС [5].

Регулярные наблюдения за стоком реки Или проводятся у постов, расположенных соответственно 164 км выше по течению Капчагайской плотины и 37 км ниже нее (урочище Капчагай). Оба временных ряда непрерывны за период 1971 – 1995 гг. В работе [6] ряды средних месячных значений стока у этих постов анализировались методом “Периодичностей” [7] на интервале времени 1971 – 1994 гг. Последние их 12 значений использовались для расчетов поверочных прогнозов и оценки их результатов на новом независимом материале.

Результаты прогнозирования на временном интервале оцениваются по числу оправдавшихся на нем прогнозов N и по его относительной ошибке dr . Помесячные прогнозы стока можно считать оправдавшимися, если разность его фактического и предсказанного значений не превышает допустимую ошибку прогнозирования $\Delta_{доп}$, которую часто принимают равной 0.674 от среднего квадратического отклонения временного ряда [8]. Относительная ошибка прогнозирования представляет собой отношение его средней квадратической ошибки к среднему квадратическому отклонению анализируемого ряда.

Средние значения стока реки Или у постов, расположенных соответственно 164 км выше и 37 км ниже плотины, оказались равными соответственно 13.88 км³/год и 12.39 км³/год, их средние квадратические отклонения – 7.46 км³/год и 3.39 км³/год. Величины $\Delta_{доп}$ у этих постов составили 5.03 км³/год и 2.69 км³/год.

Метод “Периодичностей” основан на аппроксимации временного ряда синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. Для каждого периода методом наименьших квадратов рассчитываются амплитуда, фаза наилучшей аппроксимирующей синусоиды, дополнительное слагаемое, около которого она колеблется, а также ее сумма квадратических разностей со значениями ряда.

У отдельных периодов в зависимости от периода аппроксимации отмечаются минимумы сумм квадратических разностей значений ряда и аппроксимирующей его синусоиды. Такой минимум может рассматриваться как признак присутствия здесь периодичности [9].

В работе [6] временные ряды стока реки Или у указанных постов анализировались посредством их аппроксимации синусоидами с периодами, большими по длине, чем 18 месяцев. Шаг изменения периода при анализе рядов брался 1 месяц. В колебаниях стока выше и ниже плотины установлены периоды той же длины – соответственно 25 и 35 месяцев. Капчагайская ГЭС и водоохранилище оказывают регулирующие влияние на сток реки так, что не все периоды, установленные в его колебаниях выше плотины, могут быть выявлены ниже нее. Но синусоиды, периоды которых выявлены в колебаниях стока и выше и ниже плотины могут рассматриваться как более достоверные и более обоснованные для их использования при прогнозировании стока, чем те, которые установлены только у одного из этих рядов.

В настоящем исследовании ряды стока реки Или соответственно выше и ниже Капчагайской плотины проанализированы методом “Периодичностей” в диапазоне длины периода от 10 до

20 месяцев. Шаг изменения периода принимался равным 0.5 месяца так, чтобы его значение было меньше, чем при аппроксимации рядов синусоидами с периодами в диапазоне их длин, большем 18 месяцев. Получено, что среди прочих периодов, минимумы сумм квадратических разностей с аппроксимирующими синусоидами отмечаются у обоих рядов у тех, длина которых составляет соответственно 10.5, 12, 13, 14 и 18.5 месяцев.

В таблицах 1 и 2 под символом I приводятся помесечные значения стока реки Или у соответствующих постов. Его прогнозы по различным схемам представлены под цифрами II – IX. В нижних строках этих таблиц указаны соответственно количество верных прогнозов и относительная ошибка прогнозирования по каждой использованной методике. При этом, в столбце I отображены результаты прогнозов стока по среднему значению его ряда.

В столбцах, обозначенных символом II, представлены соответственно прогнозы и оценка их результатов по синусоиде с периодом 12 месяцев. Под символом III приводятся данные прогнозов по повторяющейся последовательности средних за 1971 – 1994 гг. месячных значений стока. В столбцах IV – IX показаны те же сведения по прогнозам, составленным на основе объединения повторяющейся последовательности средних месячных значений стока, и синусоид, выявленных в обоих рядах, в порядке увеличения длины их периода. Объединение проводилось с учетом значений анализируемого ряда на основе методологии множественной корреляции [10].

Так, в столбце IV представлены результаты расчетов по комбинации повторяющейся последовательности средних месячных значений стока и синусоиды с периодом 10.5 месяцев, под символом VII – по комбинации этой последовательности и 10.5, 12, 13, 14 и 18.5 месячных синусоид. В столбце VIII при прогнозировании эта последовательность соответственно наряду с указанными гармониками коррелировалась с синусоидой с периодом 25 месяцев, а в IX столбце в коррелируемую группу добавлялась еще и 35 месячная синусоида.

Таблица 1. Прогнозы стока реки Или на 1995 г. у поста, расположенного 164 км выше Капчагайской плотины, км³/год

t, месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	7.28	5.83	7.36	7.28	7.49	6.93	7.20	6.96	6.21
2	7.59	7.10	7.17	7.44	7.61	6.77	6.75	6.36	5.42
3	9.51	10.18	10.50	11.02	11.09	10.11	9.79	9.29	8.19
4	7.69	14.26	11.69	12.31	12.28	11.37	10.80	10.20	8.98
5	6.65	18.23	15.00	15.49	15.37	14.69	13.93	13.27	11.96
6	10.40	21.04	22.41	22.58	22.38	22.04	21.16	20.49	19.12
7	22.37	21.93	27.35	27.15	26.90	26.97	26.09	25.44	24.06
8	16.07	20.66	22.37	21.89	21.68	22.21	21.45	20.87	19.51
9	8.66	17.57	12.77	12.19	12.07	12.98	12.43	11.97	10.68
10	8.03	13.50	10.62	10.11	10.09	11.14	10.84	10.52	9.34
11	8.38	9.52	10.35	10.09	10.18	11.14	11.13	10.96	9.93
12	7.43	6.72	8.92	9.00	9.18	9.88	10.15	10.15	9.32

<i>r</i>		0.764	0.848	0.850	0.850	0.856	0.859	0.862	0.872
<i>N</i>	3	7	9	9	9	9	9	10	10
<i>dr</i>	0.788	0.799	0.699	0.703	0.690	0.688	0.624	0.571	0.458

Таблица 2. Прогнозы стока реки Или на 1995 г. у поста, расположенного 37 км ниже Капчагайской плотины, км³/год

<i>t</i> , месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	13.77	8.92	9.64	9.46	10.11	9.87	10.45	10.28	10.16
2	13.86	9.56	8.66	8.67	9.09	8.70	9.23	8.92	8.69
3	13.77	10.97	10.24	10.43	10.50	10.02	10.43	10.00	9.65
4	11.18	12.75	11.63	11.94	11.64	11.17	11.42	10.88	10.43
5	14.08	14.44	15.81	16.11	15.47	15.08	15.14	14.53	13.98
6	14.84	15.58	16.06	16.28	15.49	15.28	15.15	14.51	13.88
7	14.18	15.86	16.14	16.18	15.40	15.42	15.11	14.48	13.78
8	14.14	15.22	15.54	15.40	14.81	15.05	14.59	14.02	13.27
9	8.47	13.81	12.44	12.16	11.92	12.35	11.81	11.34	10.56
10	7.09	12.03	11.05	10.73	10.88	11.40	10.82	10.47	9.71
11	9.04	10.34	11.08	10.82	11.30	11.80	11.25	11.05	10.32
12	10.99	9.20	10.40	10.30	11.02	11.39	10.95	10.89	10.23
<i>r</i>		0.618	0.660	0.663	0.676	0.682	0.690	0.698	0.711
<i>N</i>	9	7	7	7	7	6	7	7	9
<i>dr</i>	0.643	0.775	0.734	0.722	0.657	0.726	0.630	0.626	0.616

В строке, обозначенной символом *r*, приводятся расчеты корреляции каждой из прогностических моделей и соответствующего ряда. У обоих постов при добавлении в комбинацию повторяющейся последовательности средних месячных значений стока и выявленных синусоид каждой последующей гармоники корреляция этой прогностической модели и анализируемого ряда последовательно увеличивается.

Корреляция с рядом каждой из прогностических моделей стока выше плотины больше, чем у обозначенной тем же символом аналогичной схемы ниже нее. Это свидетельствует об определенном нарушении периодических колебаний стока реки Или ниже Капчагайской ГЭС из-за регулирующего влияния водохранилища и плотины.

Как и в работе [11], посвященной анализу, моделированию и прогнозированию внутригодовых колебаний стока рек юга Африки, у постов, расположенных выше Капчагайской ГЭС и ниже нее корреляция с рядом стока 12-месячной синусоиды несколько ниже корреляции с ним повторяющейся последовательности средних месячных значений стока. Результаты

прогнозирования по этой повторяющейся последовательности у этих рядов лучше, чем по синусоиде.

У временного ряда стока выше Капчагайской ГЭС результаты прогнозирования по синусоиде с периодом 12 месяцев и по среднему значению стока можно оценить, как примерно одного качества. По повторяющейся последовательности средних месячных значений прогноз стока получился лучше, чем по среднему значению ряда. Ниже плотины по среднему значению сток оказался предсказанным лучше, чем по 12 месячной синусоиде и по повторяющейся последовательности его средних месячных значений.

При добавлении в комбинацию повторяющейся последовательности средних месячных значений стока и выявленных синусоид последующей гармонике результаты поверочного прогнозирования, как правило, улучшались. Число оправдавшихся прогнозов не менялось, либо увеличивалось, относительная ошибка прогнозирования уменьшалась. Результаты прогнозов лишь несколько ухудшились при добавлении в соответствующую прогностическую схему синусоиды с периодом 10.5 месяцев выше плотины и 14 месяцев ниже нее.

В итоге, прогнозы стока реки Или у постов, расположенных 164 км выше Капчагайской ГЭС и 37 км ниже нее по соответствующим комбинациям повторяющихся последовательностей средних месячных значений стока, рассчитанных за 1971 – 1994 гг., и синусоид с периодами 10.5, 13, 14, 18.5, 25 и 35 месяцев оказались лучше, чем по средним значениям соответствующих рядов. Они также получились лучше, чем только по повторяющимся последовательностям средних месячных значений стока.

Таким образом, при прогнозировании стока реки Или целесообразно использовать гармонике, периоды которых выявлены в его колебаниях выше и ниже Капчагайской ГЭС.

Литература

1. Абишев И.А., Медеу А.А., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана и их использование // Материалы международной научно-практической конференции “Водные ресурсы Центральной Азии и их использование”. Алматы: Институт географии, 2016. Кн. 1. С. 9–18.
2. Достай Ж.Д., Турсунова А.А. Проблемы казахско-китайских межгосударственных водных отношений: оценка состояния и пути решения // Днепрпетровский научный вестник. 2010. №1(104). С. 40–50.
3. Медеу А.А., Мальковский И.М. Толеубаева Л.С., Алимкулов С.К. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы устойчивого водообеспечения. Алматы: Нурай Принт Сервис, 2015. 582 с.
4. Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. Алматы: Print-S, 2009. 236 с.
5. Фролов А.В., Георгиевский В.Ю. Изменения водных ресурсов в условиях потепления климата и их влияние на приток к крупным водохранилищам России // Метеорология и гидрология. 2018. №6. С. 67–76.
6. Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В. Прогнозирование стока реки Или выше и ниже Капчагайской плотины по месяцам и на год // Труды II Всероссийской конференции “Гидрометеорология и экология”. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. С. 63–66.
7. Бабкин А.В. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2005. № 11. С. 63–73.
8. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 419 с.
9. Бабкин А.В., Семейкин Н.И. Многолетние колебания и долгосрочное прогнозирование годового стока р. Нева // Изв. РГО. 2014. Т.146. № 1. С. 43–48.

10. Романовский В. Математическая статистика. Москва–Ленинград: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1938. 528 с.

11. Бабкин А.В., Бутчарт-Кульманн Д., Раинчик С.Е. Внутригодовые колебания и прогнозирование месячных значений стока рек Южноафриканского региона // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 47. С. 25–34.

РОЛЬ ВОДНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ТВЕРДЫХ ПЛАВУЧИХ ПРИМЕСЕЙ В ОКЕАНЕ

Г.И. Мазуров, В.И. Акселевич

ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

ROLE OF WATER AND AIR FLOWS IN REDISTRIBUTION OF SOLID FLOATING IMPURITIES IN THE OCEAN

G.I. Mazurov, V.I. Akselevich

GGO named by A.I. Voeikov, St. Petersburg, Russia

В статье показаны схемы подводных и поверхностных водных течений, их влияние на перераспределение плавающих твердых примесей в океане, а также влияние воздушных течений. Приводятся примерные схемы таких перемещений за 15 лет и случаи нахождения закупоренных бутылок с письмами, которые выбросили в 1886 году через 132 года в рамках научного эксперимента Германской морской обсерватории.

The article shows the patterns of underwater and surface water currents, their effect on the redistribution of floating solid impurities in the ocean, as well as the effect of air currents. Approximate schemes of such movements over 15 years and cases of finding blocked bottles with letters that were thrown out in 1886 after 132 years as part of a scientific experiment at the German Sea Observatory are given.

23 сентября 2019 года в Нью-Йорке состоялся Саммит Организации Объединенных Наций по мерам в области изменения климата. Он придал новый импульс действиям в области изменения климата и загрязнения окружающей среды. Саммит стал свидетельством растущего признания необходимости незамедлительно ускорить темпы принятия мер по противодействию загрязнению планеты и изменению климата. В целях уменьшения загрязнения океана и его прибрежных вод, ряд стран, в том числе Франция и Новая Зеландия, объявили о запрете на разработку новых нефтяных и газовых месторождений на своих территориях и прибрежных водах.

В рамках Саммита были разработаны инициативы, обеспечивающие справедливый охват принимаемыми мерами всех людей, защиту наиболее уязвимых слоев населения, а также новые инициативы в области адаптации к изменению климата, которые должны обеспечить защиту от воздействий изменения климата более чем 500 миллионов человек [1].

Загрязнение окружающей среды и, в частности мирового океана зависит от количества и объема выбросов, их химического состава, пространственно-временных характеристик и растворимости примесей. Реки и ручейки, впадающие в океаны, приносят в них громадное количество плавающего мусора различных размеров с территории континентов. Это составляет примерно 80 % всего его количества. Остальные 20 % мусора выбрасывается с курсирующих морских кораблей и судов. Перераспределение этих примесей по поверхности океанов определяется горизонтальными и вертикальными потоками воды, а также под влиянием воздушных потоков в придном слое. Загрязнение океана, находящееся на разделе двух сред: водной и воздушной, будет зависеть от взаимодействия этих сред. Известно, что на поверхности раздела двух сред, перемещающихся с различной скоростью, возникают волны. Вершины волн подвержены влиянию воздушных потоков. В океанах различают в глобальном масштабе

глубинные течения, возникающие за счет погружения более плотной воды (повышенной солености и более холодной) и поверхностных течений, формирующихся из менее плотной воды, которая имеет меньшую соленость и является более теплой (рис. 1). Кроме перечисленных 2-х типов течений, создающих «большой океанический конвейер», можно выделить очень тонкий слой воды (вершины волн), перемещающийся под влиянием ветра (сверхтонкое поверхностное течение). Это подтвердили последние экспериментальные исследования [2].

Все это говорит об актуальности рассматриваемых в докладе вопросов. Известно, что плотность воды зависит от ее солености, температуры, поскольку самая плотная вода наблюдается при температуре + 4 °С [2].

Таким образом, наблюдающееся в настоящее время таяние материковых льдов и ледников приводит к уменьшению плотности воды, так как она становится менее соленой, но более холодной. Различные растворимые примеси также изменяют ее плотность. Растворение и поглощение газов уменьшает плотность (ρ) воды, а плотных веществ приводит к увеличению ее плотности. Взаимодействие этих различных плотностей определяет глубину перемещения различных течений (Рис. 1). Плотность воды может изменяться под влиянием перечисленных факторов.

Из загрязнителей типа пластика различного размера (от 1 до 30-50 см) под влиянием поверхностных течений и ветра, достаточно устойчивых в климатическом плане, образуются острова и даже целые «материки мусора». В то же время отдельные предметы, имеющие размеры 30-50 см и даже корабли, выступающие за счет плавучести над поверхностью воды, обладают парусностью и на их перемещение оказывает влияние и приводный ветер.



Рис.1 Изменение плотности морской воды в зависимости от ее температуры и солености.

До недавнего времени предполагалось, что перемешивание толщи океана осуществляется благодаря перемещению «воды на большую глубину, а в ряде других мест в Мировом океане поднятию её к «большому океаническому конвейеру» — системе течений, которые в Северной Атлантике уносят массу находящейся у поверхности воды [3]. Исследования последнего времени [4] показывают, что данная схема крайне упрощает реальную ситуацию, а главное — не выявляет механизмов, обеспечивающих работу конвейера.

Уже в конце XVIII века на основании единственного измерения температуры воды на большой глубине англо-американский физик Бенджамин Томпсон (Benjamin Thompson), известный также как граф Румфорд (Count Rumford), предположил, что в океане существует крупномасштабное вертикальное перемешивание. Происходит оно за счёт того, что в высоких широтах, вода «из-за холодных ветров лишается значительной части своего тепла», опускается вниз на большую глубину и движется в сторону экватора. На поверхности же возникают компенсирующие течения, направленные в сторону высоких широт [5]. Удивительно, но идея Томпсона оказалась правильной, хотя конечно, позже, уже в XX веке, появилось множество данных, позволивших нарисовать гораздо более детальную и сложную картину.

В 1950-х годах большой вклад в развитие представлений о крупномасштабном перемешивании океана внёс американский океанограф Генри Стоммел (Henry Stommel). Основная заслуга Стоммела в том, что он показал, как могут быть связаны между собой крупные океанические течения, в том числе глубоководные. Согласно его модели в высоких широтах, в двух местах — в северной Атлантике и около Антарктиды, есть сравнительно небольшие области, где вода, находившаяся у поверхности («проветрированная»), опускается вниз, на большую глубину, и начинает двигаться в сторону экватора, вступая в контакт с так называемыми «пограничными западными течениями» [6]. Эти отдавшие тепло воды заполняют глубинную часть океана, но в конце концов во многих разных местах поднимаются к поверхности. При этом на промежуточной глубине возникают компенсирующие «внутренние течения», направленные к полюсам. Таким способом и осуществляется перемешивание всей водной толщи.

Четверть века спустя схема Стоммела получила развитие в работах Уоллеса Брокера (Wallace Smith Broecker) [7], предположившего, что изменения режима перемешивания океана могут быть тесно связаны с резкими изменениями климата. Ключевая роль при этом принадлежит процессам, происходящим в Северной Атлантике, куда от экватора на промежуточной глубине (около 800 м) движутся воды, имеющие довольно высокую солёность. Этот мощнейший поток (количество переносимой за год воды в 100 раз больше годового стока Амазонки) примерно на широте Исландии поднимается к поверхности, наблюдающиеся здесь ветры сгоняют поверхностную воду и сильно охлаждают воды, пришедшие от экватора и поднявшиеся к поверхности (в зимнее время с температурой 10° - 2°С). Отдаваемое этими водами тепло определяет необычайную мягкость зим на северо-западе Европы. Охлажденная и вследствие этого значительно «потяжелевшая» вода «тонет» — опускается вниз, на этот раз до самого дна, где начинает свой длинный путь по глубинам океана. Эта, так называемая «Северо-Атлантическая глубинная вода» (NADW — North Atlantic Deep Water), двигаясь в южном направлении, пересекает экватор и, достигнув в южном полушарии широты 30–40°, поворачивает на восток, где сливается с глубинным течением, окружающим Антарктиду. Затем даёт ответвление на север в Индийском океане и продолжает путь в широтном направлении до Тихого океана, где поворачивает на север. Таким образом и формируется получившая широкую

популярность «петля Брокера» или «большой океанический конвейер». Основной движитель конвейера — термохалинный механизм, работающий в Северной Атлантике.

Неприятная авария в океане позволила выявить сверхтонкое поверхностное течение.

10 января 1992 года контейнеровоз Ever Laurel, шедший из Гонконга в Такому (США), попал в Тихом океане в ураган. В точке с координатами 44,7° с.ш., 178,1° в.д. двенадцать контейнеров смыло за борт. В одном из контейнеров, оказавшихся за бортом, находилась партия изготовленных в Китае пластмассовых игрушек компании The First Years Inc. — 7200 упаковок, в каждой из которых находился набор из четырёх полых фигурок животных для ванн (жёлтый утёнок, зелёная лягушка, красный бобёр и синяя черепаха), каждый длиной примерно три дюйма [7]. Через несколько часов упаковки расклеились, в результате чего 28800 игрушек оказались в воде, начав своё многолетнее путешествие по мировому океану под влиянием сверхтонкого поверхностного течения (вершин волн) и ветра в приводном слое. Дело в том, что игрушки очень легкие и погружались в воду всего на 1-2 см, а над водой выступало 5-6 см, которые подвергались воздействию ветра. В целенаправленных экспериментах, проводимых в 1970-х г.г. океанологом-метеорологом Р. Абрамовым [8], перед выбрасыванием за борт в бутылки засыпался песок, который способствовал погружению большей ее части и она перемещалась в основном под влиянием слоя воды толщиной 15-20 см. В итоге траектория их перемещения отличалась от траектории игрушек.

Спустя десять месяцев, в ноябре 1992 года, первые утята были найдены искателями мусора, который волны выносят на побережье, у берегов Аляски в районе Ситки, что составляет около 3,2 тыс. км от места крушения. Их также находили на острове Крузов [7], севернее на острове Каяк и южнее на острове Коронации [7].

К августу 1993 года на восточном берегу залива Аляска было обнаружено около 400 игрушек, что составило уже 1,4 % от исходного количества. Океанологи использовали данные о перемещении игрушек для изучения морских поверхностных течений. Путешествие пластмассовых изделий по морю неоднократно освещалось в СМИ [7, 9].

Пластмассовые игрушки сыграли роль меченых атомов, так как, благодаря своему малому погружению в воду и большой парусности, копировали перемещение очень тонкого слоя воды на вершине волн (сверхтонкое поверхностное течение, перемещающееся под влиянием ветра).

В 2003 году утята были замечены на северо-восточном побережье США в штате Мэн [7].

Ещё одна часть утят была отнесена Северо-Тихоокеанским течением южнее от места крушения и достигла берегов Индонезии, Австралии и Южной Америки [10]. Удивительно, что они побывали в Северном Ледовитом океане и пересекли узкий Берингов пролив.

Надо полагать, что выявленное ими сверхтонкое поверхностное течение вряд ли окажет влияние на изменение глобального климата планеты, а вот изменение положения мощных глубинных и поверхностных течений может к этому привести.

Остановка или нарушение планетарного «большого океанического конвейера» чревата сильным похолоданием в Европе. Такая возможность в принципе существует, причем инициирует её, как ни странно, общее потепление климата. Дело в том, что в случае потепления и вызванного им таяния ледников, прежде всего покрывающих Гренландию, талые воды поступают в океан, где могут вызвать сильное опреснение поверхностного слоя воды в океане. А происходит это как раз там, где пришедшие от экватора воды опускаются вниз. Если плотность

воды понизится (а это происходит при опреснении), она просто перестаёт «тонуть» и приводит тем самым в движение весь планетарный конвейер.

Хотя схема Стоммела—Брокера получила большую известность и часто рассматривается как базовая, по мере накопления эмпирических данных ряд её положений в последнее время подвергался серьёзной критике и уточнению.

Так, случайный натуральный эксперимент с пластмассовыми игрушками позволил выявить сверхтонкое поверхностное течение. Безусловно оно по своей массе и мощности не соизмеримо с глубинным и поверхностным течениями, однако может оказывать влияние на локальный климат. Кроме того, в марте 2018 года через 132 года была найдена на западном побережье Австралии бутылка, выброшенная в рамках научного эксперимента Германской морской обсерватории в 1886 году в Индийский океан [11].

Таким образом, воздушные и водные течения оказывают существенное влияние на процесс перераспределения примесей и формирования их скопления в акваториях морей и океанов. В основном это пластиковый мусор, который не разлагается по 100-1000 лет и плавает на поверхности. Он оказывает отрицательное влияние на флору и фауну планеты, а также может помочь разгадать тайны глобального преобразования атмосферных и гидросферных процессов на планете Земля, формирующих глобальный климат.

Литература

1. https://www.un.org/ru/climatechange/assets/pdf/cas_closing_release_rus.pdf
2. Баранов Г.И. Неизвестное о климате открывает океан. СПб.: 2018. – 298 с.
3. Мазуров Г.И., Акселевич В.И. Взаимодействие авиации и геосфер Земли. // Метеоспектр. № 1. – 2017. – С. 67 71.
4. Русин И.Н. Основы учения об атмосфере. СПб.: 2018 – 271 с.
5. The Project Gutenberg Etext of Essays, Political, etc. Vol. 1 by Benjamin Rumford August, 1997 [Etext #1025]
6. Акселевич В.И., Мазуров Г.И. Использование вычислительной техники и информационных технологий в науках о Земле. Инфо-да. – 2010. – 302 с.
7. Keith C. Heidorn, Of Shoes And Ships And Rubber Ducks And A Message In A Bottle, The Weather Doctor (17 March 1999)
8. <http://www.itogi.ru/archive/2004/36/75461.html>
9. Jane Standley, 'Ducks' odyssey nears end, *BBC News*, (12 July 2003)
10. https://ru.wikipedia.org/wiki/Friendly_Floatees
11. Cheung, Helier. Oldest message in a bottle found on Western Australia beach, *BBC* (6 марта 2018). Дата обращения 7 марта 2018.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА КАРСКОГО МОРЯ

С.В. Молодыхина^{1,2}, Р.И. Май³,

¹Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия;

³Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия

STOCHASTIC SIMULATION OF SPATIAL-TEMPORARY VARIABILITY OF THE ICE COVER OF THE KAR SEA

S.V. Molodyhina^{1,2}, R.I. May³

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia;

³Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

В статье описывается опыт стохастического моделирования ледяного покрова с использованием цепей Маркова. Для обеспечения связанности изменения сплоченности по пространству предложен подход, основанный на интерполяции случайных чисел, сгенерированных в узлах неравномерной сетки. Положение узлов сетки определяется в зависимости от радиуса корреляции изменения сплоченности.

The paper describes the experience of stochastic simulation of the ice cover by using Markov chains. An approach based on interpolation of random numbers generated at nodes of an irregular grid is proposed to ensure the coherence of spatial cohesion. The position of the grid nodes is determined depending on the correlation radius of sea ice concentration variability.

Введение

Динамика погодной и особенно ледовой обстановки, играет важнейшую роль и выступает основным входным сигналом в различных задачах стратегического и оперативного анализа арктических транспортных систем: автоматическая маршрутизация судов во льдах [1-2], имитационное моделирование [3], типизация ледовых условий [4]. Перечисленные проблемы требуют задания длительных ансамблей состояний ледяного покрова, длина которых должна существенно превышать продолжительность фактических наблюдений. Для решения этой задачи традиционно применяется метод стохастического моделирования. При этом особенностью генератора сценариев ледяного покрова по сравнению с «одноточечными» генераторами погоды [5] является необходимость учета не только временной, но и пространственной корреляции определяющих характеристик.

Исходные данные

Для создания стохастического генератора анализировались данные о сплоченности ледяного покрова проекта OSI SAF (osisaf.met.no) [6]. Данные о сплоченности получены в результате автоматизированной обработки спутниковых снимков в микроволновом диапазоне. Данные OSI SAF представлены в узлах регулярной сетки с шагом 10 км и суточной дискретностью.

Пространственно-временная связанность полей сплоченности

Для оценки связанности ледяного покрова по пространству и времени по данным проекта OSI SAF для каждого месяца определены интервал и радиус корреляции (Рис. 1). Радиус корреляции показывает пространственные масштабы области, где параметры синхронно меняются во времени. Интервал корреляции показывает, на каком отрезке времени сохраняется временная взаимосвязь протекающего процесса. Мы использовали следующий метод оценки радиуса корреляции. В каждой ячейке сеточной области проводился расчет коэффициента корреляции между временным рядом сплоченности в этой ячейке с рядами в ячейках, отстоящих от рассматриваемой ячейки на расстояние l . Количество рядов (количество ячеек), с которыми сравнивается ряд в центральной ячейке, увеличивается с увеличением l . При достижении среднего значения из набора коэффициентов корреляции равной ϵ , значение l записывалось в матрицу значений радиуса корреляции. Интервал корреляции определялся как сдвиг во времени,

при котором нормированная автокорреляционная функция пересекает значение ε . Для оценки как радиуса, так и интервала корреляции мы приняли $\varepsilon = 0,7$.

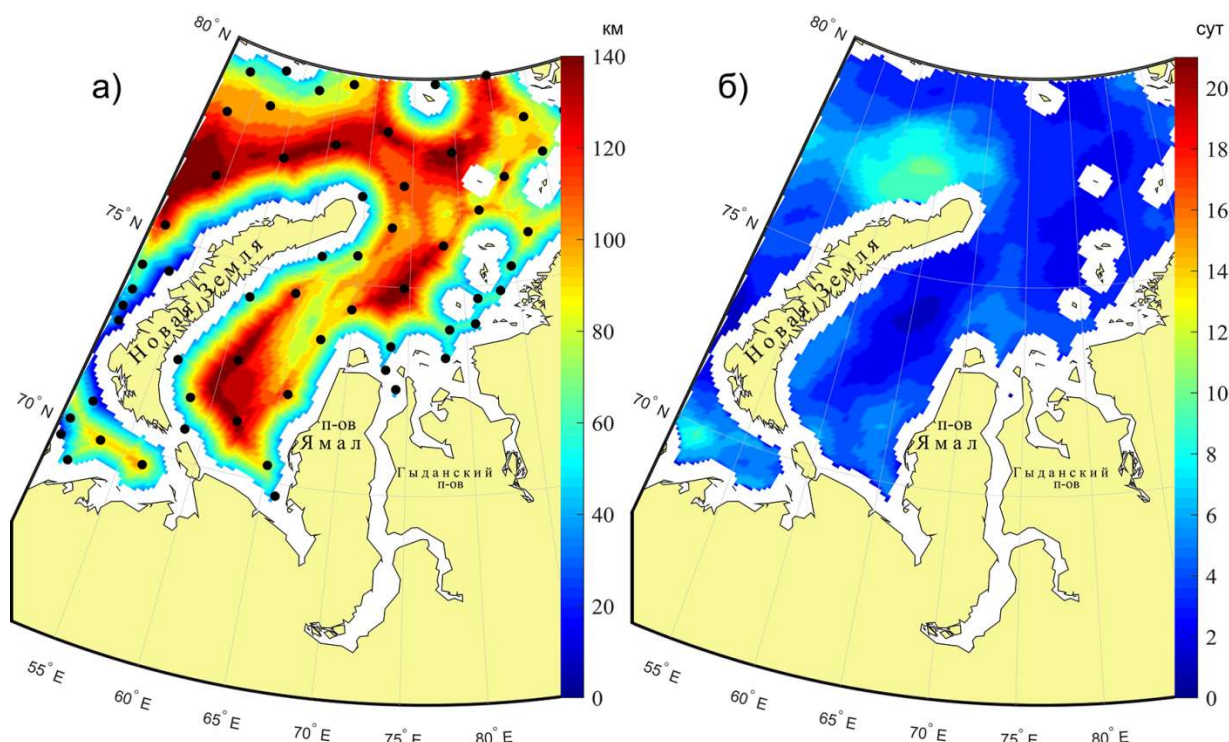


Рис.1. Параметры пространственно-временной инертности изменения сплоченности в Карском море для мая по данным проекта OSI SAF: а) радиус корреляции (км), б) интервал корреляции (сутки), точками показаны узлы нерегулярной сетки, созданной по значениям радиуса корреляции.

Как видно из рисунка 1а, корреляция между ячейками прослеживается на расстоянии до 140 км (или 14 ячеек сеточной области). Можно отметить, что в центральных районах акватории, удаленных от береговой линии, радиус корреляции имеет большее значение. Это можно объяснить тем, что в прибрежной части наблюдается существенная динамика кромки льда (образование и закрытие полыней) и сильная изменчивость сплоченности. На наш взгляд, интервал корреляции можно интерпретировать как параметр, оценивающий временную инерцию или изменчивость рядов сплоченности. Как видно из рисунка 1б, нормированная автокорреляционная функция достигает значения 0,7, на большей части рассматриваемой акватории на сдвигах менее, чем 2 недели.

Стохастический генератор ледяного покрова

Вероятностные модели получения синтетических метеорологических параметров получили общее название «генератор погоды» [7, 8]. По аналогии, комплекс процедур, воспроизводящих искусственные параметры льда, мы можем назвать «генератор ледяного покрова» [5, 9].

Схема Бернулли. На первом этапе были оценены математическое ожидание, дисперсия, функции распределения вероятностей (Рис 2а), автокорреляционные функции временных рядов изменения сплоченности в каждой ячейке сеточной области. При этом для учета сезонного хода параметров льда, временные ряды были разбиты по месяцам. На основе этих данных можно воспроизводить изменение сплоченности: генератором случайных чисел для каждой ячейки и каждого момента времени задается случайная вероятность, по которой, используя функции распределения вероятностей (Рис 2а), определяется квантиль (значение сплоченности). Такие значения не связаны ни по пространству, ни по времени. Этот метод не подходит для имитации характеристик состояния ледяного покрова (Рис 3а).

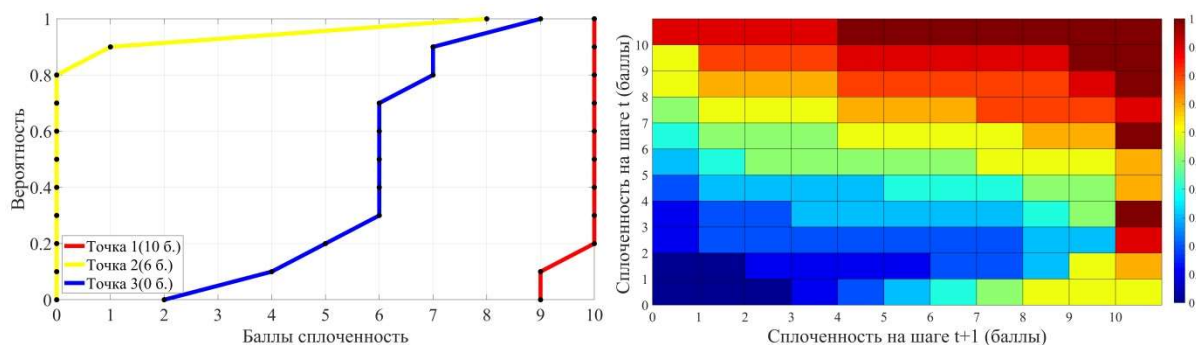


Рис. 2 Примеры функции распределения вероятностей: (а) эмпирические функции распределения вероятностей для трех точек с разной средней сплочённостью, (б) графическое представление матрицы переходных вероятностей изменения сплоченности.

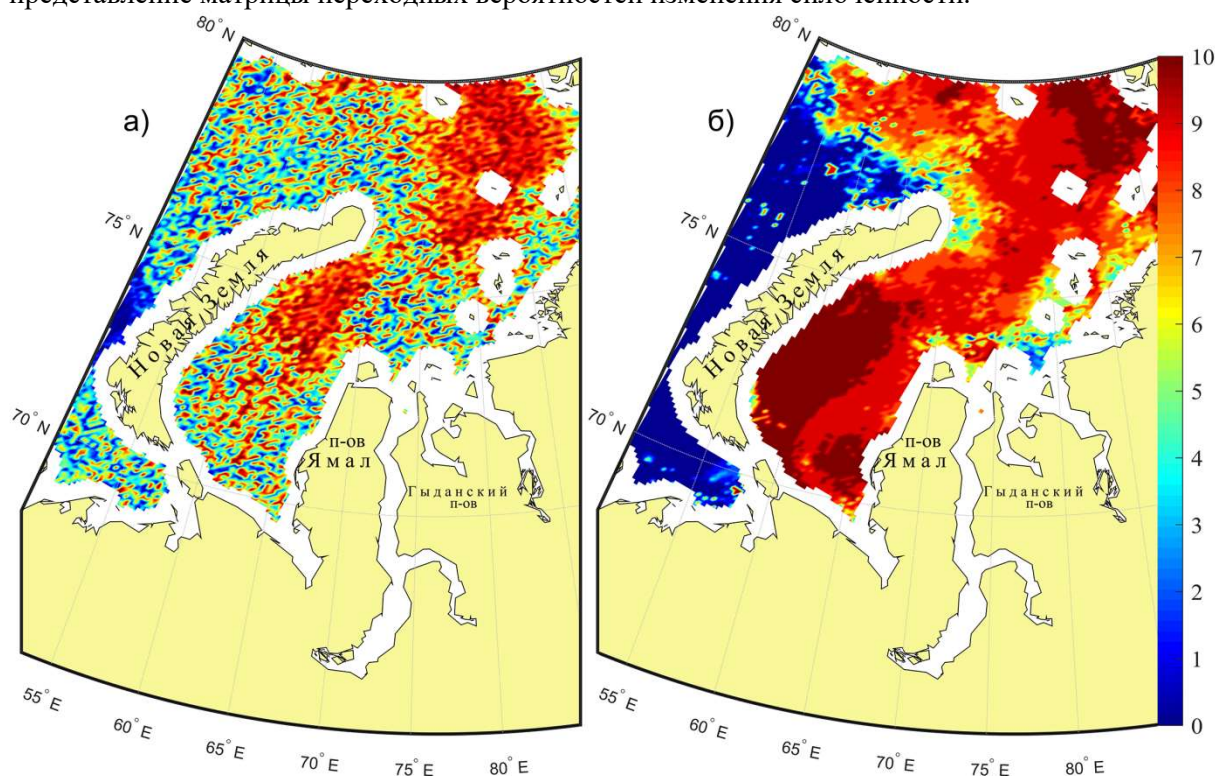


Рис.3 Пример мгновенных полей сплоченности (баллы) для мая, воспроизведенных стохастическим генератором по схеме Бернулли (а) и с использованием цепей Маркова (б).

Цепи Маркова. Временную связанность может обеспечить применение цепей Маркова, которые позволяют учесть вероятности перехода между различными состояниями во времени. Для каждой ячейки сетки рассчитывались матрицы переходных вероятностей (Рис. 2б). Каждую строку такой матрицы можно представить в виде функции распределения условных вероятностей. Стохастическое моделирование с помощью цепей Маркова выполняется путем повторения следующих шагов: 1) по значению начальной сплочённости выбирается строка матрицы переходных вероятностей, 2) выбранная строка матрицы переходных вероятностей трансформируется в функцию распределения условных вероятностей, 3) генератором случайных чисел определяется значение вероятности, 4) по функции распределения условной вероятности определяется квантиль, который представляет собой сплоченность на следующий временной шаг. Далее шаги 1-4 повторяются заданное количество раз.

Описанный алгоритм связывает значения только по времени. Для обеспечения связанности значений, как по времени, так и по пространству, мы предлагаем использовать следующий подход. Реализуется тот же алгоритм из 4 действий, только в п.3 вместо генератора случайных чисел, в каждой ячейке сетки задается пространственно связанное поле вероятностей. Это поле вероятностей находится следующим образом. Создается нерегулярная сетка, узлы которой,

располагаются в пространстве в зависимости от значений радиуса корреляции (Рис. 1а). В узлах нерегулярной сетки генератором случайных чисел на каждый временной шаг задаются случайные значения, равномерно распределённые от 0 до 1. Эти значения интерполируются в ячейки матрицы стохастического генератора. Таким образом, на каждый временной шаг модели создается пространственно связанное поле случайной вероятности. Значения этого поля случайных вероятностей используются для определения квантиля в п. 4. Представленный алгоритм дает возможность реализовать связанные по пространству и времени поля сплоченности (Рис. 3б)

Результаты

Основное требование, предъявляемое к результатам стохастического моделирования, – совпадение статистических параметров результатов моделирования и наблюдений за природной обстановкой. Оценка математического ожидания и дисперсии сплочённости льда исходных данных проекта OSI SAF хорошо совпадают с аналогичными параметрами, рассчитанными по стохастическим моделям. Причем, приемлемые результаты показали даже результаты моделирования по схеме Бернулли, где сплоченность не связана ни по пространству, ни по времени. Сравнение автокорреляционных функций результатов моделирования с автокорреляционными функциями показало приемлемые результаты только для моделирования с помощью цепей Маркова.

Заключение

Опыт, описанный в данной работе, показал, что для придания пространственной и временной связанности в закономерности распределения ледяного покрова целесообразно использовать стохастическую модель, основанную на цепях Маркова. Следует отметить, что в природе в изменении сплоченности Карского моря отмечаются выраженные детерминистические связи, как например: оппозиционная тенденция изменения сплочённости на противоположенных берегах моря; образование и закрытие полыней, вызванных воздействием ветра. Это явление в описанной модели может быть учтено с помощью дополнительных регрессионных соотношений между векторной величиной (ветер) и скалярной величиной (сплочённость).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 17-79-20162).

Литература

1. Topaj, A.G., Tarovik, O.V., Bakharev, A.A., Kondratenko A.A. Optimal ice routing of a ship with icebreaker assistance" Applied Ocean Research. 86. 2019, 177-187 pp.
2. May R.I., Fedyakov V.E., Frolov S.V., Tarovik O.V., Topaj A.G. Method to optimize ship route in ice-covered waters based on vector polygons: Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference. Honolulu, Hawaii, USA, June 16-21, 2019. 878-885
3. Таровик О.В., Топаж А.Г., Крестьянцев А.Б., Кондратенко А.А., Зайкин Д.А. Комплексная имитационная модель морской транспортно-технологической системы платформы «Приразломная». Арктика: экология и экономика, 2017, № 3 (27), с. 86-102
4. May, R.I., Rubchenia, A.V., Smolyanitskiy, V.M., Tarovik, O.V. (2018) Typification of sea ice conditions in the Arctic based on voyage times of ships on optimized routes. Proc. of 18 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 515-528
5. Май Р.И., Таровик О.В., Топаж А.Г. Моделирование морской погоды как входного сигнала имитационных моделей транспортных и экологических систем в арктическом регионе. Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. 2018. Т. XXIX. № 3. С. 20-38.
6. Tonboe R., Lavelle J., Pfeiffer R.-H., Howe E. Product User Manual for OSI SAF Global Sea Ice Concentration. Ocean & Sea Ice SAF. 2017. 25
7. Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на Европейской территории России. Лёд и Снег. 2014;54(2):44-52
8. Richardson C.W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. Water Resources Research. 1981, 17: 182-190.
9. Молодыхина С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Стохастический генератор полей характеристик ледяного покрова. Моря России: фундаментальные и прикладные исследования. Тезисы всероссийской научной конференции. Севастополь, 23-28 сентября 2019. 248-250.
9. Молодыхина С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Стохастический генератор полей характеристик ледяного покрова. Моря России: фундаментальные и прикладные исследования. Тезисы всероссийской научной конференции. Севастополь, 23-28 сентября 2019. 248-250

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В РЕЧНОМ СТОКЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ВЕЛИКАЯ)

М.А. Макарова, В.А. Шелутко

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

METHOD FOR EVALUATING THE MAXIMUM VALUES OF CONCENTRATIONS OF NUTRIENTS IN THE RIVER RUNOFF (ON THE EXAMPLE OF THE VELIKAYA RIVER)

M.A. Makarova, V.A. Shelutko

Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

Представлены результаты анализа максимальных значений концентраций биогенных веществ в стоке реки Великая. Выявлено наличие 14 значений, нехарактерных для исходных выборок. Показано, что учет особенностей исходной гидрохимической информации может существенно исказить результаты исследования.

This work presents the results of the analysis of the maximum concentrations of nutrients in the runoff of the Velikaya River. The presence of 14 values uncharacteristic of the original samples was revealed. It is shown that the neglect of the features of the initial hydrochemical information can significantly distort the research results.

Введение

В последние десятилетия наблюдается резкое усиление антропогенной нагрузки на водоемы и водотоки, что связано, прежде всего, с ростом городов, развитием промышленности и сельского хозяйства. Промышленные, сельскохозяйственные и хозяйственно-бытовые сточные воды, попадая в водные объекты, вызывают антропогенные изменения их экологического состояния. К числу таких изменений можно отнести разрушение структурно-функциональной организации водных экосистем, снижение их устойчивости и ухудшение качества воды, определяющее водохозяйственный и рыбохозяйственный потенциалы водных объектов.

Геоэкологические исследования по определению антропогенной нагрузки на водные объекты во многом опираются на данные гидрохимических наблюдений. Чаще всего для анализа экологического состояния используются средние годовые концентрации содержащихся в воде веществ. При этом обычно в исследованиях загрязненности рек с высокой антропогенной нагрузкой наибольшее внимание уделяется анализу осредненных значений показателей экологического состояния окружающей среды. Однако возможные отклонения значений показателей от средней величины либо вовсе не учитываются, либо учитываются в недостаточной мере [1]. Между тем в ряде случаев именно эти отклонения определяют возможные экстремальные значения и должны представлять больший интерес при решении прикладных экологических задач.

Для получения достоверных результатов и принятия рациональных и экологически значимых управленческих решений необходимо проводить предварительный анализ исходной гидрохимической информации. Учесть особенности имеющихся данных можно при помощи методов их статистической обработки.

С учетом всего вышесказанного, можно отметить, что изучение методов выявления и оценки значимости экстремальных значений концентраций или так называемых «выбросов», очевидно, является важным в практике статистического анализа.

В этой связи целью данной работы является анализ максимальных значений концентраций в стоке биогенных веществ по реке Великая.

Исходные материалы и методы

В качестве исходных материалов использованы многолетние данные наблюдений за концентрациями азота нитратного (NO_3^-), азота аммонийного (NH_4^+), общего железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$), а также показателем биохимического потребления кислорода за 5 суток (БПК_5) за период с 1969 по 2009 годы.

В рамках исследования были выбраны многолетние ряды наблюдений за гидрохимическим режимом, полученные в трех стационарных пунктах наблюдательной сети Росгидромета, располагающихся в непосредственной близости к городам Опочка, Остров и Псков. Данные

предоставлены Северо-Западным Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС).

В работе используются методы статистической обработки данных, основанные на получении обобщающих статистических показателей динамики стока биогенов.

Для обработки данных применялись такие пакеты прикладных программ, как Excel 2007, StokStat 2.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Современные методы статистического анализа эмпирических данных основываются на теоретическом предположении, что временные ряды измеренных значений концентраций описываются математической моделью в виде случайной величины. При изучении случайных величин важную роль играют их числовые характеристики, которые позволяют в сжатой форме отразить те или иные особенности рассматриваемого процесса.

В этой связи первым этапом исследования стал анализ параметров распределения исходных рядов наблюдения. Расчет числовых характеристик был проведен методом моментов, как наиболее теоретически обоснованным и не требующим знания закона распределения. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценки числовых характеристик концентраций биогенных веществ в воде (мг/дм³) по исходным рядам наблюдения

Пункт	Биоген	Створ	Оценки					ПДК мг/дм ³
			m_x	СКО	C_v	C_s	C_s/C_v	
Опочка	NH ₄ ⁺	Верхний	0,11	0,15	1,36	1,87	1,38	0,4
		Нижний	0,12	0,15	1,26	1,63	1,29	
	БПК ₅	Верхний	1,75	0,83	0,48	0,51	1,06	2,1
		Нижний	2,13	1,32	0,62	3,61	5,82	
	Fe _{общ}	Верхний	0,10	0,10	1,00	1,88	1,88	0,1
		Нижний	0,10	0,09	0,89	1,21	1,36	
	NO ₃ ⁻	Верхний	0,32	0,29	0,90	1,59	1,77	9
		Нижний	0,38	0,33	0,87	1,32	1,52	
Остров	NH ₄ ⁺	Верхний	0,17	0,28	1,65	2,65	1,61	0,4
		Нижний	0,19	0,28	1,50	2,02	1,35	
	БПК ₅	Верхний	1,57	0,69	0,44	1,03	2,34	2,1
		Нижний	1,93	0,99	0,51	1,55	3,04	
	Fe _{общ}	Верхний	0,17	0,19	1,10	3,14	2,85	0,1
		Нижний	0,16	0,15	0,97	1,34	1,38	
	NO ₃ ⁻	Верхний	0,39	0,33	0,86	1,12	1,30	9
		Нижний	0,41	0,40	0,98	2,14	2,18	
Псков	NH ₄ ⁺	Верхний	0,22	0,30	1,38	1,81	1,31	0,4
		Нижний	0,24	0,31	1,27	1,51	1,19	
	БПК ₅	Верхний	1,89	0,99	0,52	2,21	4,25	2,1
		Нижний	2,09	1,23	0,59	2,70	4,58	
	Fe _{общ}	Верхний	0,19	0,17	0,92	1,20	1,30	0,1
		Нижний	0,20	0,20	0,98	1,59	1,62	
	NO ₃ ⁻	Верхний	0,49	0,45	0,92	1,50	1,63	9
		Нижний	0,53	0,62	1,17	4,85	4,14	

Данные, представленные в таблице 1, позволяют отметить особенности распределения рассматриваемых значений концентраций биогенных веществ.

Во-первых, в большинстве случаев наблюдается превышение ПДК в рядах средних многолетних значений измеренных концентраций общего железа $Fe_{общ}$ и показателя БПК₅. В данном случае высокие средние значения показателя БПК₅, характеризующего загрязнение водоема легкорастворимыми органическими соединениями, могут быть объяснены большими объемами сельскохозяйственных и канализационных стоков. Высокие средние значения концентраций общего железа, по всей видимости, связаны с повышенным фоновым содержанием железа, характерным для всех поверхностных и подземных вод Псковской области. При этом превышение ПДК азота аммонийного (NH_4^+) и азота нитратного (NO_3^-) не наблюдается.

Во-вторых, значения средних многолетних концентраций биогенных веществ увеличиваются по длине реки от истока к устью пропорционально возрастанию антропогенной нагрузки на водоток.

В-третьих, сопоставляя величины числовых характеристик положения и рассеивания, было замечено, что они изменяются не соразмерно от створа к створу в пределах одного пункта наблюдения. Например, математическое ожидание в ряду наблюдения за концентрацией азота нитратного (пункт Псков) изменяется в диапазоне от 0,49 до 0,53. При этом пределы изменения коэффициента асимметрии составляют 1,50 и 4,85 для верхнего и нижнего створа соответственно. Подобная закономерность в изменении числовых характеристик указывает на наличие в ряду экстремальных значений, существенно отклоняющихся от значений всех других членов ряда, или так называемых статистических выбросов.

Для проверки рядов на предмет наличия выбросов необходимо было определить закон распределения каждого из рассматриваемых рядов. Поэтому следующим этапом исследования стала оценка согласованности эмпирических данных с теоретическим законом распределения, которая была проведена визуально по клетчаткам вероятности с умеренной асимметричностью и количественно с применением критерия согласия Крамера-Мизеса-Смирнова $\rho\omega^2$, основанного на учете расхождения эмпирической и теоретической кривых обеспеченности. В соответствии с [2] значение верхней доверительной границы статистики $\rho\omega^2$ при 5% уровне значимости составляет величину равную 0,461.

В результате анализа был получен вывод, что наиболее согласующимися с имеющимися гидрохимическими данными являются законы распределения Пирсона III типа (оптимальны для 88 % рядов) и Крицкого-Менкеля (оптимальны для 12 % рядов), поскольку рассчитанные значения статистик не превышают критическое значение и имеют наименьшие расхождения в эмпирических и теоретических кривых.

Построенные теоретические законы распределения позволяют визуально определить значения концентрации, которые отличаются от основной массы членов ряда, и таким образом выходят за рамки данных выборочных совокупностей. Однако, как показали результаты анализа, в некоторых случаях возникал вопрос о возможности отнесения максимальных значений ряда, которые в некоторой степени удалены от эмпирической и теоретических кривых обеспеченности, к группе выбросов. В связи с этим возникла необходимость в использовании расчетных методов оценки аномальных значений. Проверка гипотез об отсутствии выбросов в ряду проводилась по критериям Диксона и Смирнова-Граббса.

При сопоставлении обоих методов был сделан вывод, что более точные результаты дает оценка экстремальных значений концентраций по критериям. В конечном итоге удалось сократить 28 выбросов, выявленных визуально по клетчаткам вероятности, до 14 значений: в рядах азота нитратного (NO_3^-) выявлено 4 аномальных значения, в рядах общего железа ($Fe_{общ}$) — 2, в рядах показателя БПК₅ — 8.

Таким образом, в каждом из этих рядов наблюдения были выделены две группы значений. В первую входит основная масса значений, которая диктует выбор теоретического закона распределения и отражает регулярный режим загрязнения водотока. Во вторую группу входят выявленные аномальные значения, которые не описываются оптимальным законом распределения большинства членов ряда.

Генезис выбросов, отличный от первой группы значений, может быть обусловлен аварийными сбросами или экстремальными погодными условиями, продолжительность которых обычно не превышает нескольких дней. Однако при расчете таких осредненных показателей экологического состояния водотока, как, например, средние годовые значения концентраций или объемы стока загрязняющих веществ, каждому измерению приписывается продолжительность в

несколько месяцев. Неучет наличия аномальных значений в ряду приводит к искусственному завышению стока биогенов, что в значительной мере искажает результаты всего исследования.

В этой связи значения концентраций, которые были отнесены к аномальным, были исключены из дальнейших расчетов. Для оценки их влияния на распределение выборочных совокупностей были рассчитаны числовые характеристики исходных рядов без учета выбросов. Результаты сопоставления числовых характеристик рядов, в которых были наблюдаемы выбросы, до и после их исключения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценки числовых характеристик концентраций биогенных веществ в воде по исходным рядам наблюдения и при исключении выбросов

Пункт наблюдения	Биоген	Створ	Оценки							
			m_x	$C_{1\%}$	C_v	C_s	m_x	$C_{1\%}$	C_v	C_s
			Исходный ряд				При исключении выбросов			
Опочка	БПК ₅	Нижний	2,13	6,32	0,63	3,56	2,05	4,99	0,48	0,27
Остров	Fe _{общ}	Верхний	0,17	0,85	1,10	3,17	0,16	0,69	0,94	1,32
	NO ₃ ⁻	Нижний	0,41	1,83	0,98	2,17	0,38	1,48	0,85	1,02
Псков	БПК ₅	Верхний	1,89	4,87	0,52	2,22	1,84	4,34	0,46	1,00
		Нижний	2,09	5,90	0,59	2,71	2,01	4,91	0,48	1,00
	Fe _{общ}	Нижний	0,20	0,91	0,98	1,60	0,20	0,86	0,94	1,25
	NO ₃ ⁻	Нижний	0,53	2,82	1,18	4,89	0,48	1,83	0,83	1,01

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют об изменении параметров распределения при исключении выбросов. Так, например, средние многолетние концентрации уменьшаются в среднем на 5 — 10 %. Более значимые изменения произошли в числовых характеристиках рассеивания. Коэффициент вариации (C_v) уменьшился в среднем на 10–20%, а коэффициент асимметрии (C_s) снизился в отдельных случаях более чем в 3 раза. Очевидно, что при исключении выбросов значения концентраций рассматриваемых биогенов отражают режим загрязнения водотока в условиях плановой работы предприятий.

Как показали результаты исследования наличие в рядах аномальных значений, выходящих за рамки выборочных данных, может существенно изменить параметры их распределения. Это, в свою очередь, может привести к искусственному завышению стока биогенов и использованию неверной математической модели, что повлияет на проведение дальнейших природоохранных мероприятий.

Данная методика позволяет исключить выбросы и внести существенные уточнения в расчет антропогенной нагрузки на водоток и выноса биогенных веществ с речным стоком. Вместе с тем возникает проблема расчета и учета возможных выбросов.

Литература

1. Шелутко В.А. Оценка экстремальных уровней загрязнения речной сети урбанизированных территорий. // Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. - СПб: изд. РГГМУ, 2002. с. 15-23.
2. Р 50.1.037–2002. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294846/4294846286.pdf> (дата обращения: 08.10.2019).

ОЦЕНКА АГУЛЬЯСОВА ПЕРЕНОСА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И БУЕВ АРГО

А.А. Малышева¹, А.А. Кубряков², А.В. Колдунов¹, Т.В. Белоненко¹

¹ Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия

AN ESTIMATE OF THE AGULHAS LEAKAGE USING ALTIMETRY AND ARGO DATA

A.A. Malysheva¹, A.A. Kubryakov², A.V. Koldunov¹, T.V. Belonenko¹

¹ the Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

² Marine Hydrophysical Institute of RAS

Агульясов перенос – это основной источник теплых и соленых вод Индийского океана, переносимых мезомасштабными вихрями от южной оконечности Африки к берегам Южной Америки. В статье исследуется Агульясов перенос на основе комплексного анализа альтиметрических карт и буев Арго. Показано, что за 23-летний период альтиметрических наблюдений Агульясов перенос мезомасштабными вихрями составляет 170 Sv, а его годовой вклад равен 7,4 Sv. Захваченные вихрями буи Арго позволяют исследовать вертикальную структуру вихрей Агульясова переноса. На отдельных примерах мы показываем, что термохалинные характеристики вихрей Агульясова переноса сохраняются на всем пути их движения на запад и значительно отличаются от фоновых характеристик вод Южной Атлантики. В частности, температура и соленость в вихрях может превышать фоновые значения окружающих вод на 5 °C и 0,8-1,0 psu, соответственно. Установлено, что зародившиеся в районе Агульясова течения мезомасштабные вихри проходят тысячи километров, сохраняя свою структуру и термохалинные свойства. Транспорт тепла и соли одним мезомасштабным вихрем Агульясова переноса составляет $2,25 \cdot 10^9$ Вт и $5,36 \cdot 10^5$ кг·с⁻¹ соответственно. Теплосодержание и солесодержание в одном вихре Агульясова переноса - $2,03 \cdot 10^{15}$ Дж и $4,83 \cdot 10^{11}$ кг, соответственно.

Agulhas leakage is a main source of warm and salty water of the Indian Ocean carried by mesoscale eddies from the southern Africa to the shores of South America. We assess a volume of waters transported by the Agulhas leakage using combination of altimetry and Argo observations. We reveal that transport of the Agulhas leakage by mesoscale eddies is approximately 170 Sv throughout the period of 23 years, and eddies are moving from the Agulhas retroflection area to the west. The annual transport is equal to 7.4 Sv. We explore a vertical structure of the Agulhas leakage eddies involved in the Agulhas leakage using Argo profiles. We demonstrate that the Agulhas leakage eddies keep the thermohaline characteristics while their moving to the west. We show that the temperature and salinity inside the individual eddy are higher at 5 °C and 0.8-1 psu, respectively, than the average values in the South Atlantic. We proof that the Agulhas leakage eddies moving thousands kilometers to the west keep their thermal characteristics, and the waters inside the Agulhas leakage eddies mix a little with the surrounding waters. The heat and salt transports by the individual Agulhas leakage eddy are $2.25 \cdot 10^9$ W and $5.36 \cdot 10^5$ kg·s⁻¹, respectively. Heat and salt anomalies inside it are $2.03 \cdot 10^{15}$ J and $4.83 \cdot 10^{11}$ kg, respectively.

Введение

Название «Агульясов перенос» относится к водам, переносимым мезомасштабными вихрями, зародившимися в Индийском океане (район системы течений Агульяс) через Атлантический океан к берегам Южной Америки. Мезомасштабные вихри образуются практически повсеместно на всей акватории океана обладают собственной динамикой и способны переносить тепло, массу, кинетическую энергию и биохимические характеристики из региона их формирования на огромные расстояния, влияя на колебания климата. Однако районы вихревой активности так или иначе приурочены к областям крупномасштабных течений, ввиду наличия здесь бароклинной и баротропной неустойчивости, являющейся одним из основных условий генерации мезомасштабных вихрей. В Южном полушарии одним из таких течений

является течение Агульяс, являющееся частью направленного на запад Южно-Экваториального течения.

Поскольку мезомасштабные вихри, образованные течением Агульяс, являются доминирующими структурами, переносящими воды Индийского океана в Атлантику, изучение их динамики в исследуемом районе позволяет понять влияние Индийского океана на процессы, происходящие в Атлантике. Эти вихри исследовались по спутниковым снимкам температуры поверхности моря и по данным альтиметров [1,2].

Количественная оценка Агульясова переноса не является тривиальной задачей. Эти оценки получены разными методами, например, при помощи анализа водных масс, альтиметрических данных, эйлеровых модельных потоков, численных лагранжевых частиц, путем комбинации моделирования и гидрографических оценок или расчеты по траекториям дрейфующих буев. В литературных источниках количественные оценки Агульясова переноса варьируются в широком диапазоне: от 4 Sv до 22 Sv, однако в большинстве исследований сообщается о величинах 11-17 Sv.

В данной работе мы даем оценку Агульясова переноса независимым методом. На основе альтиметрических данных мы определяем число долгоживущих мезомасштабных вихрей, которые, зарождааясь в системе Агульясова течения, дрейфуют на запад, тем самым транспортируя воды с характеристиками Индийского океана к берегам Южной Америки. В работе также рассмотрены термохалинные характеристики вихрей в динамике и показываем, что вихри Агульясова переноса могут сохранять исходные термохалинные свойства в течение длительного времени, сравнимого со временем их жизни.

Используемые данные

Для анализа перемещения вихрей использовались данные массива автоматической идентификации и трекинга «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» (<http://wombat.coas.oregonstate.edu/eddies/>). При создании этого массива применялся специально разработанный алгоритм идентификации вихрей, основанный на анализе альтиметрических снимков. Данный алгоритм впервые подробно описан в работе Chelton et al. [3] и впоследствии был модифицирован и упрощен на основе работы Williams et al. [4]. При анализе термохалинных свойств вихрей использовались данные дрейфующих буев профиломеров Argo (<http://www.argo.net>). Также использовалась обновленная версия Атласа Мирового Океана (WOA13), который представляет собой базу обобщенных климатологических данных. Использовался массив аномалий уровня моря SLA (Sea Level Anomalies), доступный на сетевом ресурсе Copernicus Marine environment monitoring service (<http://marine.copernicus.eu>). Данный альтиметрический продукт является частью европейского проекта Ssalto/Duacs, распределяемый AVISO-CNES Data Center (<https://www.aviso.altimetry.fr/>). Альтиметрические измерения получены со спутников Topex/Poseidon и Jason (период обращения 10 дней), GFO (17 дней), ERS-1, ERS-2 и Envisat (35 дней). Проведена коррекция данных на влияние приливов, различные эффекты атмосферы, тропосферы, ионосферы и т.д. Данные представляют собой трёхмерный массив в период с 1993 г. по настоящее время. Пространственное разрешение данных составляет 0,25° широты и долготы, временная дискретность — 7 суток.

Результаты

Для исследования вертикальной структуры мезомасштабных вихрей за период с 2013 по 2016 г. мы использовали метод совместного анализа профилей ARGO, примененным к вихрям, выделенным в результате автоматической идентификации и трекинга. Для последних данные содержались в архиве «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH». Таким образом были найдены несколько мезомасштабных вихрей, которые удовлетворяли следующим условиям:

- Мезомасштабный вихрь в течение всего жизненного цикла автоматически идентифицируется по базе «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH».
- Мезомасштабный вихрь образован в районе течения Агульяс.
- Мезомасштабный вихрь является долгоживущим: продолжительность его жизни превышает 6 месяцев.
- Мезомасштабный вихрь захватывает профиль буя ARGO, а сам буй перемещается вместе с вихрем.
- Профиль ARGO расположен в центре – в ядре мезомасштабного вихря.

На рисунке 1 показано географическое положение буя №6901635 на момент его попадания в вихрь. Видно, что буй захвачен антициклоническим вихрем (положительные значения уровня).

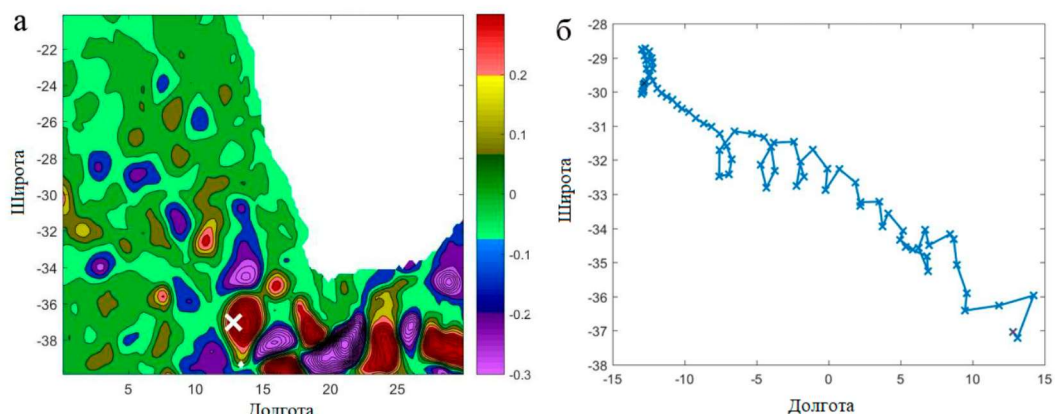


Рис.1. Аномалии уровня моря по данным спутниковой альтиметрии (а) на дату 06.12.2014. Положение буя №6901635 показано крестиком. И траектория движения буя (б). Красным крестиком обозначено начало движения, черным- конец.

На рисунке 2 показан временной ход аномалий солености и температуры в вихре. Аномалии с использованием данных WOA13 рассчитывались относительно среднеклиматических значений в соответствующих точках траектории вихря. Видно, что сохраняется изменчивость термохалинных характеристик с момента захвата и до конца нахождения буя в вихре существенно нестационарна, значения аномалий постепенно уменьшаются, однако в течение указанного промежутка времени мезомасштабный вихрь идентифицируется не только по базе «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH», но и по аномалиям термохалинных характеристик.

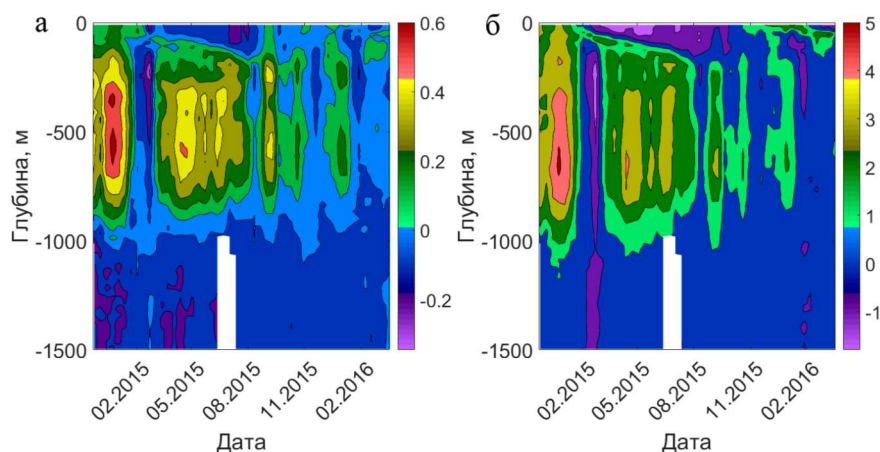


Рис. 2. Временная изменчивость аномалий солености (а) и температуры (б) в вихре (буй №6901635)

На T/S-диаграмме (рис. 3) видно, что все профили буя имеют одну и ту же структуру. Это подтверждает, что вихрем вместе с буюм переносилась одна и та же водная масса, а перемешивание с окружающими водами, если и было, то не столь значительно.

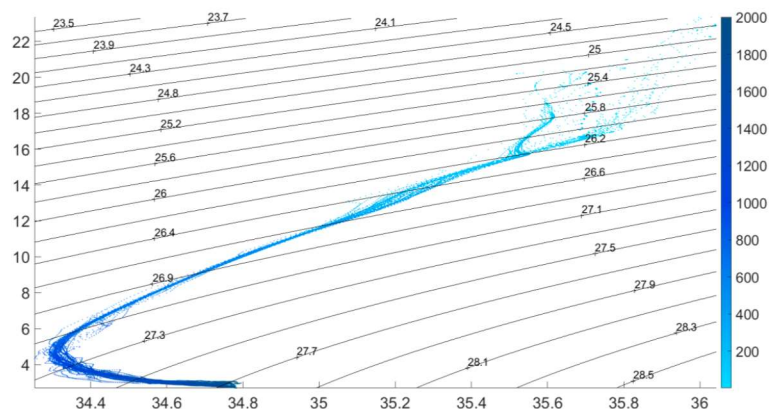


Рис. 3. T/S-диаграмма профилей буя №6901635 за 06.12.14 – 01.04.16

Перенос (расход) одним вихрем рассчитывался по стандартной формуле $T = S \cdot V$, где S - площадь поперечного сечения вихря: $S = 2 \cdot R \cdot h$, R - радиус вихря (в расчетах 50 км), h - глубина вихря (в расчетах 1 км), V - скорость перемещения вихря (в расчетах 8,5 см/с). Исходя из указанных параметров, перенос составляет 8,5 Sv. Отметим, что нами рассматривался только один долгоживущий мезомасштабным вихрем Агульясова переноса. В статье (Малышева и др., 2018) рассмотрены траектории долгоживущих вихрей за 23-летний период альтиметрических наблюдений (1993-2016) и установлено, что из 126 долгоживущих вихрей, образованных в районе течения Агульяс, 20 вихрей достигают западной части Южной Атлантики. В таком случае общий Агульясов перенос при помощи этих вихрей за 23 года составляет 170 Sv, а средний годовой перенос равен 7,4 Sv.

Заключение

На основе совместного анализа данных буев ARGO и архива Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» проанализирована вертикальная структура типичного вихря Агульясова переноса. Показано, что температура и соленость в водах вихря выше средних значений в Южной Атлантике на 5 °C и 0,8-1 psu, соответственно. Установлено, что вихрь, перемещаясь на значительные расстояния, сохраняет свои термохалинные характеристики, как минимум, 482 сут., что свидетельствует о небольшом перемешивании с окружающими водами. На основе данного подхода оценка Агульясова переноса составляет 170 Sv за весь период наблюдений (23 года), а годовой перенос равен 7,4 Sv.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-05-00034

Литература

1. Byrne D. A., Gordon A. L. and Haxby W. F. Agulhas Eddies: A Synoptic View Using Geosat ERM Data // Journal of Physical Oceanography. 1995. Vol.25. P.902-917.
2. Doglioli A. M., Blanke B., Speich S. and Lapeyre G. Tracking coherent structures in a regional ocean model with wavelet analysis: Application to Cape Basin eddies // J. Geophys. Res. 2007. Vol.112. C05043.
3. Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R. M. Global observations of nonlinear mesoscale eddies // Prog. Oceanogr. 2011. Vol.91. P.167-216.
4. Williams S., Petersen M., Bremer P.-T., Hecht M., Pascucci V., Ahrens J., Hlawitschka M. and Hamann B. Adaptive extraction and quantification of geophysical vortices // IEEE Transactions On Visualization and Computer Graphics. 2011. Vol.17. No.12. P.2088-2095.

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО МЕЖДУ КАФЕДРОЙ ГИДРОЛОГИИ СУШИ СПБГУ И ГОСУДАРСТВЕННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ

Мамаева М.А., Пряхина Г.В., Георгиевский М.В.

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, РФ

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, РФ

SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL COOPERATION BETWEEN SPBSU CHAIR OF LANF HYDROLOGY AND STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE

Maria Mamaeva, Galina Pryakhina, Mikhail Georgievsky

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

St. Petersburg State University, Institute for Earth Science, St. Petersburg, Russia

В статье описано академическое и научно-производственное сотрудничество в области гидрологии. Представлены основные результаты и обсуждены планы на будущее.

The paper highlights academic, scientific and operational cooperation in hydrology. Tangible results as of its implementation presented. Some plans discussed.

Гидрометеорология является наукоемкой областью, которая зависит от инноваций и технологий, внедряемых университетами, научными учреждениями, бизнесом и промышленностью. Это может быть обеспечено только благодаря тесному сотрудничеству между академическими учреждениями, научными и производственными организациями в области гидрометеорологии, участвующими в сборе и обработке данных, прогнозировании, развитии науки и технологий.

Так Государственный гидрологический институт, являясь основным научным учреждением по комплексному изучению природных вод, подписал соглашение о сотрудничестве с Санкт-Петербургским государственным университетом (СПбГУ). Наиболее тесное, долговременное и плодотворное сотрудничество в рамках Договора осуществляется с кафедрой гидрологии Института Наук о Земле СПбГУ.

Кафедра гидрологии суши Санкт-Петербургского университета была основана в 1918 году и является первой подобной кафедрой в России, т.е. кафедра является родоначальницей высшего гидрологического образования в стране. На момент создания кафедра входила в состав Петроградского географического института, но после слияния в 1925 году Географического института с Ленинградским университетом (ЛГУ) кафедра стала готовить специалистов-гидрологов в составе Географического факультета университета. С 1925 начинается эпоха сотрудничества между Государственным гидрологическим институтом и кафедрой гидрологии суши, так как руководитель гидрологического отделения ЛГУ В.Г.Глушков с момента его создания пять лет возглавлял факультет, одновременно являясь директором ГГИ.

В настоящее время кафедрой осуществляется подготовка бакалавров (5-6 бакалавров в год) и магистров по направлению и по программе «Гидрометеорология». Кроме того, за последние два года были открыты новые магистерские программы: «Опасные гидрологические явления: от мониторинга до принятия решений (ГОЯ)» с 2017 г., «Гидросфера и атмосфера: моделирование и прогноз» с 2018 г. Ежегодно в магистратуре под руководством кафедры обучаются в среднем по 5-10 магистров. Также выпускники кафедры имеют возможность обучаться в аспирантуре по направлению «География» и выбирать научную тематику под руководством преподавателей кафедры. Ежегодно преподаватели кафедры курируют обучение 2-3 аспирантов.

Отличительными особенностями обучающего процесса кафедры гидрологии суши является индивидуальный подход к работе со студентами, так как бакалаврские группы небольшие (5-6 человек). Акцент также делается на формирование у обучающихся навыков научного анализа и исследовательской деятельности.

За последние 20 лет кафедра подготовила более 150 специалистов, более половины из которых в настоящий момент работает по специальности, включая ГГИ.

Сотрудничество с ГГИ является чрезвычайно важной и крайне необходимой особенностью образовательного процесса кафедры гидрологии суши, которая позволяет кафедре удерживать лидирующие позиции среди высших образовательных учреждений Российской Федерации, готовящих специалистов по профилю «Гидрометеорология». Данное сотрудничество позволяет кафедре:

- поднять образовательный процесс на новый профессиональный уровень;
- быть в курсе всех современных научных тенденций и разработок, происходящих в российской гидрометеорологии, включая использование новейшего специализированного оборудования;
- привлекать студентов в научные проекты и работу на всех стадиях обучения;
- иметь непосредственный контакт с потенциальным работодателем, который является ведущей научно-исследовательским учреждением в области гидрологии суши.

Сотрудники кафедры совместно со специалистами ГГИ находятся в постоянном поиске новых форм улучшения образовательного процесса с помощью организации сотрудничества, включающего:

- прохождение преподавательской практики аспирантами ГГИ на кафедре университета;

- прохождение студентами кафедры производственной практики в ГГИ (ежегодно студенты 3-го курса бакалавриата проходят учебную практику на болотной станции ГГИ, в течение которой знакомятся с работой и научной деятельностью уникальной Русловой лаборатории Главной экспериментальной базой ГГИ; Валдайский филиал ГГИ ежегодно организует летнюю учебную практику, в течение которой студенты профильных ВУЗов знакомятся с наблюдениями за элементами водного баланса, а также стоковыми площадками);

- совместное участие специалистов ГГИ и сотрудников кафедры гидрологии суши в научных проектах и грантах вышеуказанных организаций, привлечение аспирантов и студентов кафедры к данным проектам и грантам;

- участие в оргкомитетах научных конференций, организованных кафедрой и Институтом;

- организация совместных исследований и работ;

- совместная подготовка и публикация научных статей (за последние 2 года – 6 публикаций);

- участие специалистов ГГИ в разработке учебных планов и рабочих программ учебных дисциплин по направлению «Гидрометеорология»;

- доступ студентов СПбГУ в библиотеку ГГИ для сбора научной информации;

- руководство научными сотрудниками ГГИ над курсовыми работами и выпускными квалификационными работами бакалавров и магистров по специальности гидрометеорология;

- участие специалистов ГГИ в работе аттестационных комиссий СПбГУ.

В данный момент ГГИ и кафедра гидрологии суши находятся на стадии обсуждения разработки уникальной программы новой учебной практики у магистров кафедры – менеджерской практики, в рамках которой магистры будут знакомиться: со структурой ГГИ и особенностями ее функционирования, с спецификой и организацией работы различных отделов ГГИ, работой заведующих отделов и заместителей директора института, а также процессом осуществления Институтом больших научных проектов, начиная от подготовки конкурсной документации и заканчивая сдачей выполненной научно-исследовательской или опытно-конструкторской работы заказчику.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАДКОВ И ИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЯХ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА

С.А. Маммедов¹, В.А. Лобанов¹,

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

SPATIOTEMPORAL REGULARITIES OF PRECIPITATION AND ITS CLIMATIC CHANGES IN THE INTERNAL AREAS OF THE ASIAN CONTINENT

S.A.Mammedov¹, V.A.Lobanov¹

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Внутренние области самого большого на Земле азиатского континента наименее всего обеспечены осадками, в связи с чем анализ их динамики в условиях современного изменения климата является актуальным. Цель проведенного исследования состояла в том, чтобы выявить наличие долговременных изменений средних значений в многолетних рядах осадков, обусловленных современным изменением климата. В качестве научной методологии исследования применялись известные статистические методы пространственно-временного анализа и моделирования временных рядов.

The internal regions of the Asian continent, largest on Earth, are least of all provided with precipitation, so the analysis of its dynamics in the conditions of the modern climate change is highly relevant. The purpose of the study was to find whether there are long-term changes in mean values in the long-term series of precipitation due to the modern climate change. The methodological framework of the research was based on the well-known statistical methods of spatiotemporal analysis and time series modeling.

Из международных архивов климатических данных [11; 12] выбраны метеостанции с наиболее продолжительными рядами наблюдений, расположение которых показано на рис.1. Всего было выбрано 52 метеостанции со средней продолжительностью многолетних рядов в 74 года, которые достаточно равномерно размещены на территории Узбекистана и Туркменистана, но редко и недостаточно – на территории Ирана (всего 8 метеостанций), а спутниковые данные по осадкам пока еще недостаточно надежны [10].



Рис. 1. Расположение метеостанций с многолетними рядами осадков

На рис.2 показаны осредненные по району внутригодовые распределения осадков на территории Ирана, где было выделено 3 однородных района.

Особенности однородных районов и распределений осадков следующие:

район 1 (40848 Шираз и 40858 Бушер) находится вблизи Персидского залива, где наибольшие месячные осадки, составляющие 60–80 мм, выпадают в декабре–январе, а в сухой и теплый период года с мая по октябрь осадков практически нет;

район 2 характеризует в основном внутренние сухие области Ирана, где осадков существенно меньше и их наибольшие значения всего в 25–35 мм приходятся на декабрь–апрель с максимумом в марте, а период практического отсутствия осадков охватывает июнь–сентябрь;

район 3 (40706 Табриз) на северо–западе относится к области влияния Каспийского моря, максимальные месячные осадки достигают уже 50–60 мм весной с максимумом в апреле, а в сухой период с июля по сентябрь небольшие осадки также имеют место.

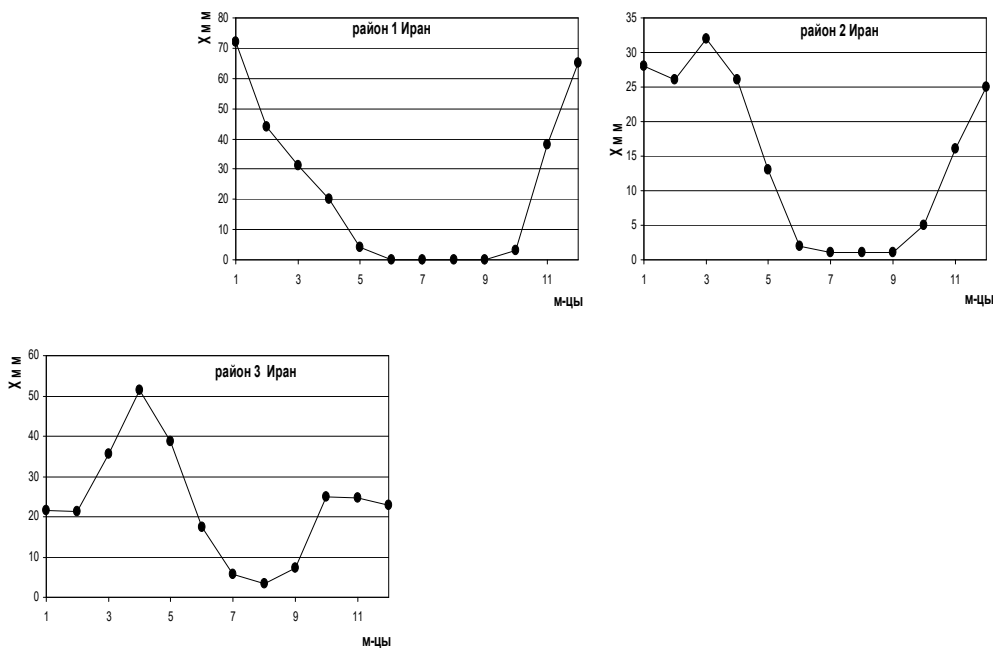


Рис. 2. Осредненные внутригодовые распределения осадков в однородных районах Ирана

На рис.3 показаны внутригодовые распределения осадков на территории Туркменистана и Узбекистана

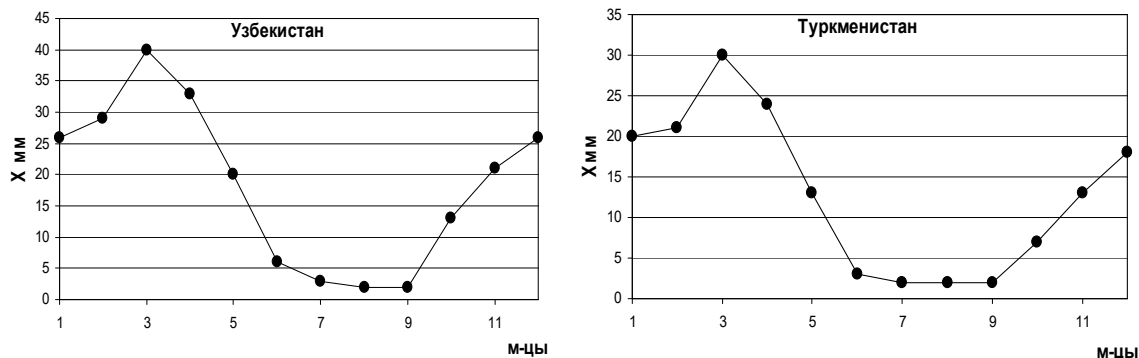


Рис. 3. Внутригодовые распределения осадков для Узбекистана и Туркменистана

При сопоставлении внутригодовых распределений осадков Узбекистана, Туркменистана, а также внутренних областей Ирана (район 2, рис.2) можно сделать вывод, что они подобны: максимум осадков в марте, и практическое отсутствие осадков с июня по сентябрь. Отличие состоит только в том, что наибольшие осадки в Узбекистане несколько выше, чем в Туркменистане и Иране, но это связано с пространственным распределением осадков.

Методически разделение осадков на два периода: холодный, где осадки выпадают регулярно, и теплый, в который осадков может не быть несколько месяцев или лет, обосновано разными подходами их моделирования. Если для осадков относительно холодного периода можно работать с рядами данных за каждый год и осуществлять аппроксимацию временных рядов стационарными и нестационарными моделями, то для эпизодически выпадающих осадков можно оценить только частоту их появления и интервал в годах между событиями. Для оценки проявления современных

изменений климата в рядах осадков месяцев холодного полугодия (с октября по май) применялись модели стационарной и нестационарной выборки и показатели эффективности нестационарных моделей, вычисляемые по формулам [4;6;7]:

$$\Delta_{тр} = \left(\frac{\bar{\sigma}_y - \bar{\sigma}_\varepsilon}{\bar{\sigma}_y} \right) * 100 \% \quad (1)$$

$$\Delta_{ступ} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} \right) * 100\% \quad (2)$$

где: $\Delta_{тр}$, $\Delta_{ступ}$ – относительные отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки;

σ_y , σ_ε , $\sigma_{ступ}$ – стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.

Для оценки устойчивости показателей эффективности нестационарных моделей рассматривались ряды наблюдений с разным годом начала: 1920–ый, 1940–ой, 1960–ый. Статистически значимые коэффициенты корреляции линейного тренда (r) и показатели эффективности нестационарных моделей ($\Delta_{тр, \%}$ и $\Delta_{ступ, \%}$) приведены в табл.3 при начальном годе наблюдений 1960 для всех метеостанций.

Таблица 1

Статистически значимые r и соответствующие им $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$

Код станции	$\Delta_{тр, \%}$	$\Delta_{ступ, \%}$	r	Код станции	$\Delta_{тр, \%}$	$\Delta_{ступ, \%}$	r
октябрь				март			
38804	4,9	7,9	0,31	38750	3,4	4,6	-0,26
ноябрь				38812	4,3	5,5	-0,29
38987	4,5	14,5	0,30	38911	5,4	7,7	-0,32
40858	9,9	12,6	0,43	40706	10,0	13,7	-0,43
40754	3,3	11,3	0,25	38396	6,0	11,3	0,34
40858	6,8	8,8	0,36	40841	5,3	7,7	-0,32
декабрь				38475	3,0	5,8	-0,24
38804	9,5	8,0	0,43	апрель			
40858	12,8	18,7	-0,49	38388	5,2	8,7	-0,32
38141	6,2	21,8	-0,35	38413	3,0	4,9	-0,24
38178	8,6	9,4	-0,41	38500	7,5	12,3	-0,38
январь				38511	7,4	10,7	-0,38
40841	8,1	12,0	-0,39	38687	6,4	6,9	-0,35
38647	8,8	18,8	-0,41	38759	7,4	13,6	-0,38
38388	3,2	6,9	-0,32	38799	6,4	6,8	-0,35

38647	3,1	11,5	-0,25	38806	8,0	10,9	-0,39
февраль				38880	5,1	7,0	-0,32
38396	10,2	9,8	0,44	38895	6,7	6,0	-0,36
38455	9,6	12,1	0,43	38911	3,7	8,1	-0,27
38470	9,0	18,0	0,41	38974	5,6	6,4	-0,33
38656	6,6	16,7	0,36	май			
38759	5,4	11,1	0,32	38656	3,7	7,4	-0,27
38687	5,1	5,6	0,32	38750	4,3	9,7	-0,29
38799	3,4	10,6	0,26	38895	5,5	7,5	-0,33
38500	4,3	5,7	0,29	38911	4,5	8,2	-0,33
38683	4,3	6,0	0,29				

Пространственные закономерности уменьшения осадков апреля приведены на рис.4 в виде поля коэффициентов корреляции линейных трендов.

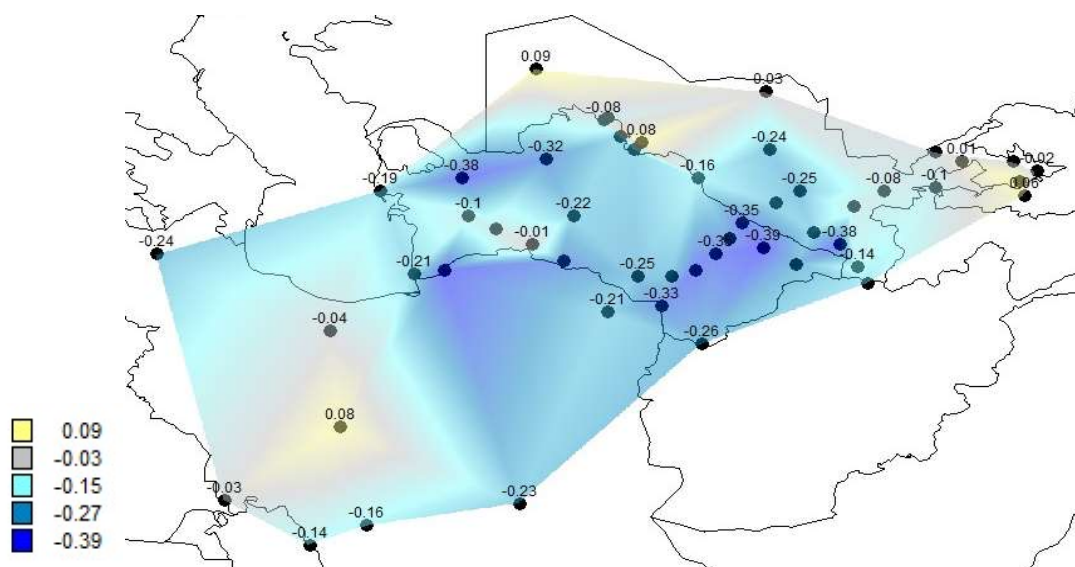


Рис. 4. Пространственное распределение коэффициентов корреляции линейного тренда в рядах осадков апреля

Как видно из рис.4, наиболее существенные тренды уменьшения осадков имеют место в центральной части территории, где осадков еще не так мало. Однако эти области находятся на южной оконечности пустынь и, если количество осадков будет уменьшаться, то есть опасность продвижения пустынь на юг и начала опустынивания и в этих районах [13;15;18].

Литература

1. Аптуков В.Н., Митин В.Ю. Фрактальный анализ метеорологических рядов с помощью метода минимального покрытия // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. No2 (49). С. 67–79. doi10.17072/2079-7877-2019-2-67-79.
2. *Изменение климата*, 2013 г. Физическая научная основа. Резюме для политиков Доклад Рабочей группы I МГЭИК Техническое резюме. Под редакцией: Томас Ф. Стоккер, Дахэ Цинь, Джиан-Каспер Платтнер, Мелинда М. Б. Тигнор, Симон К. Аллен, Джудит Бошунг, Александер Науэлс, Юй Ся, Винсент Бекс, Паулин М. Мидглей, 2013. – 222 с.
3. Калинин Н.А. Динамическая метеорология: учебник. 2-е изд., испр. / Перм. унт; Пермь. Перм. кн. изд-во 2009. 256 с.
4. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73–88.
5. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). Изд. РГГМУ, Санкт-Петербург, 2011. – 144с.
6. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. (учебное пособие). Изд. РГГМУ, Санкт-Петербург, 2012. – 141с.
7. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 2 Динамика климата. Книга 2 в двух книгах: учебник. – СПб: РГГМУ, 2018. – 377 с.
8. Лобанов В.А., Маммедов С.А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и их устойчивости на территории Центральной Азии. Ученые записки РГГМУ, № 51, 2018, с.22–26.
9. *Определение основных расчетных гидрологических характеристик*. СП 33-101-2003. М: Госстрой России, 2004. – 72 с.
10. Подрезов О.А., Рыскаль М.О. Валидация данных по осадкам, получаемых по данным мультиспутниковой модели ТМРА для горной территории Кыргызстана// Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. No 1(48). С. 63–74. doi10.17072/2079-7877-2019-1-63-74
11. Сайт метеорологического института Королевства Нидерланды (KNMI) <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone>.
12. Сайт ВМО <https://worldweather.wmo.int/en/home.html>.
13. Cai, W., T. Cowan, and M. Thatcher, 2012a: Rainfall reductions over Southern Hemisphere semi-arid regions: The role of subtropical dry zone expansion. Sci. Rep., 2, doi: 10.1038/srep00702.
14. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. – 1552 pp.
15. Dai, A., 2013: Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Clim. Change, 3, 52–58.
16. Endo, H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki, 2012: Future changes and uncertainties in Asian precipitation simulated by multiphysics and multi-sea surface temperature ensemble experiments with high-resolution Meteorological Research Institute atmospheric general circulation models (MRI-AGCMs). J. Geophys. Res., 117, D16118.

17. Goswami, B. N., V. Venugopal, D. Sengupta, M. S. Madhusoodanan, and P. K. Xavier, 2006: Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science*, 314, 1442–1445.

18. Neelin, J. D., M. Munnich, H. Su, J. E. Meyerson, and C. E. Holloway, 2006: Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, 6110–6115.

НАИБОЛЬШИЕ В ГОДУ РАСЧЕТНЫЕ УРОВНИ ВОДЫ В УСТЬЕ Р. ТОСНА

Маркелова Т.Г.

ООО «НПК Проектводстрой», г. Санкт-Петербург, Россия

MOST OF THE YEAR IN THE ESTIMATED WATER LEVELS AT THE MOUTH OF THE TOSNA RIVER

Markelova T.G.

«NPK Proektvodstroy», St. Petersburg, Russia

Уровеньный режим р. Тосна на устьевом участке определяется не только величиной максимального расхода весеннего половодья этой реки, но и (особенно в зимний период) уровнями р. Нева на участке Охтинский мост - Ивановские пороги. Высокие уровни зимне-весеннего периода приводят к затоплению прибрежных территорий. На основании проведенного исследования определены максимальные в году расчетные уровни р. Тосна в 1.3 км от устья.

The level regime of the Tosna river at the mouth is determined not only by the maximum flow rate of the spring flood of the river, but also (especially in winter) by the levels of the Neva river at the Okhta bridge - Ivanovo rapids. High levels of winter and spring lead to flooding of coastal areas. On the basis of the study, the maximum calculated levels of the Tosna river in 1.3 km from the mouth were determined.

При проведении работ по строительству и реконструкции промышленных объектов: трубопроводов, водозаборов, линий ЛЭП и др. на берегах рек возникает необходимость в расчетах максимальных уровней воды.

Река Тосна – левый приток Невы - вытекает из болот в 5 км северо-западнее д. Поддубье Лужского района и впадает в Неву на 44-м километре от устья около г. Отрадное.

Характерные для зимнего режима р. Нева зажоры образуются на участке от Ивановских порогов до Охтинского моста. Подпор от зажорных подъемов уровня на данном участке распространяется на низовья рек Мги, Тосны, Ижоры на расстояние 2-3 км и более, вверх по течению. Наиболее мощные и устойчивые зажоры чаще всего образуются в многоводные годы при высоком стоянии уровня воды в Ладожском озере, повышенных расходах воды и скоростях течения, а также при заносе льда под кромку ледяного покрова. Не менее важным является влияние резких потеплений.

Опасность подтопления жилого сектора, дорог, пойменных участков в городе Отрадное, расположенном в устье р. Тосна возникает, когда уровень воды в реке достигает отметки 440 см БС (рисунок 1).



Рис. 1. Зажор на р. Нева в районе устья р. Тосна 15.02.2018 г.

При зажоре возможно колебание уровня воды в течение суток от 430 до 450 см БС, а при подвижке льда - дополнительное повышение уровня на 10–30 см.

Тосна относится к равнинному типу рек, со смешанным питанием, в котором преобладает снеговое. В питании реки также участвуют дождевые и подземные воды. В годовом ходе стока и уровней чётко выражены четыре фазы: весеннее половодье, летне-осенняя межень, короткий осенне-зимний период с несколько повышенной водностью и зимняя межень. В период весеннего половодья, которое начинается во второй-третьей декаде марта и продолжается 3-4 недели, проходит 50-60% годового стока. В отдельные годы на весеннее половодье накладываются дождевые паводки, увеличивающие его продолжительность до 4-6 недель. Наивысшие уровни весеннего половодья, (они же максимальные годовые), обычно наблюдаются в конце апреля - начале мая.

При расчете гидрологических характеристик использовался метод аналогии [3]. За аналог принята р. Тосна в створе ст. Тосно, с периодом наблюдений с 1944 г по 2014 г. Продолжительность ряда наблюдений за максимальным стоком воды на данном водомерном посту - N=70 лет. Ряд является статистически значимым и однородным.

Расчетные параметры максимального стока весеннего половодья для р. Тосна - ст. Тосно приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные параметры максимального стока р. Тосна-ст. Тосно

Водоток-створ	Средний максимальный за многолетний период		Принятые значения	
	Расход, м ³ /с	Модуль, л/с км ²	Cv	Cs/Cv
р. Тосна – ст. Тосно	110	84.4	0,37	1

Далее по формуле Д.Л. Соколовского [1] получен максимальный расход 1%-обеспеченности $Q_{таx}$ р для р. Тосна в 1.3 км от устья (таблица 2) Максимальный уровень р. Тосна, соответствующий максимальным расходам воды на данном участке, рассчитан в соответствии с СП 33-101-2003 [3]. Кривая расходов построена с учетом гидравлических и морфометрических характеристик русла реки в расчетном створе по формуле Шези-Маннинга.

Максимальные зажорные уровни различной обеспеченности р. Тосна на устьевом участке соответствуют максимальным зажорным уровням р. Нева в створе действующего гидропоста Отрадное с периодом наблюдений с 1893 по 2014 г. Пост расположен в 45 км от устья р. Нева и в 1 км выше по течению от устья р. Тосна. Длина ряда, принятого для расчетов, составляет 111 лет.

Максимальный зажорный уровень воды на этом участке реки Нева наблюдался 03.01.1923 г. и составил 511 см БС, минимальный – 178 см БС был 16.11.1960 г. Средний зажорный уровень за весь период наблюдений равен 340 см БС. Таким образом, зажоры на данном отрезке реки могут вызвать самый большой перепад уровня по сравнению с другими гидрологическими явлениями.

При расчетах максимальных зажорных уровней использовалась теоретическая кривая Крицкого-Менкеля, которая соответствует эмпирической кривой распределения

Расчитанные максимальные уровни воды различного происхождения для р. Тосна на устьевом участке приведены в таблице 2.

Таблица 2. Максимальные расчетные уровни воды р. Тосна в 1.3 км от устья

Максимальный уровень воды 1%-обеспеченности, м БС	
зажорный	весеннего половодья
4.93	6.08

Из проведенного исследования следует, что максимальными в году на р. Тосна в 1.3 км от устья являются уровни, соответствующие максимальным расчетным расходам весеннего половодья.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве хозяйственных объектов или определении зоны затопления на устьевом участке р. Тосна.

Литература

1. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты –Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 459 с.
2. Нежиховский Р.А. Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 224 с.
3. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

С.Д. Мартьянов¹, А.Ю. Дворников¹, В.А. Рябченко¹, Д.В. Сеин^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Институт Альфреда Вегенера, Центр Полярных и Морских исследований им. Гельмгольца, Бремерхафен, Германия

MODELING OF INTERACTION BETWEEN PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROCESSES IN THE ARCTIC SEAS

S.D. Martyanov¹, A.Yu. Dvornikov¹, V.A. Ryabchenko¹, D.V. Sein^{1,2}

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia

²Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research; Bremerhaven, Germany

Приводятся результаты модельных расчетов для прошлого и будущего климата Баренцева и Карского моря за периоды 1975-2005 и 2035-2065 гг. Рассматривается взаимосвязь первичной продукции, ледяного покрова, падающей коротковолновой радиации и вертикальной плотностной стратификации.

The results of model simulations for the past and future climate of the Barents and Kara Sea for the periods 1975-2005 and 2035-2065 are presented. The relationship between primary production, ice cover, incident short-wave radiation and vertical density stratification is discussed.

В рамках настоящей работы разработана региональная совместная эко-гидродинамическая модель Баренцева, Карского и Белого морей. Данная модель использовалась для вскрытия и объяснения основных закономерностей взаимодействия динамических и экосистемных процессов в условиях меняющегося климата. В работе приводятся результаты модельных климатических расчетов для прошлого (1975-2005 гг.) и будущего (2035-2065 гг.) климата для региона арктического шельфа, изображенного на рис. 1а. В расчетах использовались согласованные между собой поля внешних воздействий (атмосферный форсинг и условия на открытых границах моря), полученные по результатам расчетов глобальной совместной модели.

Расчет прошлого и будущего климата для акваторий Баренцева, Карского и Белого моря выполнялся на общей модели циркуляции Массачусетского Технологического Института MITgcm [1]. Граничные и начальные условия брались из глобальной модели ROM [2]. Гидродинамическая модель MITgcm была объединена с разработанной и протестированной ранее трехмерной 7-компонентной моделью океанской биогеохимии пелагиали [3], представляющей собой классическую NPZD-модель (нитраты, фитопланктон, зоопланктон, детрит), дополненную блоком для описания цикла углерода в океане. Подробное описание модели приводится в [4,5]. Анализ полученного решения показал непротиворечивость распределения полей основных гидрологических и биогеохимических переменных имеющимся представлениям.

Ранее для периода 1975-2005 гг. по модельным результатам было получено, что при быстром уменьшении площади ледяного покрова первичная продукция фитопланктона (ПП) в рассматриваемом регионе значительно возрастает [4]. Однако, согласно полученным модельным результатам для рассматриваемого района, в 1999-2000 гг. произошел «сбой» указанной взаимосвязи и ПП начала уменьшаться вместе с продолжающимся сокращением площади льда (рис. 1б). Было высказано предположение, что, возможно, начали преобладать другие лимитирующие ПП факторы, например, уменьшилась фотосинтетически-активная радиация (ФАР) вследствие увеличения облачности в Арктике, или же возросла вертикальная плотностная устойчивость верхнего слоя, что затруднило бы поток биогенов из нижележащих слоев наверх.

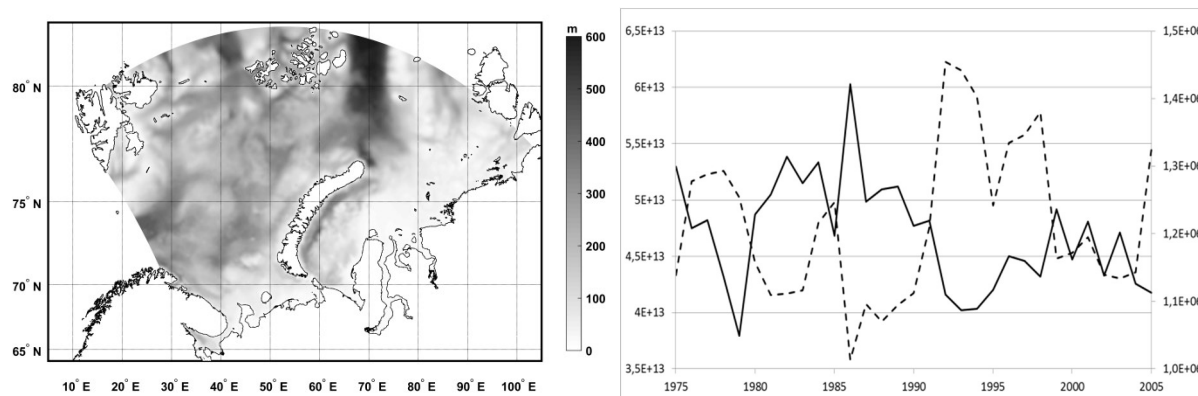


Рис. 1. Слева – Модельная область и карта глубин. Справа – Межгодовая изменчивость рассчитанных суммарной годовой ПП (сплошная линия, [g C], левая шкала) и среднегодовой площади льда (пунктирная линия, [км²], правая шкала) в модельной области за период 1975-2005 гг.

В настоящей работе сделана попытка дать ответ на этот вопрос. Основываясь на полученных модельных результатах, можно сказать, что во всех рассмотренных точках модельной области в выбранных для сравнения 1975 и 2004 гг. наблюдается устойчивая или нейтральная плотностная стратификация в верхних слоях. Отсутствие вертикальной плотностной неустойчивости связано с техническими аспектами параметризации конвекции в MITgcm, а также со среднесуточным осреднением выводимых модельных результатов. Анализ интегрального распределения вертикальной устойчивости по всей модельной области для двух рассмотренных лет показал, что вертикальный градиент плотности с течением времени практически не изменился (рис. 2).

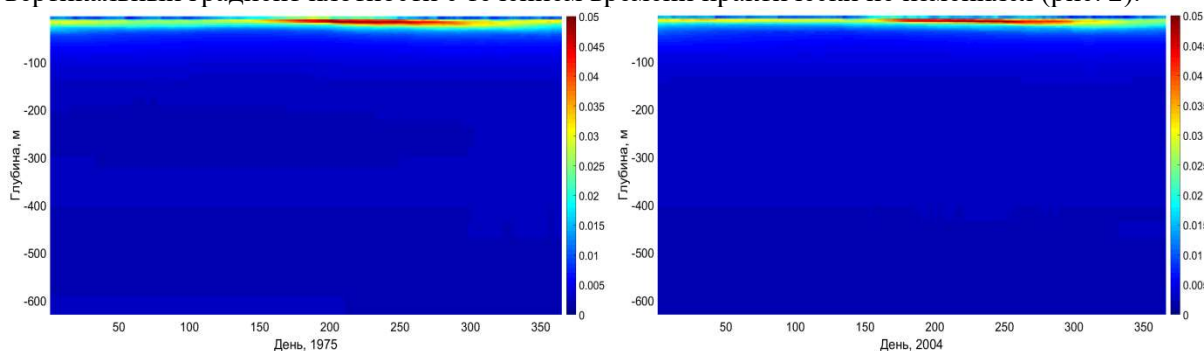


Рис. 2. Временной ход среднего по домену рассчитанного профиля частоты плавучести (Γ_c) в 1975 (слева) и 2004 (справа) гг.

Далее, результаты, полученные для 1986 г., показали, что хотя интегральная за год ПП для этого года была максимальной, а площадь льда – одной из самых низких за период 1975-2005 гг. (см. рис. 1б), но структура вертикального профиля градиента плотности при этом мало отличается от двух других лет. Поэтому максимальную суммарную ПП в 1986 году не получается связать со слабой вертикальной устойчивостью, которая обеспечила бы поступление биогенов из нижележащих слоев. Таким образом, гипотеза о причине полученного в конце периода 1975-2005 гг. уменьшении ПП из-за усиления устойчивой вертикальной стратификации в верхнем слое не подтверждается – какого-либо значительного изменения плотностной устойчивости в модельных результатах выявлено не было.

В работе также был подробно проанализирован временной ход интегральной ПП, ее связь с площадью льда и падающей коротковолновой радиацией (SWR). Объяснено падение ПП в конце расчетного периода при наблюдающемся падении площади льда. Результаты показали, что основной причиной падения рассчитанной ПП в конце периода 1975-2005 гг. является падение ФАР в верхнем слое (рис. 3а). Было установлено, что большая площадь льда нивелирует влияние падающей SWR из атмосферы – она просто не проходит в воду или значительно ослабляется (рис. 3б). Это видно из одновременного анализа всех изображений на рис. 3. В случае малой площади льда, для относительно высоких значений ФАР хватает и средних уровней падающей

SWR. Например, в период 2001-2004 гг. происходило уменьшение площади льда, однако высокой ПП в этот период в результатах не обнаруживалось. По всей видимости, тому причиной послужила низкие значения падающей SWR, что уменьшило ФАР и, соответственно, ПП.

Установлено, что из внешних факторов площадь льда играет первостепенную роль в образовании ПП. В подавляющем большинстве случаев вклад площади льда преобладает, и выполняется закономерность "больше льда – меньше ПП" и наоборот. Влияние же падающей SWR существенно сказывается только в те года, когда площадь льда значительно снижается. Примером может служить 1986 г (рис. 3). В этом проявилась лимитирующая роль площади льда для ПП вне зависимости от наличия высокой SWR.

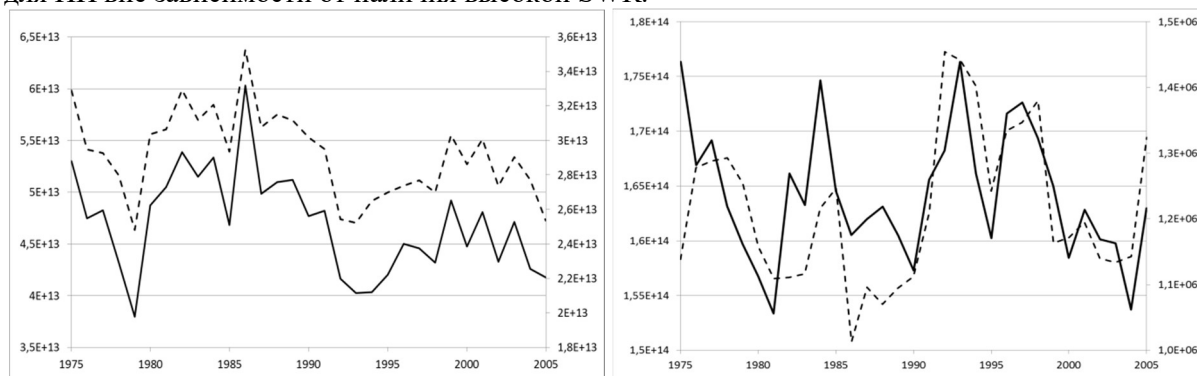


Рис. 3. Слева – Межгодовая изменчивость рассчитанных суммарной годовой ПП (сплошная линия, [g C], левая шкала) и суммарной по модельной области ФАР в верхнем слое (пунктирная линия, [Вт], правая шкала). Справа – Межгодовая изменчивость рассчитанных суммарной по модельной области среднегодовой падающей SWR (сплошная линия, [Вт], левая шкала) и среднегодовой площади льда (пунктирная линия, [км²], правая шкала)

По результатам расчета 1975-2005 гг. получена регрессионная зависимость (модель множественной линейной регрессии – МЛР) для суммарной за год ПП (г С) от установленных ранее основных предикторов: среднегодовой площади льда (SIarea, км²) и среднегодовой интегральной по области падающей коротковолновой радиации (SWR, Вт):

$$ПП = -4.41 \times 10^7 \times SIarea + 0.47 \times SWR + 2.42 \times 10^{13}, \quad R^2 = 0.75 \quad (1)$$

Установлено, что если для периода 1975-2005 гг. в целом, наблюдался рост площади льда и падение ПП, то для периода 2035-2065 характерна обратная картина, причем в будущем климате она более отчетливо выражена. Противофазность во временном ходе суммарных ПП и площади льда выражена достаточно четко: годам с малой ледовитостью свойственна высокая ПП и наоборот. Нужно отметить, что по сравнению с периодом 1975-2005 гг., для 2035-2065 гг. величины суммарной ПП значительно выше, а площадь льда существенно снизилась. Полученная для периода 1975-2005 модель МЛР показала хорошие результаты на независимой выборке 2035-2065 гг, что говорит о том, что модель МЛР неплохо воспроизводит изменчивость исходного ряда, полученного по совместной эко-гидродинамической модели. На рис. 4 изображен временной ход ПП для обоих периодов, полученный по совместной эко-гидродинамической модели и модели МЛР.

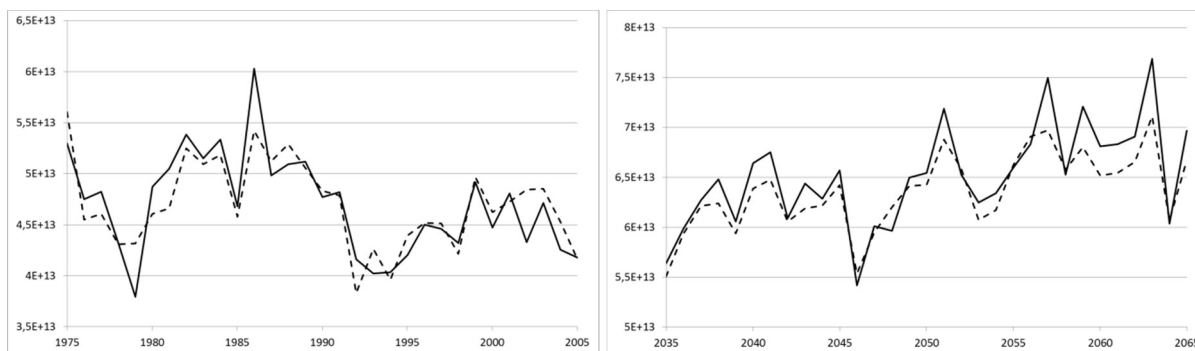


Рис. 4. Межгодовая изменчивость суммарной годовой ПП (сплошная линия, [g C]) и ПП, вычисленной по модели МЛР (пунктирная линия, [g C]). Слева – для периода 1975-2005 гг. Справа – для периода 2035-2065 гг.

Корреляция между исходным рядом интегральной ПП и ПП, вычисленной по модели МЛР, для периода 2035-2065 гг. оказалась даже выше (0.95), чем для периода 1975-2005 гг. (0.87), по которым строилась модель МЛР. Это говорит о еще более сильной связи между предикторами и предиктантом. Кроме того, данный факт оправдывает использование полученной статистической модели для оценочных расчетов ПП по площади льда и падающей SWR. К сожалению, модель МЛР несколько недооценивает величины локальных максимумов ПП в межгодовом ходе, но минимумы при этом воспроизводятся достаточно адекватно.

Недостатки полученного решения связаны в первую очередь с простотой используемой биогеохимической модели, в которой реализован лишь некоторый "обобщенный" фитопланктон, лимитирующийся только концентрацией нитратов и коротковолновой радиацией.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0015) при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16-55-76021). Работа была поддержана в рамках проекта ERANet EXOSYSTEM (грант 01DJ16016) Федеральным министерством образования и науки Германии. Расчеты проводились на вычислительном кластере DKRZ.

Литература

1. Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman, and C. Heisey, A finite-volume, incompressible Navier-Stokes model for studies of the ocean on parallel computers, *J. Geophys. Res.*, 102(C3), 5753–5766, 1997.
2. Sein D.V., Mikolajewicz U., Groger M., Fast I., Cabos W., Pinto J.G., Hagemann S., Semmler T., Izquierdo A., Jacob D. Regionally coupled atmosphere-ocean-sea ice-marine biogeochemistry model ROM: 1. Description and validation // *J. Adv. Model. Earth Syst.* 2015. 7. p. 268-304.
3. Martyanov S. D., Dvornikov A. Yu., Gorchakov V. A., Losa S. N. Model estimates of the ecosystem contribution in the carbon dioxide exchange between the ocean and the atmosphere in the Barents Sea. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2017, Т. 10, № 1, 11-16.
4. Martyanov S. D., Dvornikov A. Yu., Ryabchenko V. A., Sein D. V., Gordeeva S. M. Investigation of the relationship between primary production and sea ice in the arctic seas: assessments based on a small-component model of marine ecosystem (in English). *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2018, Т. 11, № 2, 108-117.
5. Мартьянов С.Д., Дворников А.Ю., Рябченко В.А., Сеин Д.В., Гордеева С.М. Изучение связи первичной продукции и морского льда в арктических морях на основе математического моделирования. В книге: *Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития, Труды II всероссийской конференции.* 2018. С. 436-439.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ВФ ФГБУ "ГГИ"

Решетников Ф.Ю., Бубенчиков С.В., Марунич А.С.
Валдайский филиал ФГБУ «ГГИ», г. Валдай, Россия

PERSPECTIVES OF EXPERIMENTAL RESEARCHES IN THE EXPERIMENTAL SITE OF THE VALDAY BRANCH OF THE STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE

F.Y. Rechetnikov, S.V. Bubenchikov, A.S. Marunich
The Valdai branch of the STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE, Valdai, Russia

В данной статье приводится история создания ВФ ФГБУ «ГГИ» и экспериментальных исследований, а так же современное состояние и перспективы развития.

This article presents the history of the creation of the Valdai branch of GGI and experimental research, as well as the current state and prospects of development.

История создания.

В 1933 году район водоразделов Волги, Невы и Западной Двины был намечен для постановки изучения стока и других элементов водного баланса на малых водосборах путём создания Валдайской гидрологической станции. Основные направления работ с первых лет её существования включали:

- изучение стока малых водосборов с различными ландшафтными условиями;
- изучение стока по склонам с помощью стоковых площадок;
- изучение испарения с почвы и открытой водной поверхности.

В 1934 году были открыты первые водомерные посты в бассейне реки Полометь, начата организация первой стоковой площадки, наблюдения за осадками, уровнем грунтовых вод и проведены первые снегосъёмки. С 1936 года начаты наблюдения над испарением с водной поверхности и почвы, наблюдения над конденсацией и влажностью почвы.

К 1941 году состав работ значительно расширяется станция начинает приобретать контуры научно-исследовательского учреждения, неотложными становятся задачи технического перевооружения всех видов экспериментальных работ с целью повышения точности измерений.

С осени 1941 года работы были прекращены. Послевоенный период был, по сути, созданием новой крупной экспериментальной базы на основе принципиально новых положений.

К 1949 году было завершено строительство первоочередных объектов станции, которая превратилась в крупную экспериментальную базу. В 1950 году станция реорганизована в научно-исследовательскую лабораторию ГГИ с сетью стоковых и ливнемерных пунктов.

В 1952 году научно-экспериментальное оборудование ВНИГЛ составляют следующие объекты:

1. Гидрометрические сооружения постоянного типа на логах и речках.
2. Воднобалансовые площадки для изучения поверхностного и подземного стока.
3. Площадки для изучения поверхностного стока.
4. Водонепроницаемые площадки для изучения водоотдачи снега в период таяния.
5. Метеорологические станции (лес, поле).
6. Водные испарители разных систем и способов установки (в том числе плавучие).
7. Почвенные испарители разных конструкций (лесные, полевые).
8. Дождемерные точки (в том числе оборудованные самописцами).
9. Скважины для наблюдения за уровнем подземных вод.
10. Пункты измерений глубины промерзания почвы (мерзлотомеры).

Основные научные задачи:

- изучение стока:
влияние леса на сток, водоотдача склонов, формирование максимального стока,
- изучение атмосферных осадков:
снежный покров, ливневые осадки
- изучение испарения:

испарение с суши, испарение с водной поверхности

Основные экспериментальные объекты и исследования, результаты.

1.1. Осадкомерный полигон.

Осадкомерный полигон Государственного гидрологического института был создан в 1963 году по инициативе директора института В.А. Урываева как реализация замысла нового крупного направления в работе ВНИГЛ – детального научного исследования свойств осадкомеров разных типов, разных способов их установки, ошибок измерения осадков разными способами и возможностей введения поправок в результаты измерений.

Основанием для создания стационарного полигона послужили многочисленные опыты и эксперименты, выполненные на стоковых станциях и в экспедициях института.

В первые годы программа работ была подчинена оценке относительных различий в показаниях осадкомеров. Проходили испытания различных конструкций ветровых защит осадкомеров. В процессе этих работ помимо луговой площадки была оборудована ещё одна – кустарниковая площадка.

На основании полученных результатов осадкомерный полигон ВФ ГГИ признан ВМО эталоном для взаимосравнения осадкомеров и получил специальный статус «Валдайская контрольная система» (ВКС).

Наиболее фундаментальным результатом явилась разработка методики введения поправок на ветровую недоучет осадков.

В настоящее время на Осадкомерном полигоне решаются задачи по испытанию и взаимосравнению современных автоматических осадкомеров различных типов.

Независимо от преходящих временных задач, на полигоне продолжают наблюдения по осадкомерам составляющим его базовую основу, расположенным на луговой и кустарниковой площадках (ВКС).

На территории Осадкомерного полигона расположена Береговая водноиспарительная площадка, которая используется как тестовая для продолжения работы по методическому руководству на сети воднобалансовых станций.

1.2. Озеро.

Первые исследования гидрологических, химических и биологических условий озёр Валдайского и Демянского уездов выполнялись А.А. Лебединцевым в 1902 – 1905 г.г.

В 1925 году выполнена батиметрическая съёмка озёр Валдайское и Ужин с целью обеспечения работы Шуйской ГЭС на реке Валдаике.

Водомерный пост работает с осени 1935 года. Н.Я. Верхало публикует отчёт с данными определения хлоридов в поверхностных и грунтовых водах, П.П. Воронков в 1945-46 гг. определяет содержание главных ионов водной массы Валдайского озера. С осени 1950 года наблюдения за испарением с водной поверхности и сопутствующими метеоэлементами организуются на плавучей водноиспарительной установке ВНИГЛ, а с 1952 года проводятся регулярные измерения температуры по глубине. С 1974 года под руководством Т.Н. Филатовой проводятся работы по наблюдению за течениями в водной массе озера Валдайского с применением различных приборов и методов. Разработана термодинамическая модель Валдайского озера.

С 1975 года Валдайский Филиал ГГИ ведёт мониторинг гидрохимического режима системы озёр Валдайское и Ужин и их водосборного бассейна.

В результате совместных комплексных работ с участием ГХИ, ГГИ, НПО «Тайфун», института озероведения РАН, специалистов из ВНИИПрирода была сформирована база данных, проведён расчёт биогенной нагрузки, получены характеристики притока веществ, содержание их в водной массе, донных отложениях, макрофитах и рыбе.

В настоящее время продолжают режимные наблюдения на озёрном водпосту и постоянных рейдовых вертикалях озёр Валдайское и Ужин, отбор проб в рамках программы мониторинга состояния водосбора и экосистемы озёр.

1.3. Радиолокационные наблюдения.

Первый опыт радиолокационных наблюдений за атмосферными осадками на Валдае проводился ЦАО на базе ВНИГЛ в 70-е годы при испытании первого советского локатора МРЛ-1. Следующим этапом была установка МРЛ-2, локатор использовался для отслеживания перемещения полей осадков. В рамках этих работ в бассейне реки Поломети был организован

специальный полигон площадью 1600 км² с расположенными на нём осадкомерами Третьякова и плювиографами. Обслуживание работы полигона выполнял специальный штат наблюдателей. Отсутствие в то время высокоточных приборов и методов измерения атмосферных осадков в режиме реального времени, а также невозможность оперативной обработки большого количества поступающей информации не позволили получить желаемый результат.

Дальнейшее совершенствование систем локационного наблюдения за осадками и развитие компьютерных технологий и программного обеспечения привело к созданию комплекса АКСОПРИ на базе МРЛ-5 и последовавшего за ним ДМРЛ-С, государственные испытания которого происходили на базе ВФ ФГБУ «ГГИ»

1.4. Русловая лаборатория.

Река Полометь вытекает из озера Русского и впадает в реку Полу с правого берега. Длина реки около 150 км, перепад высот от истока к устью – 149 м. Однако продольный профиль тальвега долины существенно неравномерен.

Гидрометрические посты распределены по всей длине реки Поломети и на её притоках.

Полевой экспериментальный комплекс ГГИ для изучения русловых процессов был создан на реке Поломети у села Яжелбицы.

Первые измерения расходов воды были выполнены в 1952 г., а первые экспериментальные измерения поля осреднённых скоростей потока были начаты в 1956 г. Натурные наблюдения за перемещением гряд наносов в русле проводились с 1955 г. с помощью уникальной установки – эстакады, передвигавшейся по рельсовым путям, проложенным по обоим берегам реки на участке гидрологического поста в Яжелбицах.

Многолетние наблюдения за речным потоком, наносами и руслом реки Поломети позволили получить обширный и разносторонний материал. На разных участках реки изучались такие процессы и явления, как: макроформы речного русла (свободное меандрирование), структура поля осреднённых скоростей и вторичных течений, механизм затопления и опорожнения поймы, микроформы руслового рельефа, макротурбулентность речного потока, режим взвешенных наносов, режим уровней и расходов воды, а также большие скопления наносов и неравновесные процессы в формировании русла реки Поломети. Важнейшей особенностью этих исследований является их единая методология, базирующаяся на основных положениях гидролого-морфологической теории руслового процесса, сформулированных Н. Е. Кондратьевым и И. В. Поповым.

В настоящее время водомерные посты в верховьях реки Полометь и на её притоках оснащены современными автоматическими уровнемерами. Сохранены наблюдения на притоках с особенностями формирования стока. Полигон в Яжелбицах переоборудован для испытания и взаимосравнения современных АГК. Сохранены посты в нижнем течении реки Полометь в Ермошкино и Лычково.

1.5. Лог Таёжный.

Исследование гидрологической роли леса является одной из прикладных научных задач гидрологии. В рамках изучения этой проблемы в ВФ ФГБУ «ГГИ» в течение многих лет проводились значительные экспериментальные исследования по оценке соотношений элементов водного баланса малых лесных, полевых и малозалесённых водосборов. Они охватывали разные физико-географические зоны Европейской части страны.

Большой объём работ был выполнен на водосборе лога Таёжный и его притоках. Помимо комплекса воднобалансовых наблюдений производились измерения на уникальной градиентной установке, состоящей из трёх мачт, расположенных в массиве взрослого леса. Установка позволяла размещать по вертикали от поверхности земли до высоты 40 м. гирлянду приборов для измерения основных метеоэлементов.

На примере водосбора Синяя Гнилка и других участков показан процесс изменения водного и теплового режима водосбора под влиянием лесоразведения.

В результате выполненных исследований установлено, что лесные территории способствуют увеличению атмосферных осадков. При этом над лесом выпадает осадков на 6 – 14% больше, чем над безлесными участками. Увеличение количества жидких осадков обусловлено внутримассовыми осадками. В отдельные годы наблюдаются более заниженное количество осадков над лесом, чем над полем, что особенно характерно для лесостепной зоны. Это различие

в сумме осадков в отдельные годы определяется особенностями атмосферной циркуляции в данной зоне.

В настоящее время продолжают опорные гидрологические наблюдения за стоком в замыкающем створе, уровнями грунтовых вод, осадками, испарением с почвы (почвенный и болотный испарители). Восстановлены на современном уровне наблюдения на лесной градиентной установке (три различных установки CAMPBELL), для оценки и измерения потоков парниковых газов.

1.6. Центральная Усадьба.

На территории Центральной Усадьбы ВНИГЛ были сосредоточены основные научные установки и здания служебного и хозяйственного назначения. Здесь расположены: метеостанция, водослив Лога Центрального, стоковые площадки, методическая водноиспарительная площадка, павильон мерзлотоведения, куст скважин для наблюдения за уровнем грунтовых вод, почвенно-испарительные площадки, болотная секция, стоковые площадки с лесопосадками, музей гидрологических приборов.

Работы по изучению процесса снеготаяния и испарения с поверхности воды и суши явились основой для создания методов изучения и расчёта этих элементов водного баланса. Теоретические разработки ВНИГЛ использовались при создании сети водноиспарительных и воднобалансовых станций. Полученные выводы использованы для создания методических пособий по расчёту водного баланса речных водосборов.

В настоящий момент все основные результаты экспериментальных наблюдений занесены в электронный архив данных, созданный под эгидой ВМО. Создана современная комплексная система сбора, обработки и анализа экспериментальных данных в режиме реального времени.

Продолжает свою работу метеостанция в комплексе с актинометрическими наблюдениями, проводятся режимные наблюдения за испарением с почвы и уровнем грунтовых вод. Сохраняется и пополняется экспозиция музея.

Продолжается выполнение экспериментальных наблюдений для решения частных прикладных задач, в настоящее время в основном в рамках договорной тематики.

Продолжается международное сотрудничество. Проводятся практики студентов ВУЗов, курсы повышения квалификации. Разработан ряд программ для решения практических задач инженерной гидрологии.

Выводы

В современных условиях постановка и проведение комплексных экспериментальных исследований элементов водного баланса является крайне сложной и дорогостоящей задачей. Зачастую экспериментальные исследования подменяются моделированием, что не всегда корректно без натурального подтверждения.

Сохранённые экспериментальные объекты, длительные ряды опорных данных, кадровый потенциал, наличие инфраструктуры делают ВФ ФГБУ «ГГИ» уникальной базой для постановки и решения широкого спектра экспериментальных исследований при разумных экономических затратах.

На основе вышеизложенного мы готовы к любым видам сотрудничества на взаимовыгодных условиях. В качестве примера можно привести работу по Лесному опытному участку «Таёжное», в которой по теме 1.3.6.1 Росгидромета участвуют:

Непосредственные исполнители:

1. ФГБУ "ГГИ"
2. ФГБУ "ГГО"
3. ФГБУ "ИГКЭ Росгидромета и РАН"
4. ФГБУ "НИЦ "Планета"
5. ФГБУ "НПО Тайфун"

Организации, участвующие на основе творческого сотрудничества

1. Институт географии РАН
2. Институт лесоведения РАН
3. Институт физики атмосферы РАН
4. Центр экологии и продуктивности лесов РАН
5. МГУ им. М.В. Ломоносова
6. Уральский федеральный университет
7. Международный университет природы, общества и человека (г. Дубна)

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИИ ПРОЛИВА СУХАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ

А.Д. Маховиков, Р.Е. Смагин, М.В. Иванов.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

HYDROLOGY FEATURES OF SUHAYA SALMA STRAIT, WHITE SEA

A.D. Makhovikov, R.E. Smagin, M.V. Ivanov.

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Отдельные участки акватории пролива Сухая Салма Белого моря характеризуются специфическим водообменом, следствием которого становится формирование в летний период хороших условий для жизненного цикла трёхиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*.

Some areas of Suhaya Salma Strait (White Sea) are characterized by specific water exchange, which results in the formation of good conditions during the summer for the life cycles of *Gasterosteus aculeatus*.

Пролив Сухая Салма (рис 1) – водоём в Кандалакшском заливе Белого моря, система заливов и малых проливов, акватория, при высоком уровне разделяющая острова Бол.Горелый и Кереть. Берега пролива сильно изрезаны, при отливе осушаются обширные литоральные участки. Наибольшие глубины в проливе (10-12м) отмечаются со стороны Большого Керетского рейда, обращённого в сторону устьевой области реки Кереть. Примечательным местом является неглубокий залив, представляющий полуизолированный водоём – «лагуна» Колюшковая, вдающаяся в о.Бол.Горелый и при отливе отгороженная от Сухой Салмы осушающимися каменистыми участками), гидрология которого сильно отличается от остальной акватории [3].

В последние годы этот объект привлекает внимание исследователей природы Белого моря (океанологов, гидробиологов и др.), поскольку лагуна активно посещается популяцией трёхиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*, которая играет существенную роль в питании прибрежных рыб в летний период и является важной частью морской экосистемы [1]. Океанологические исследования в Сухой Салме проводились в ходе летних сезонов 2018-19гг. (в лагуне и на мористой акватории), при этом повышенное внимание уделялось термохалинному режиму. В ходе измерений были получены сведения о колебаниях уровня (при помощи гидрометрических реек), данные по температуре и солёности воды (вертикальное профилирование - при помощи CTD-зонда Ocean Seven 316 Plus (Idronaut, Italy), течениям (регистратор течений «Вектор-2»), концентрации хлорофилла, кислорода и др. (CTD-зонд YSI6600V2-03, YSI Inc., USA). Численность и распределение трёхиглой колюшки были исследованы с помощью закидного равнокрылого невода (7,5м длиной, ячея в кутке 1,0мм). Работа проводилась в 2018г., в частности, в июне оценивалась взрослая колюшка, пришедшая на нерест, в августе - молодь колюшки этого года. Качественный и относительный количественный состав рыб других видов исследовались с помощью набора жаберных сетей (4 сети, ячея 16, 20, 30 и 40мм, длина 30м, высота 1,8м).

Для эксперимента в Сухой Салме были выбраны две точки: 1) морская (66°18'38''с.ш.; 33°38'58''в.д.) и 2) в лагуне (66°18'50''с.ш.; 33°38'38''в.д.) (рис.1):



Рис.1. Пролив Сухая Салма, Кандалакшский залив, Белое море (места наблюдений за уровнем моря указаны точками), масштаб 1:30000.

Работы производились в летний период, при различных астрономических условиях (сизигия, квадратура). Наблюдения за уровнем моря показали, что колебания уровня в лагуне существенно отличаются от хода уровня на внешней (морской) акватории Сухой Салмы. Уровень воды в лагуне меняется незначительно, а заток вод со стороны моря происходит лишь во время сизигийного прилива (рис.2):

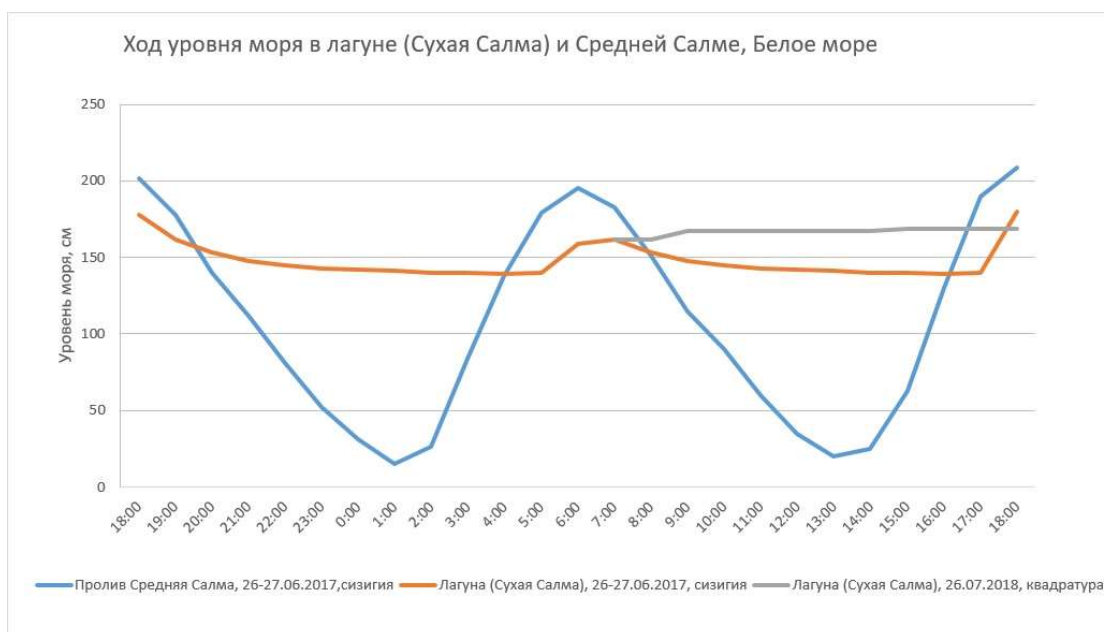


Рис.2. Колебания уровня моря в Сухой Салме («лагуне») (26-27.06.2017, сизигия, и 26.07.2018, квадратура) и типичные приливные колебания уровня в проливе Средняя Салма (26-27.06.2017).

Это связано с замедленным водообменом, ввиду наличия каменистых перемычек, осыхающих на литорали во время отлива, и небольшого островка, прикрывающего лагуну от моря. Глубины в лагуне не превышают 3-4 м.

В летний период толща воды в «лагуне» термически неоднородна – верхний слой (до глубины 1м) хорошо прогревается (иногда до 24-25°C, июль 2018г.). В тёплое время года температура этого слоя в лагуне и мористой части Сухой Салмы заметно отличаются (например, 18-19°C – в лагуне, и 9-10°C – на мористой акватории, июнь 2019г.). Солёность верхнего слоя также неодинакова (21-22‰ и 18-20‰ в июне 2018г., 19-20‰ и 22-23‰ в июне 2019г., в лагуне

и мористой части, соответственно). Её изменчивость зависит от объёмов речного стока и особенностей перемешивания разнородных вод вблизи устьевой области р. Кереть. В слое 1-2,5 м (лагуна) отмечается слой скачка температуры и солёности, причём зачастую здесь наблюдается изотермия, а на внешней (морской) части Сухой Салмы расслоение вод выглядит иначе (рис.3):

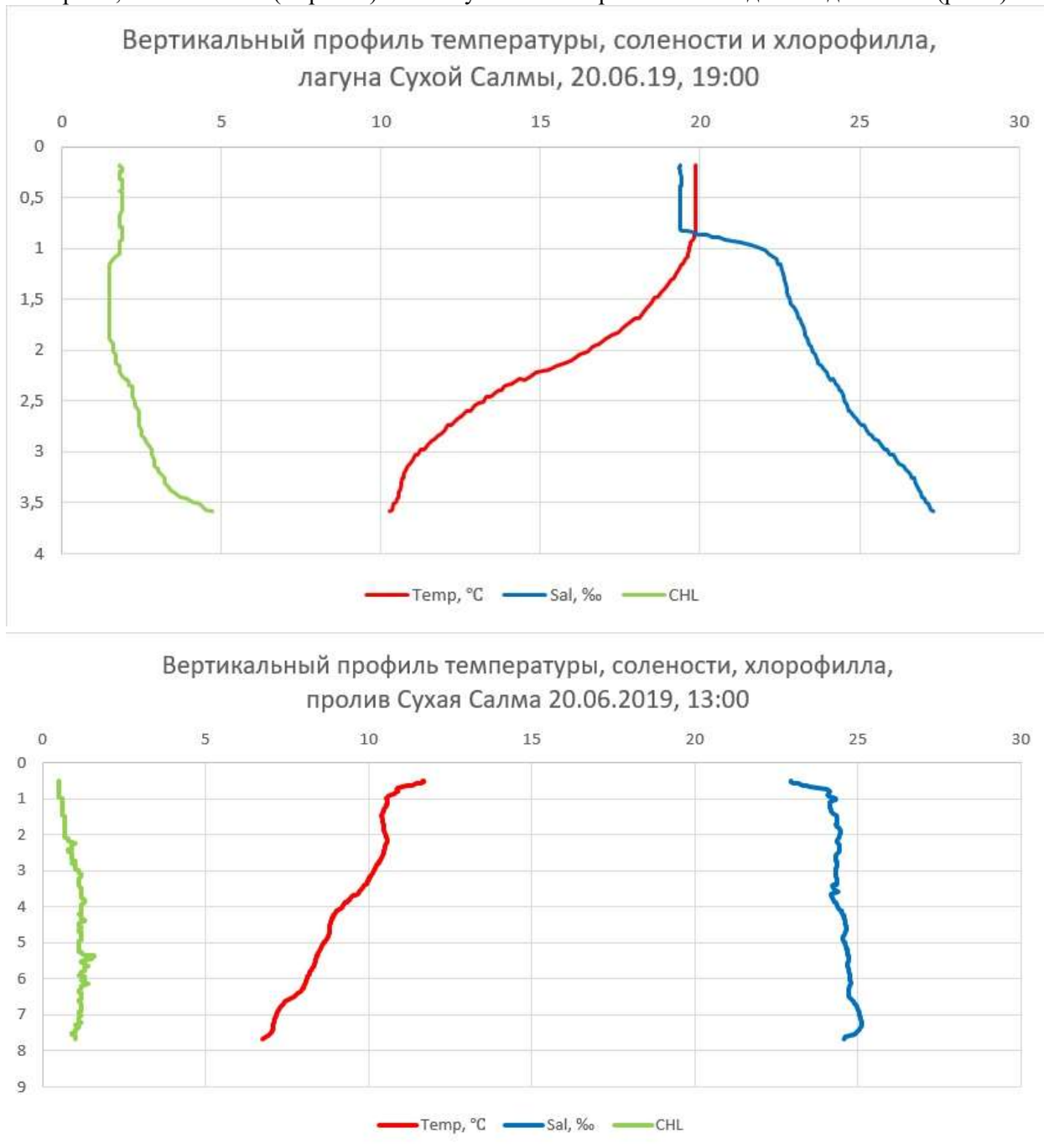


Рис.3. Вертикальные профили температуры, солёности и хлорофилла в лагуна и в проливе Сухая Салма, 20.06.2019.

В наиболее глубокой части лагуны можно выделить третий, придонный слой с повышенной солёностью и пониженной температурой. Характерной особенностью его является то, что вследствие замедленного водообмена большую часть слоя занимают иловые воды (пропитывающая донные осадки морская вода). В целом солёность глубинных вод лагуны в летний период в целом на 2-3‰ больше, по сравнению с глубинными водами на внешней акватории.

Обнаружилось, что выхолаживание вод (например, временное похолодание в конце июля 2019г.) в лагуна Сухой Салмы и прилегающей акватории происходит различным образом. Так, в

начале похолодания температура верхнего слоя (до 0,7-1м) повсюду составляла 13,5-14°C. В то же время, в нижнем слое вод лагуны (1,5-2м) ещё оставалась тёплая вода (до 19°C), которая на морской акватории, вследствие активного ветрового перемешивания и выхолаживания, уже не отмечалась (рис.4):

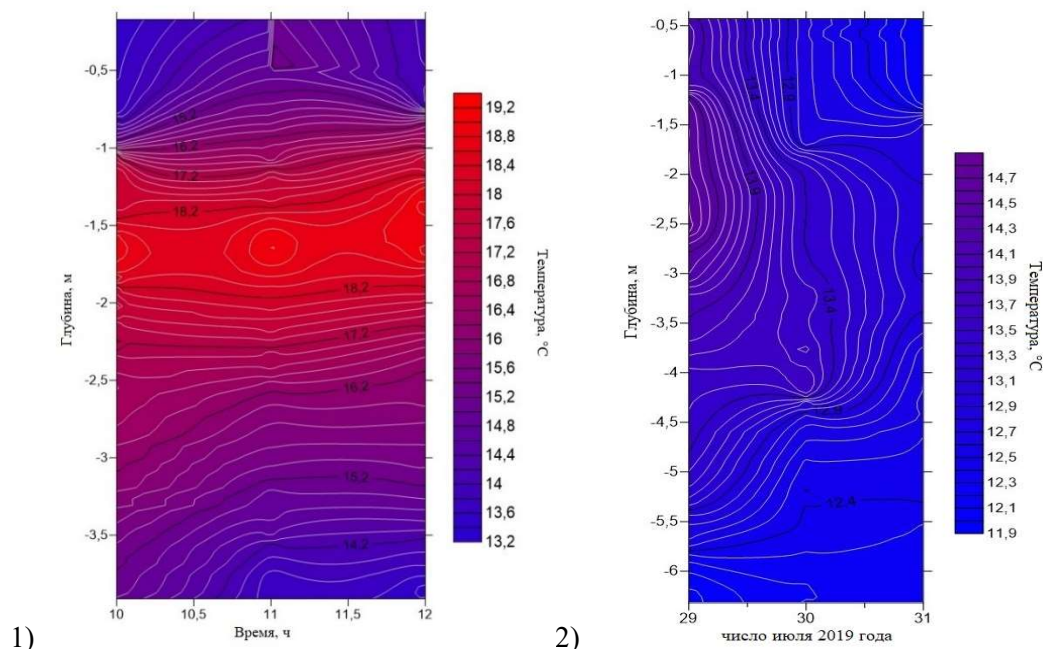


Рис.4. Временной ход температуры воды в лагуне (Сухая Салма) (29.07.2019 с 10:00 до 12:00) и в Средней Салме (с 29.07. по 31.07.2019).

Содержание растворённого кислорода и его насыщенность в водах лагуны в летний период имеет тенденцию увеличения значений от поверхности до дна (с 7,5-9 до 12 мг/л и от 100 до 120-130%, соответственно), что снова можно объяснить характером водообмена и невысокими скоростями течений внутри лагуны (не более 8-10 см/с).

Всего в лагуне было обнаружено 8 видов рыб. Из них массовыми были трёхиглая и девятииглая колюшки. Относительно частыми – полярная камбала и сельдь. Единично отмечены: корюшка, навага, керчак и рогатка. В Белом море взрослая трёхиглая колюшка во время нереста в июне и молодь в течение прибрежного нагула в августе являются массовым кормом для хищных рыб: трески, керчака, наваги [2]. Практически полное отсутствие хищников в лагуне создаёт благоприятные условия для успешного нереста взрослых колюшек и выживания мальков. Взрослая трёхиглая колюшка приходит на нерест в лагуну в то же время, что и на окружающих морских нерестилищах – самое начало июня. Её численность в лагуне не отличается от таковой в проливе Сухая Салма и составляет 10-25 экз./м². В июле отнерестившиеся колюшки быстро уходят от берега и к середине июля на нерестилищах остаются единичные экземпляры. Численность мальков трёхиглой колюшки в середине августа в лагуне составляет 2-4 экз./м², что достоверно больше чем в проливе Сухая Салма – 0,5-1 экз./м². Также мальки в лагуне достоверно крупнее, средний размер мальков в середине августа в лагуне 18,9±0,51мм, а в прилегающей части пролива Сухая Салма – 16,0±0,53мм. К концу августа мальки колюшки, достигшие размера 20-25мм, начинают откочёвывать в открытое море. При этом на морских нерестилищах их численность снижается до долей единицы на м², но практически не увеличивается средний размер мальков, так как более крупные мальки покидают нерестилища. Мальков крупнее 22мм можно найти только в лагуне, где они и растут быстрее, и задерживаются с выходом в море из-за изолированности акватории.

Таким образом, особенность водообмена, термический и солёностный режим вод, повышенное содержание кислорода, затруднённый для прохода хищных рыб в лагуне Колюшковая создают оптимальные («тепличные») условия для жизненных циклов некоторых гидробионтов (например, трёхиглой колюшки).

Работа выполнена при технической поддержке РЦ «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-04-01052 «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и побережья Белого моря».

Литература

1. Демчук А.С., Иванов М.В., Иванова Т.С., Полякова Н.В., Головин П.В., Лайус Д.Л. Питание беломорской трёхиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) на нерестилищах. Труды Карельского научного центра РАН. 2018, №4, с. 42-58.
2. Bakhvalova A.E., Ivanova T.S., Ivanov M.V., Demchuk A.S., Movchan E.A., Lajus D.L. Long-term changes in the role of threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* in the White Sea: predatory fish consumption reflects fluctuating stickleback abundance during the last century // *Evolutionary Ecology Research*, 2016. — Vol. 17, P.317-334.
3. Ионов В.В., Май Р.И., Рубченя А.В., Смагин Р.Е. Гидродинамика полуизолированных приливных акваторий Кандалакшского залива Белого моря. В сборнике: Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы Труды Всероссийской конференции к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. 2017., с. 242-245.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА МАЛЫХ РЕКАХ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОСАДКОВ

Мельничук А.Ю.¹, Мельничук Ю.В.², Марунич А.С.², Варенцова Н.А.¹, Савелов Е.Л.¹.

¹ФГБУ «Центральное УГМС», ²Валдайский филиал ФГБУ «ГГИ»

OPERATIONAL ESTIMATION OF THE WATER LEVEL'S DYNAMIC ON SMALL RIVERS USING THE RADAR PRECIPITATION DATA

Melnichuk A.Y.¹, Melnichuk Y.V.², Marunich A.S.², Varentsova N.A.¹, Savelov E.L.¹.

¹FSBI CANEM, ²Valday department of FSBI SHI,

Представлены первые результаты использования радиолокационных данных об осадках в теплый период года для прогноза стока малых рек для густонаселенных территорий при отсутствии метеорологических станций в пределах водосбора.

We present the experience of usage of the radar precipitation data for the short-term flow forecast for small rivers within densely populated watersheds which are poorly covered by in-situ observations.

Рост антропогенной нагрузки на речные водосборы и изменение климата, сопровождающееся увеличением числа опасных явлений, – все это ставит перед гидрологическим прогнозированием задачи повышения заблаговременности, охвата, увеличения дискретности во времени и пространстве предсказываемых величин.

Важную роль при этом играют прогнозы развития паводков на реках в теплый период года. Точность их напрямую зависит от качества входной информации, а именно, от начальных условий (впитывающая способность водосбора и русловые запасы), а также временного и пространственного распределения осадков по водосбору. И если для оценки первой части советскими и российскими гидрологами был разработан целый ряд методик, то ситуация с временным и пространственным распределением осадков по водосбору и учетом его в прогностических методиках практически не прорабатывалась. Во-первых, требуется описание временного распределения выпадающих осадков с высокой степенью детализации. Еще советскими учеными было доказано, что плотность действующей осадкомерной сети не позволяет с достаточной надежностью описывать выпадение осадков на водосборе в часовом и суточном разрезах. Во-вторых, при выпадении обильных осадков уточнение развития гидрологической обстановки на современном уровне требуется с максимально возможной частотой.

На наш взгляд, решение поставленной задачи кроется в адаптировании радиолокационных данных о жидких осадках применительно к гидрологическим методикам прогнозирования. Небольшой опыт применения радарных данных для оперативного прогнозирования стока накоплен лишь в ряде стран мира, в том числе, в США, Германии, Австралии и Новой Зеландии. Но во всех этих странах степень покрытия радарными наблюдениями гораздо выше, чем в среднем по России.

Начатая в 2011 году установка отечественных доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С позволила организовать работу по оценке возможных подходов к применению радарных осадков для прогнозирования стока в условиях равнинного рельефа. На первом этапе в период с 2014 по 2017 гг подходы к использованию радарных данных об осадках отрабатывались на водосборе реки Полометь (Новгородская область) с использованием данных ДМРЛ «Валдай». На территории ФГБУ «Центральное УГМС» в качестве тестовых речных водосборов выбраны водосборы, попадающие в зону действия ДМРЛ «Москва» – Лама, Протва, Москва и ее притоки (Искона, Малая Истра, Озерна) и Серая. Площади водосборов выбранных рек варьируются в пределах от 278 до 1340 км², не превышая пороговой величины зонального водосбора. Это означает, что влияние местных факторов и поступление воды на водосбор для них максимально значимо при оценках ожидаемого изменения гидрологического состояния.

Выбор рек также определен степенью важности их для обеспечения потребителей гидрологическими прогнозами. Так, река Москва и ее притоки – это реки, формирующие приток воды к Москворецкой водной системе. Прогнозы развития паводков на них необходимы для обеспечения безопасности работы гидроузлов и недопущения формирования резких и высоких попусков в нижнем бьефе. Река Серая во Владимирской области – одна из наиболее часто затопляющих свою пойму рек в радиусе действия ДМРЛ «Москва». А реки Лама и Протва привлечены в качестве рек с условно-естественным режимом.

Рассматриваемые реки по классификации Б.Д. Зайкова относятся к восточноевропейскому типу внутригодового распределения речного стока, который характеризуется ярко выраженным высоким весенним половодьем, низкой летней меженью, прерываемой дождевыми паводками, и устойчивой продолжительной зимней меженью. Зимние паводки, вызванные таянием снега, проходят очень редко.

Интенсивность и частота дождевых паводков в очень большой степени зависит от местных условий. Увеличение стока в теплое время года наблюдается ежегодно, но четко выраженные паводки фиксируются не всегда. На выбранных реках при интенсивных продолжительных осадках паводки могут достигнуть величины половодья и даже превосходить его.

Фаза подъема паводка обычно занимает от 2 до 10 суток. Спад паводков – в 2 – 4 раза продолжительней подъема. Нередко во время спада паводков выпадают осадки, формируя новые кратковременные подъемы.

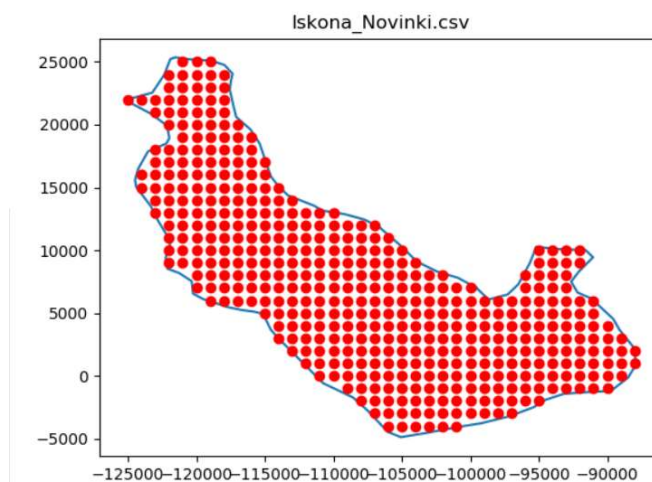
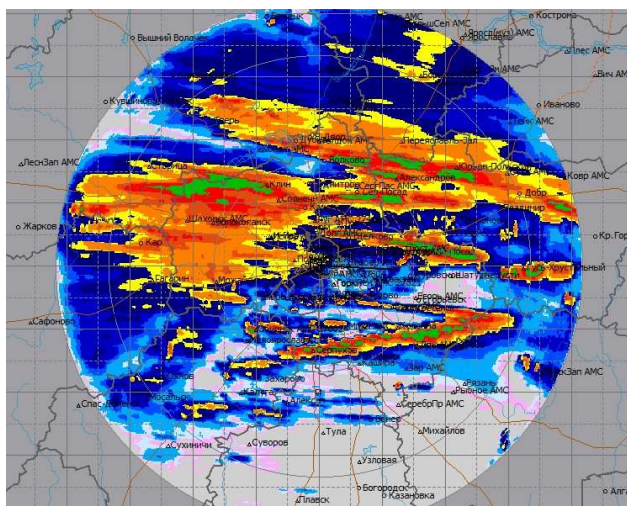


Рис.1. Карта суммарных осадков ДМРЛ «Москва»

Рис.2. Расчетная сетка для выборки р/л данных по водосбору р.Искона

Для расчета количества осадков, выпадающих на площади водосбора использовались данные об осадках с 10-минутным интервалом обновления с разрешением 1x1 км, полученные на ДМРЛ-С Москва-Профсоюзная в период 2016-2018 гг.

В процессе работы было разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитывать среднее количество осадков, выпадающих по площади водосбора за заданные промежутки времени по всем 10-минутным интервалам измерений.

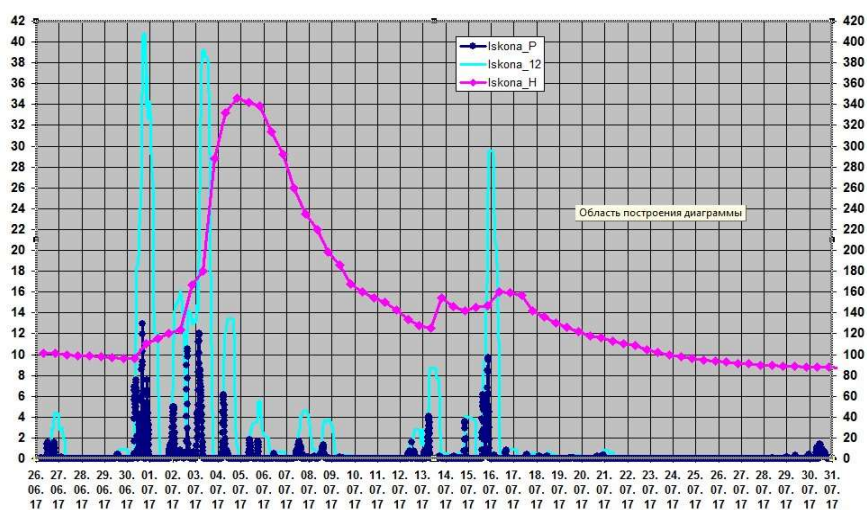


Рис.3. Река Искон. Июль 2017 г. а) 1-часовые суммы осадков (синий график), б) 12-часовые суммы осадков (голубой график), в) уровень воды (фиолетовый график)

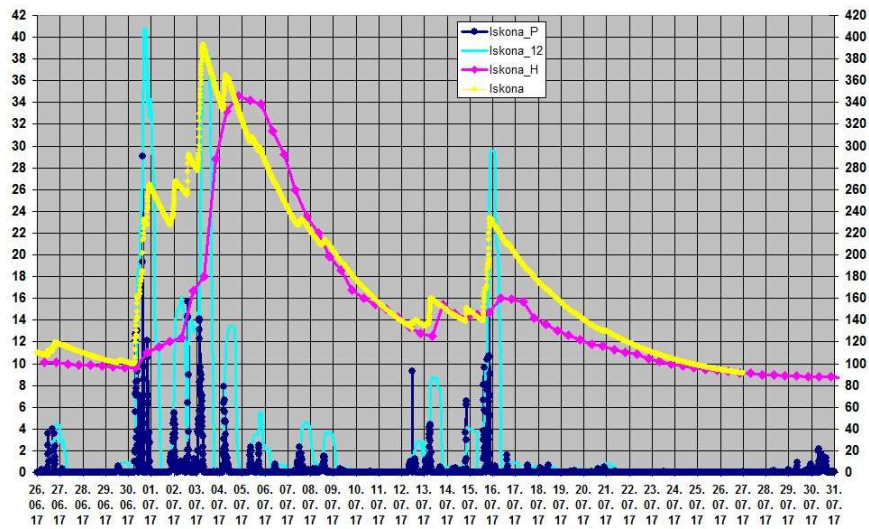


Рис. 4. Желтой линией показаны результаты расчета эмпирической модели уровня реки с учетом экспоненциально-весового коэффициента.

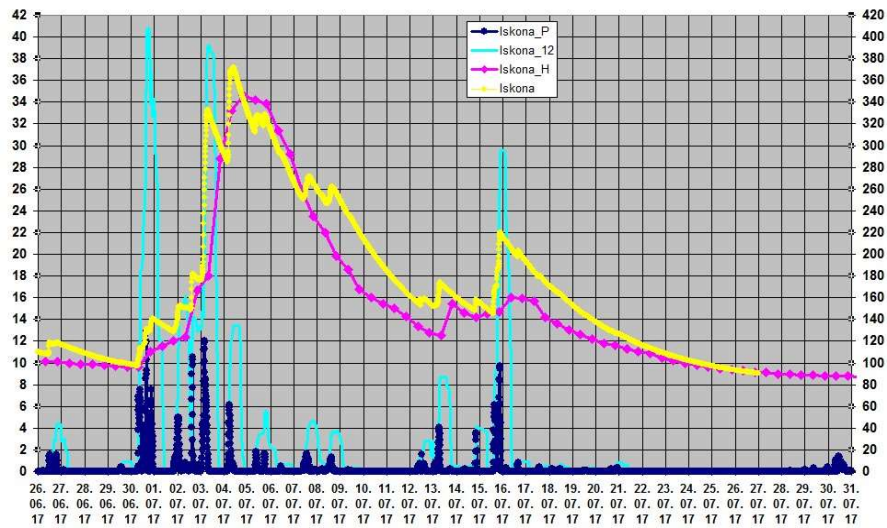


Рис. 5. Учет в расчетах состояния водосбора как функции уровня за предыдущие 12 часов позволяет более точно описать зависимость реакции уровня реки на выпадающие осадки (желтая линия)

Таким образом, в результате работы для каждого водосбора были выбраны обучающие выборки, хорошо работающие на данных за 2016-2018 гг, использование которых в прогнозировании дождевых паводков по этим рекам позволит улучшить оперативность реагирования при выпадении интенсивных продолжительных осадков на водосборе.

ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВЕСОВЫХ ОСАДКОМЕРОВ НА ВАЛДАЙСКОМ ПОЛИГОНЕ ГГИ – ЭТАЛОНЕ
ВМО. РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Ю.В.Мельничук¹, А.С.Марунич¹, С.Бубенчиков¹, А.Ю.Мельничук²

Валдайский филиал ГГИ, Валдай², Центральное УГМС, Москва¹

FIELD TESTS OF WEIGHING PRECIPITATION GAUGES ON THE VALDAI POLYGON OF SGI – REFERENCE
WMO. RESULTS AND RECOMMENDATIONS

Yu.V.Melnichuk¹, A.S.Marunich¹, S.Bubenchikov¹, A.Yu.Melnichuk²

Valdai division of SGI, Valdai¹, Central Regional administration of Roshydromet, Moscow²

Проведены полевые испытания весовых осадкомеров Плувио2 фирмы ОТТ. Показано, что результаты измерений весовых осадкомеров в значительной мере зависят от качества реализации логической процедуры, исключая влияние ложных положительных приращений веса приемного сосуда, не связанных с осадками. Показано, что для фактической оценки качества работы весовых осадкомеров требуется проведение регулярных тестовых испытаний всех модификаций этого типа измерителей.

Field tests of weighing precipitation gauges Pluvio2 from OTT were carried out. It is shown that the measurement results of weighing precipitation gauges largely depend on the quality of the implementation of the logical procedure, excluding the effect of false positive increments in the weight of the collection flask, not related to precipitation. It is shown that for the actual assessment of the quality of work of precipitation gauges, regular tests of all modifications of this type of gauges are required.

Современные весовые осадкомеры впервые в практике метеорологических наблюдений позволяют проводить непрерывные измерения осадков в автоматизированном режиме во все сезоны года. В последнее десятилетие ряд компаний в мире разработали и приступили к производству своих версий весовых осадкомеров, из которых разработка фирмы ОТТ (Германия) представляется наиболее удачной и надежной. В 2013 году по соглашению между Валдайским филиалом Государственного Гидрологического Института и фирмой ОТТ на Валдайском осадкомерном полигоне был установлен первый весовой осадкомер Плувио2. Следует заметить, что Валдайский полигон является единственной площадкой в стране полностью подготовленной для полевых исследований оборудования для измерения осадков. На нем много десятилетий функционирует площадка с кустовой защитой, на которой проводятся измерения осадков с помощью 3-х осадкомеров ОИ-1 в защите Третьякова, признанная международной командой специалистов ВМО в качестве эталона для сравнений, получившая обозначение Эталон_0 и позволяющая максимально снизить влияние ветрового воздействия на результаты измерения осадков. На открытой площадке полигона построены три конструкции с двойной заборной защитой для установки осадкомеров. Ручной осадкомер в защите Третьякова, устанавливаемый в такую защиту, по версии ВМО определяется как Эталон_1. На открытой площадке установлены ручные осадкомеры с различными типами защиты и автоматическая метеостанция для измерения метеопараметров и скорости ветра на стандартной высоте установки осадкомеров (2 м).

За прошедшие 5 лет в сравнениях на полигоне участвовало до 5-ти весовых осадкомеров Плувио2. В настоящее время используется вариант из 3-х осадкомеров, установленных по типу:

а) эталона_0 на площадке с кустовой защитой, б) в двойной заборной защите по типу эталон_1 и в) на открытой площадке с защитой Альтера

Выполненные за эти годы сравнения позволили оценить степень соответствия ручных и автоматических измерений при использовании весовых осадкомеров, а также показать необходимость продолжения работ по совершенствованию весовых измерителей осадков. Дело в том, что весовые осадкомеры при всей кажущейся простоте принципа измерений, имеют ряд проблем при их реализации. Естественно, главной задачей при этом является разработка системы измерения веса приемного сосуда, обеспечивающей высокую точность и постоянство параметров в широком диапазоне изменений весовой нагрузки и условий окружающей среды, прежде всего, температуры. Эта задача, как нам представляется, уже практически решена многими разработчиками, а качество измерений веса достаточно надежно проверяется предлагаемыми методами калибровки и поверки весовой системы. Вместе с тем сам принцип весовых измерений осадков, к сожалению, не сводится только к измерению веса приемного сосуда, а требует специальной процедуры перехода от веса сосуда для собранных осадков к количеству выпадающих осадков. Испарение антифриза из приемного сосуда в периоды отсутствия осадков приводит к уменьшению веса сосуда, в результате чего временной ход этого параметра имеет выраженные области положительных и отрицательных приращений, как показано на рис.1 (черная линия). Если использовать простое естественное предположение, что все положительные приращения веса за интервал измерений (в нашем случае 5 мин) обусловлены осадками, а отрицательные - испарением антифриза при их отсутствии, то мы получим типичный результат, показанный на рис.1, а именно, значительное превышение рассчитанных суммарных осадков над измеренными ручными осадкомерами и появление ложных осадков в период их фактического отсутствия – фиолетовая и коричневая кривые.

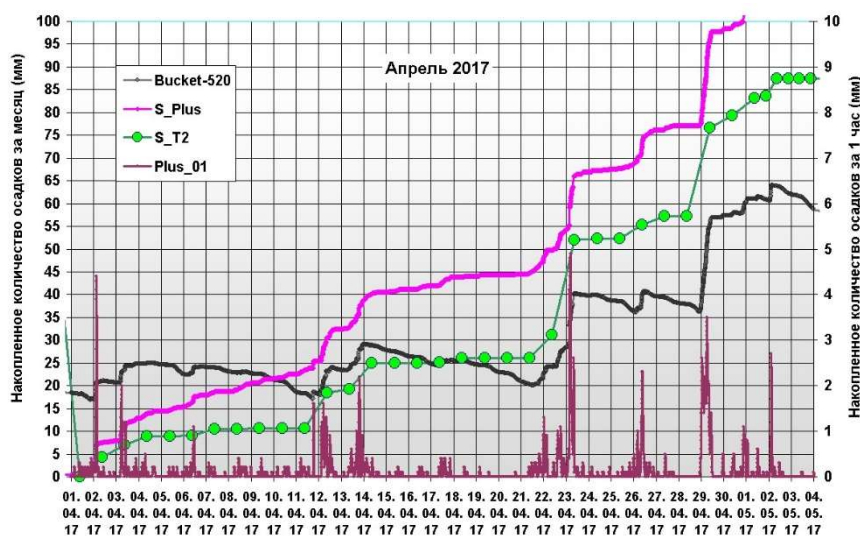


Рис.1. Апрель 2017. Временной ход а) веса приемного сосуда осадкомера Плювио2-(черная линия), б) суммарное количество осадков (фиолетовая) и в) часовые суммы осадков (коричневая), рассчитанные по всем положительным приращениям веса приемного сосуда (коричневая линия), в) количество осадков по осадкомеру Третьякова

Эти эффекты связаны с наличием шумоподобной составляющей в выходных данных весовых осадкомеров, обусловленной разными причинами, главными из которых могут быть колебания, как самих приборов, так и уровня жидкости в приемном сосуде в результате ветрового

воздействия. Для их устранения разработчиками используются различные логические процедуры, которые позволяют с той или иной степенью надежности выделять колебания веса, не связанные с осадками, и устранять ложные приращения из результатов расчета осадков. Реализация этих процедур выполняется встроенным в прибор процессором. При этом очевидно, что они по определению не могут иметь нормированную эффективность и в значительной мере зависят от конкретного сценария выпадения осадков. Ответ на вопрос о том, насколько правильно процедура обработки данных весового осадкомера оценивает выпавшие осадки, не может быть дан априори и фактически и является предметом полевых испытаний этого типа измерителей.

В нашей работе такие испытания выполнены для осадкомеров Плювио2. В качестве выходной продукции этих приборов для каждого последовательного интервала измерений выдается а) вес приемного сосуда в мм накопленных осадков (в реальном времени), б) количество осадков за интервал измерений в мм (после логической обработки встроенным процессором) и в) накопленное количество осадков от начала работы прибора или перезапуска процессора до конца текущего интервала измерений в мм (после логической обработки). Величины накопленного количества осадков за большие интервалы времени, рассчитанные по данным б) и в) по определению должны совпадать. Однако при логической обработке применяются, по-видимому, несколько отличные параметры, в результате накопленное количество осадков, рассчитанное как сумма осадков за интервалы измерений, всегда превышает оценку, полученную как разность накопленного количества в конце и начале периода расчета. Важно, что этот эффект имеет место только при выводе информации с разрешением 0.1 мм осадков. Для режима выдачи информации с разрешением 0.01 мм обе оценки совпадают между собой и с оценкой по накопленному количеству при разрешении 0.1 мм. Типичная картина, которая наблюдается при сопоставлении автоматизированных и ручных измерений показана на рис.2.

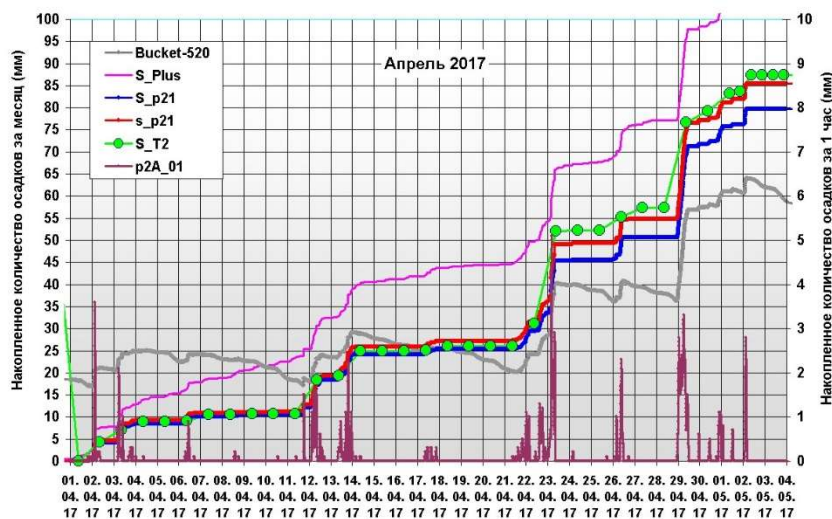


Рис.2. Апрель 2017. Временной ход параметров, рассчитанных по данным весового осадкомера Плювио2: а) накопленное количество осадков, рассчитанное как сумма осадков, измеряемых в каждый последовательный 5-минутный интервал выдачи данных (красная линия), б) то же, рассчитанное по приращению накопленной суммы осадков (синяя) и в) часовые суммы осадков, рассчитанных по 5-мин приращениям веса (коричневая линия)

На рис.3 приведены сводные данные по месячным суммам осадков за последние два года наблюдений, измеренные осадкомерами с различными вариантами ветровой защиты. В целом наблюдается достаточно хорошее совпадение данных с ожидаемым существенным отклонением в сторону занижения для ручного и весового осадкомеров с простой защитой в зимний период. На врезке в график приведена таблица со значениями суммарного количества осадков, измеренными за 2 года наблюдений, и их относительные отклонения от эталона_0.

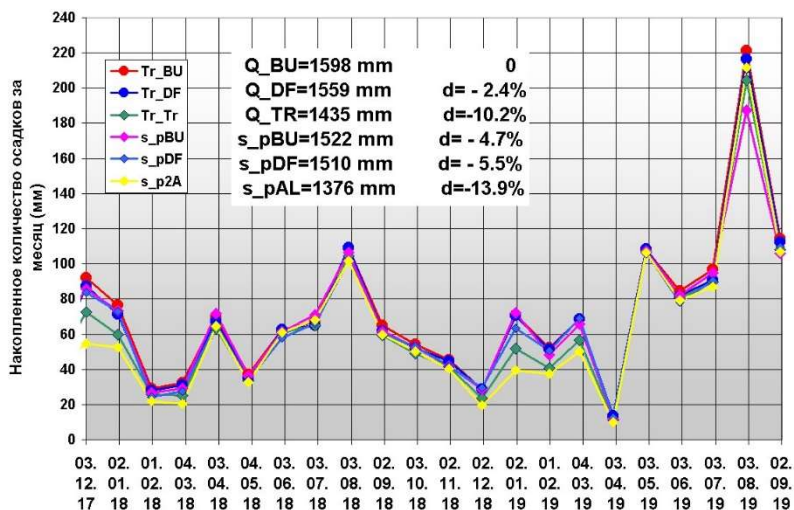


Рис.3. Результаты измерений месячных сумм осадков ручными и автоматизированными весовыми осадкомерами с различными защитами: а) в кустовой защите – красная и фиолетовая линии, б) в двойной заборной защите – синяя и голубая линии и в) ручной в защите Третьякова (зеленая) и весовой в защите Альтера (желтая)

Количественную оценку полученных отклонений дают графики относительных отклонений месячных сумм осадков, измеренных разными приборами, от данных эталона_0, приведенные на рис.4. На левой панели рисунка показаны относительные отклонения для весового осадкомера в кустовой защите. Синей линией показаны результаты при использовании значений количества осадков за последовательные 5-минутный интервалы осреднения, красной – по данным о накопленной сумме. Как и было показано выше, последние значительно отличаются от эталонных значений, особенно в зимний период. На центральной панели рис.4 приведены аналогичные данные для весового осадкомера в двойной заборной защите. Дополнительно желтой линией показано отклонение ручного измерителя в заборной защите от эталонных данных. На правой панели показаны данные для осадкомеров в простой защите. Обращает на себя внимание сильное отклонение данных весового осадкомера от ручных измерений в зимний период. Возможно, это связано с тем, что в наших испытаниях весовой осадкомер установлен в защите Альтера, а осадкомер для ручных измерений в защите Третьякова, и защита Альтера хуже парирует ветровой недоучет осадков. Но не исключено также и то, что в условиях большего воздействия ветра на открытые осадкомеры логическая обработка данных преувеличенно относит часть положительных приращений веса приемного сосуда к ложным, что приводит к занижению измеряемых осадков.

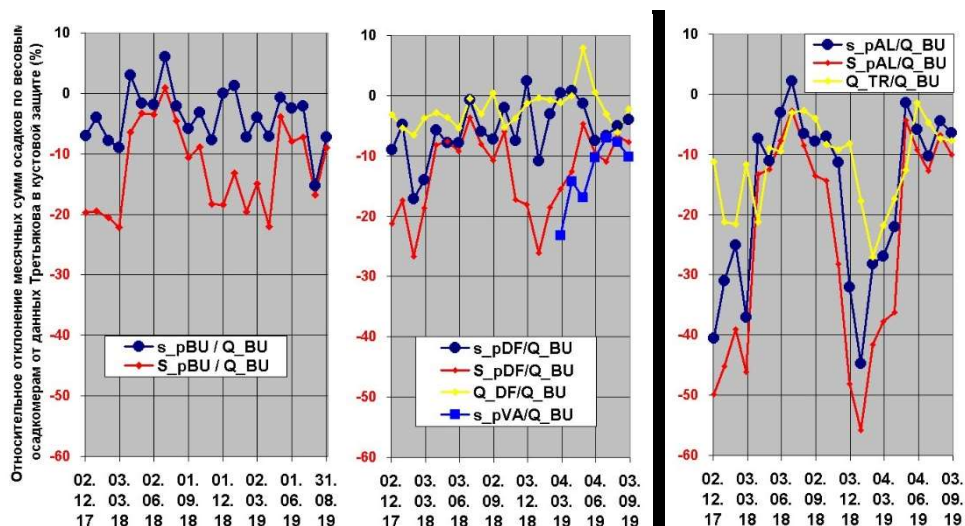


Рис.4. Относительные отклонения месячных сумм осадков по весовым осадкомерам в различных защитах от эталонных ручных измерений в кустовой защите.

В текущем году на полигоне начаты полевые испытания весового осадкомера VRG101 фирмы Вайсала, в достаточно большом количестве установленных на сети в составе автоматических метеостанций. Чтобы исключить влияние ветрового недоучета, осадкомер установлен в двойной заборной защите. Первые результаты, приведенные на центральной панели рис.4 (синяя линия), показывают, что осадкомеры этого типа могут существенно занижать количество осадков в холодный период года, но окончательный вывод может быть сделан только после завершения, как минимум, годового периода испытаний

Выводы и рекомендации.

1. Реализация принципа весового измерения осадков принципиально требует применения логической обработки информации для выделения и исключения из выходных данных ложных положительных приращений веса приемного сосуда осадкомера.

2. Результаты логической обработки, выполняемой встроенным в весовой осадкомер процессором, зависят от конкретного сценария выпадения осадков и метеоусловий, и не могут быть нормированы или поверены. При неудовлетворительной процедуре логической системы обработки данных весовой осадкомер может выдавать ошибочные данные при идеальном качестве системы измерения веса приемного сосуда.

3. В связи с этими обстоятельствами все модификации весовых осадкомеров, используемые на сети Росгидромета, должны подвергаться полевым испытаниям на осадкомерных полигонах, оборудованных, по крайней мере, двумя установками с двойной заборной защитой.

4. Для осадкомеров Плювио2 фирмы ОТТ, поставленных до 2014 года, в качестве выходного параметра следует использовать количество осадков за измеряемый интервал в режиме выдачи информации с разрешением 0.1 мм.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ МОРСКИХ ВОД В УСТЬЯ РЕК В МОРЯХ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

И.В. Мискевич, д-р географ. наук

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

SOME FEATURES OF THE MARINE WATER PENETRATION IN THE RIVER MOUTH IN THE SEAS OF THE WESTERN SECTOR OF THE RUSSIAN ARCTICS IN THE WINTER

I.V. Miskevich, Dr.Sc.

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

Рассмотрена специфика осолонения устьев рек в морях западного сектора российской Арктики в зимний период при наличии ледового покрова. Дальность проникновения морских вод в такие водные объекты зависит от объема речного стока, величины прилива, геоморфологии водотока и ледовых условий и может достигать 20-30 км и более. В устьях средних и крупных рек она заметно превышает условия, наблюдаемые в летнюю межень. В устьях малых не замерзающих рек может фиксироваться обратная картина.

The specifics of salinization of river mouths in the seas of the western sector of the Russian Arctic in the winter in the presence of ice cover are considered. The penetration range of sea water into such water bodies depends on the volume of river runoff, the magnitude of the tide, geomorphology and ice conditions, and can reach 20-30 km or more. In the mouths of medium and large rivers, it significantly exceeds the conditions observed in the summer low-water season. At the mouths of small non-freezing rivers, the opposite picture can be recorded.

Дальность проникновения морских вод в устья рек западного сектора российской Арктики в зимний период до настоящего времени исследована крайне слабо, включая процессы осолонения устьевых областей крупных рек. Для его многих средних и малых рек подобная информация чаще всего отсутствует. Здесь градация размеров рек дана в соответствии с ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения». Напомним, что под малой рекой принято понимать реку с площадью водосбора не более 2000 км², бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны. К категории больших рек относятся равнинные реки с площадью водосбора более 50000 км², к категории средних рек – с площадью водосбора от 2000 до 50000 км². Указанная проблема решается крайне медленно, несмотря на интенсивную хозяйственную деятельность в прибрежных зонах морей западного сектора российской Арктики при освоении месторождений углеводородного сырья в XXI веке.

Анализ имеющейся информации показывает, что характер осолонения устьев рек при ледоставе для больших и средних рек может кардинально отличаться от условий, наблюдаемых в устьях малых рек. Здесь и далее мы рассматриваем только квазистационарные процессы, не учитывая влияние мощных ветровых нагонов, которое во многом зависит от наличия и характера ледовых явлений на акватории моря, примыкающей к устью реки.

В таблице 1 представлены результаты натурных исследований квазистационарной дальности интрузии морских вод внутрь устьевых систем средних рек юго-восточной части Баренцева моря и большой реки Печоры, участие в которых принимал автор. В ней под конечной (речной) границей осолонения устьевых вод традиционно будем понимать изогалину в 1 ‰, практически совпадающую с минерализацией в 1000 мг/дм³. Морская граница для эстуариев определялась по геоморфологическим признакам, для устьевых областей рек с дельтами (реки Нерута, Печора и Черная) – по морскому краю дельт. Для рек Чёшской и Индигской губ, где наблюдаются приливы значительной величины и ярко выражена полусуточная приливная изменчивость солёности устьевых вод, во внимание принимались данные по периоду их наибольшего осолонения, т.е. для момента полной воды приливного цикла.

Вышеуказанная часть Баренцева моря характерна тем, что в устьях её рек в направлении с запада на восток наблюдается постепенная смена макроприливных условий на микроприливные. Их классификация дана согласно В.Н. Михайлову [1]: при величине сизигийного прилива (H)

0,3 м < $H \leq 1,6$ м наблюдаются микроприливные условия, при 1,6 м < $H \leq 2,8$ м – мезоприливные условия и при $H > 2,8$ м – макроприливные условия.

Дальность проникновения соленых вод внутрь устьевой области рек, указанная в таблице 1, в зимнюю межень определялась геоморфологией устьевых водотоков, в том числе, формирующей уклон водной поверхности, объемом речного стока и величиной прилива. В пространственном распределении рассматриваемого параметра можно отметить сначала его снижение по мере продвижения с запада на восток, но затем его увеличение по мере приближения к границе между Европой и Азией. Это, с одной стороны, обусловлено соответствующим пространственным уменьшением величины прилива, с другой стороны, более резким истощением речного стока в зимнюю межень по мере смещения на восток региона. Последний фактор играет доминирующую роль для устьев рек на низменных прибрежных территориях, что хорошо демонстрирует дальность осолонения реки Коротаихи, которая достигает 50 км. Можно предположить, что в зимний сезон, который на юго-востоке Баренцева моря длится около 6 месяцев, маргинальный фильтр [1] в устьях средних рек не выходит за пределы их морских границ. При этом центр его локализации смещается от устьевого взморья на устьевой участок реки.

Таблица 1. Характеристика дальности проникновения морских вод в устья рек юго-востока Баренцева моря в зимнюю межень в конце XX века

Район моря	Река	Дальность осолонения, км	Период наблюдений (месяц, год)
Чёшская губа	Ома	30	апрель 1981
	Пеша	28	март 1981
Индигская губа	Индига	27	апрель 1981
Колоколкова губа	Нерута	16	апрель 1982
Печорская губа	Печора	7	апрель 1982
	Чёрная	24	апрель 1982
Район, около Югорского полуострова	Коротаиха	50	март 1983

Здесь необходимо отметить еще одну закономерность. По мере сдвига на восток разница между дальностью осолонения устьев рек в зимнюю и летнюю межени начинает увеличиваться. Зимой она достигает максимальной величины, и при появлении микроприливных условий (от Колоколковой губы и далее на восток) она может быть на порядок больше, чем летом. В тоже время на западе юго-востока Баренцева моря в Чёшской губе, где зимнее ослабление приливов из-за сравнительно мягких ледовых условий выражено значительно, масштабы летнего и зимнего осолонения устьевых вод имеют примерно одинаковый порядок.

Для устьев малых рек процессы их осолонения заметно усложняются. По данным исследований Северо-Западного отделения Института океанологии РАН, проведенных в устьях таких рек Белого моря в 2015-2019 гг., указанные процессы начинают зависеть от соотношения глубин устьевого взморья, толщины льда на нём и величины прилива. Они формируют баланс между объемами морских и речных вод, смешиваемых внутри устьевой системы реки, как в масштабе короткопериодной (приливной) изменчивости, так и в масштабе внутрисезонной изменчивости.

При превышении толщиной льда глубин устьевого взморья и величины прилива на данном участке устья реки во 2-й половине зимы может происходить его блокировка от морских вод. Это приводит к концу зимы постепенным заполнением всего устья реки пресными водами, но для этого нужно сохранение хотя бы минимальных меженных расходов речных вод. Подобное, например, фиксируется в устье р. Мудьюги в Двинском заливе Белого моря. Исключение могут составить ямы с глубиной более 3-5 метров, где за счет стратификации устьевых вод у дна могут находиться соленые воды до начала весеннего паводка. В более суровых арктических условиях в восточных районах Баренцева моря, когда возможность полного перемерзания малых рек не

исключается [3], их устья могут полностью занимать морские воды. Это, в частности, зафиксировано в устье р. Дресвянки в Печорской губе [4].

При сопоставимости глубин устьевого взморья, толщины льда на нём и величины прилива динамические процессы осолонения устьевых вод не прекращаются, однако, за счет резкого ослабления их турбулентного перемешивания дальность проникновения в устье реки морских вод заметно снижается. В данной ситуации она становится гораздо меньше, чем в условиях летней межени [5]. Получаем картину обратную той, что наблюдается в устьях средних рек.

Натурную оценку масштабов осолонения устьев рек в настоящее время проводить сравнительно несложно, учитывая появление разнообразной регистрирующей, в том числе, переносной компактной, аппаратуры для определения солености (минерализации) вод. Однако, в условиях Арктики в зимний период выполнение полевых работ становится довольно сложным мероприятием как с технической стороны, так и в финансовом отношении. Наиболее оптимальным подходом для решения данной проблемы, видимо, будет объединение ограниченного объема натуральных наблюдений с методами математического моделирования, учитывающими наличие приливов [6,7].

Работа выполнена в рамках темы № 0149-2019-0007 - государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана — геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов — литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

Литература

1. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Том 31. № 1. С. 5-14.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т.34. № 5. С.735-747.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный Край. Л.: Гидрометеиздат. 1972. 612 с.
4. Мискевич И.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика устья реки Дресвянка (Печорская губа Баренцева моря) // «Европейский Север России: прошлое, настоящее, будущее». Материалы Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня учреждения Архангельского общества изучения Русского Севера (1908 г.). Архангельск: Изд-во «Правда Севера». 1999. С. 110-115.
5. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б., Демиденко Н.А., Попрядухин А.А. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля-15 августа 2016 г.) // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 369-373.
6. Мак-Доуэлл Д.М., О'Коннор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек. М.: Энергоатомиздат. 1983. 260 с.
7. Мискевич И.В. Гидрохимия приливных устьев рек: методы расчетов и прогнозирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. С-Пб. 2005. 50 с.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА И ДИАГНОЗА ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ ПО ДАННЫМ О ЧАСТОТЕ МОЛНИЙ

Михайловский Ю.П.^{1,3}, канд. физ.-мат. наук, Синькевич А.А.¹, д-р техн. наук, Абшаев А.М.⁴, д-р физ.-мат. наук, Аджиев А.Х.², д-р физ.-мат. наук, Попов В.Б.¹, Торопова М.Л.¹, Кашлева Л. В.³ канд. физ.-мат. наук.

¹ ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, Россия;

² ФГБУ ВГИ, г. Нальчик, Россия;

³ РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия.

⁴ НПЦ «Антиград», Нальчик, Россия

ABOUT POSSIBILITY OF THE FORECAST AND THE DIAGNOSIS OF DANGEROUS PHENOMENA WEATHER DATA ON LIGHTNING FREQUENCY

Mikhailovsky Yu.P.^{1,3}, Cand.Sc., Sinkevich A.A.¹, Dr.Sc., Abshayev A.M.², Dr.Sc., Adjyev A.H.², Dr.Sc., Popov V.B., Toropova M.L., Kashleva. L.V.³ Cand. Sc.

¹ FGBU "MGO them. A.I. Vovyeikov ", St. Petersburg, Russia;

² FGBU VGI, Nalchik, Russia;

³ RSHU, St. Petersburg, Russia.

⁴ NPC "Antigrad", Nalchik, Russia;

Грозопеленгационные системы имеют ряд преимуществ по сравнению с радиолокаторами. Исследуются возможности прогноза и диагноза опасных явлений погоды (град, ливневые осадки, смерчи и др.) по данным о молниевой активности облаков. Используются данные ДМРЛ-С, МРЛ-5, Алвес, BLITZORTUG, LS8000. Получены корреляционные связи различных радиолокационных характеристик осадкообразования для жидких и твердых частиц и частот молний, фиксируемых в низко- и высокочастотном диапазонах. Для анализируемых облаков установлено, что эти связи достаточно тесные. Установлены некоторые особенности вариаций частот молний для облаков с водяными смерчами, которые могут служить предикторами этого явления.

Direction finding systems have a number of advantages over radars. The possibilities of forecasting and diagnosis of dangerous weather phenomena (hail, heavy rainfall, tornadoes, etc.) according to data on lightning activity of clouds are investigated. Used data DMRL-S, MRL-5, Alves, BLITZORTUNG, LS8000. Correlations of various radar characteristics of sedimentation for liquid and solid particles and lightning frequencies recorded in the low-and high-frequency ranges are obtained. For the analyzed clouds, it was found that these connections are quite close. Some features of lightning frequency variations for clouds with water tornadoes, which can serve as predictors of this phenomenon, are established.

Грозоградовые облака являются основными источниками опасных явлений погоды (ОЯП). Разработка и совершенствование методов прогноза и диагноза ОЯП актуален и практически значим. В настоящее время для этих целей в основном используется метеорологическая радиолокация. Грозопеленгационные системы имеют ряд преимуществ по сравнению с радиолокаторами. Они являются пассивными средствами с большими радиусами действия, не имеют «азимутов закрытия и мертвых зон», обеспечивают практически непрерывное наблюдение контролируемого пространства с очень высоким разрешением по времени и пространству и другие достоинства.

В настоящее время различные грозопеленгационные системы стремительно развиваются по многим направлениям. Этими сетями уже охвачены континенты (Европа, Америка), развернута, расширяется и совершенствуется всемирная сеть (WWLN), создается космическая глобальная сеть контроля молниевой активности на геостационарных спутниках. В России разворачивается сеть Росгидромета «Алвес», в некоторых регионах действуют также BLITZORTUG и LS8000 (VAISALA).

В последнее время появились и стремительно интенсифицируются исследования по использованию данных грозопеленгации для контроля наиболее опасных ОЯП. В частности тропических циклонов(8,9) и торнадо(6,7). Значительное количество исследований связей молниевой активности с процессами осадко- и градообразования проводится в мире(6,7,8,) и России (ГГО им. А.И. Воейкова, ВГИ)(2,3,4,5). Тесные взаимосвязи электрических процессов с

осадкообразованием обусловлены тем, что и тот и другой процесс определяются количеством и размерами крупных ледяных частиц(2,3,4). Этими параметрами определяется и радиолокационная отражаемость в переохлажденной части облака(2,3,4). Эти обстоятельства позволяют надеяться на наличии устойчивых связей электрических и некоторых радиолокационных параметров.

Анализ связей радиолокационных и электрических параметров.

Проводится сравнительный анализ результатов непрерывных наблюдений с помощью двухволнового метеорологического радиолокатора МРЛ-5, оснащенного автоматизированной системой сбора, обработки и анализа радиолокационной информации и грозопеленгационной системы (ГПС) LS-8000 одноячейкового облака, развивавшегося в районе городов Ессентуки – Пятигорск 29 мая 2012 года (облако 1) и облачной системы, развивавшейся в районе С-Петербурга 22.07.2017, (облако 2) с использованием ДМРЛ-С и ГПС «Алвес» [4, 5].

В работах [2,3,4,5] предлагается использовать интегральные радиолокационные параметры, характеризующие количество крупных ледяных частиц в облаке, для диагноза электрического состояния облака. К таким параметрам относится объем или масса переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ (dV_{35} , км³, dM_{35} , т.) вертикально интегрированная водность или ледность (q , $dq(0)$, кг/м²).

Были определены статистические связи частоты разрядов в СВЧ и НЧ диапазоне с объемами и массами переохлажденной части с различной отражаемостью (от 15 до 70 дБZ) для обоих облаков. Уравнения линейной регрессии и коэффициенты корреляции для 1 облака за все время его существования представлены

$$NLF\text{-}dV_{35r}: y = 113,1009 + 28,3822 * x; r = 0,8214; p = 0,00001; r2 = 0,6747$$

$$NLF\text{-}dqm(0): y = 3,6438 + 1,5425 * x; r = 0,8537; p = 0,00000; r2 = 0,7289$$

Важным фактором, влияющим на взаимосвязь характеристик облака, является период его существования, состоящий из стадий развития, зрелости и разрушения. Для целей сверхкраткосрочного прогноза особый интерес представляет стадия развития[4,5]. Поэтому отдельно были определены связи частот молниевых разрядов в НЧ и СВЧ диапазоне с объемом переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития для каждого из выбранных облаков. Для облака 1 на стадии развития связь $F_{нч}$ с V_{35} и $dq(0)$ близка к линейной(рис.1), а связь $F_{свч}$ с V_{35} лучше описывается квадратичным полиномом. Линейные и квадратичные регрессионные уравнения, аппроксимирующие эти связи, представлены ниже:

$$F_{нч} = -0.21 + 0.031V_{35} \quad r = 0.81 \quad F_{свч} = -25.5 + 0.55V_{35} \quad r = 0.82$$

$$F_{свч} = 22.7 - 0.36 V_{35} + 0.0016 (V_{35})^2$$

На Рисунке 2 представлены аналогичные связи для облака (2). Рассчитаны линейные и квадратичные регрессионные уравнения для этого облака

$$F_{нч} = -1.2 + 0.0084 V_{35} \quad r = 0.90 \quad F_{свч} = -37 + 0.19 V_{35} \quad r = 0.86$$

$$F_{нч} = -0.31 + 0.002 V_{35} + 0.0000065 (V_{35})^2 \quad F_{свч} = 11 - 0.16 V_{35} + 0.00012 (V_{35})^2$$

Наблюдается тесная корреляционная связь частот молний в НЧ и СВЧ диапазонах с V_{35} с коэффициентами корреляции 0.90 и 0.86 соответственно. Сходные связи наблюдались и у других р/л параметров, характеризующих осадкообразование.

$$F\text{:}V_{30}: y = 263,4354 + 24,6987 * x; r = 0,9726; p = 0,0002$$

$$F\text{:}V_{35}: y = 181,7337 + 15,2813 * x; r = 0,9535; p = 0,0009$$

$$F\text{:}V_{40}: y = 111,8111 + 8,0669 * x; r = 0,9058; p = 0,0050$$

F:V45: $y = 62,9649 + 2,8928 * x$; $r = 0,7742$; $p = 0,0410$

F:G: $y = 326,837 + 19,0671 * x$; $r = 0,9257$; $p = 0,0028$

F:I: $y = 50,8111 + 0,5799 * x$; $r = 0,5063$; $p = 0,2463$

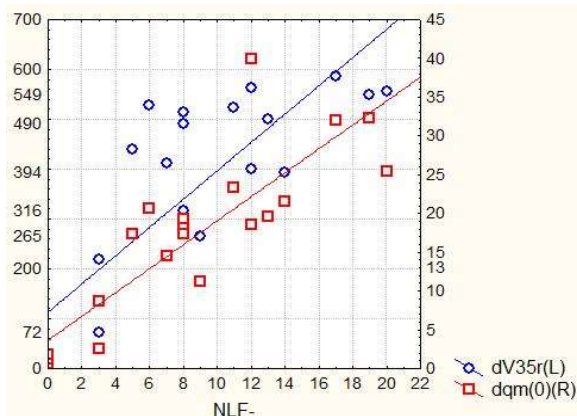


Рисунок 1. Статистические связи частот молний в низкочастотном диапазоне с объемом переохлажденной части 1 облака с отражаемостью более 35 дБЗ и вертикально интегрированной водностью на стадии развития.

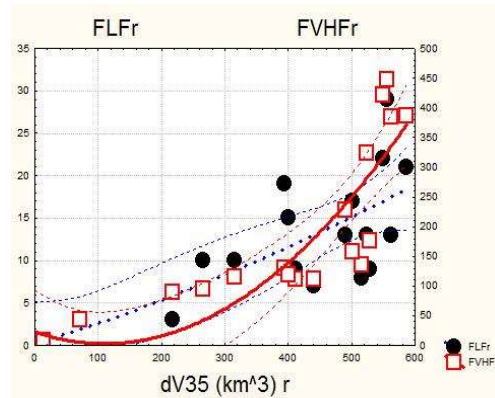


Рисунок 2. Статистические связи частот молний низко- и высокочастотном диапазоне с объемом переохлажденной части 2 облака с отражаемостью более 35 дБЗ на стадии развития.

Исследовались связи частоты молний (F) с контролируемыми радиолокационными параметрами для облаков с водяным смерчем: объем переохлажденной части облака с отражаемостью более 30-45 dBZ (V30, V35, V40, V45), поток осадков (G), радиолокационный критерий грозоопасности (Y), максимальная интенсивность осадков (Im). Установлено, что наибольший коэффициент корреляции r наблюдается между F и V35 (0.95), наименьший между F и Im (0.51). Для указанных параметров были получены регрессионные уравнения:

F:V30 $y = 297.24 + 24.53 * x$, $r = 0.96$,

F:V35 $y = 177.32 + 15.21 * x$, $r = 0.95$,

F:V40 $y = 84.59 + 8.15 * x$, $r = 0.90$, F:G $y = 225.44 + 20.27 * x$, $r = 0.90$,

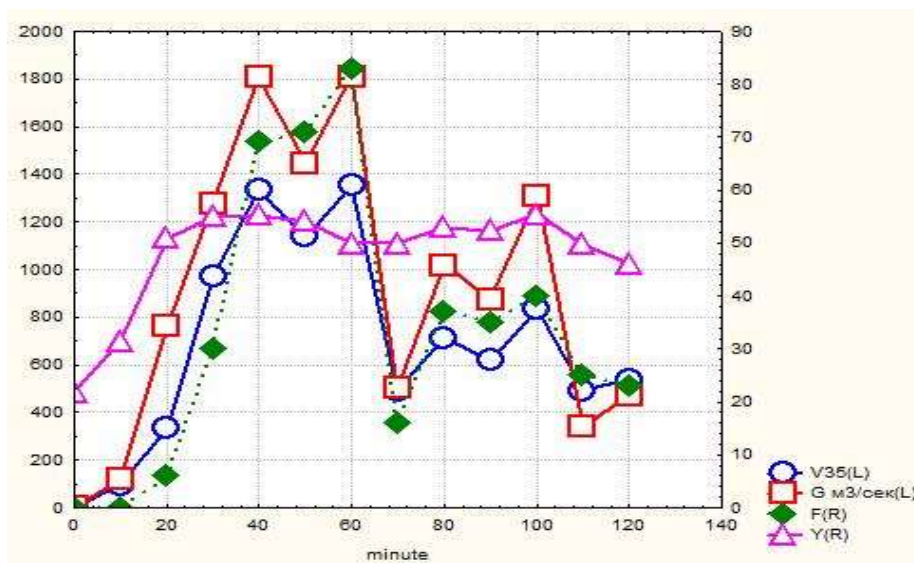


Рисунок 3 Изменение во времени контролируемых параметров

(V35, км³, G, м³/сек, F, сек⁻¹, Y) в облаке с водяным смерчем

При анализе временного хода контролируемых параметров было установлено, что при образовании водяного смерча (70 минута), наблюдалось существенное уменьшение частоты молний с последующим ростом. Подобные эффекты наблюдались и в экспериментах по исследованию торнадо в США(9). Возможно, что вихри в облаке временно разрушают или ослабляют механизм генерации зарядов в облаке, что проявляется в снижении частоты молний. Обнаруженный эффект может служить предиктором водяных смерчей (торнадо) при подтверждении его в дальнейших исследованиях.

Выводы

Анализ связей радиолокационных параметров, определяющих осадкообразование с электрическими характеристиками показал, что они достаточно тесно связаны друг с другом для облаков Северного Кавказа и Северо-Запада, в частности частоты молний в НЧ и СВЧ диапазонах коррелируют с объемом переохлажденной части с отражаемостью более 35 дБZ с $r = 0.8 - 0.95$. Таким образом, частоты молний могут использоваться для прогноза и диагноза ливневых осадков и града.

Анализ данных наблюдений за облаками с водяными смерчами показал, что наблюдаются такие же закономерности в связях электрических и радиолокационных характеристик. Кроме того, непосредственно перед смерчем наблюдается существенное уменьшение частоты молний. Этот факт может быть использован как прогностический при подтверждении в дальнейших исследованиях.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 17-05-00965_a, БРИКС_m 18-55-80020.

Список используемых источников

1. *Аджиев А. Х., Тапасханов В. О., Стасенко В. Н.* Система грозопеленгации на Северном Кавказе. — Метеорология и гидрология, 2013, №1, с. 5—11.
2. *Михайловский Ю. П.* О верификации численных моделей конвективных облаков на основе результатов самолетных исследований электризации. — Труды ГГО, 2016, вып. 580, с. 125—138.
3. *Михайловский Ю. П., Синькевич А. А., Абшаев А. М., Аджиев А. Х., Кашлева Л. В.* О контроле электрического генератора конвективных облаков для прогноза и диагноза опасных явлений погоды. Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Часть 1. Изд. АЭТЕРНА, Нальчик, 2017, с.320- 327.
4. *Михайловский Ю.П., А. А. Синькевич, С. Д. Павар, В. Гопалакришнан, Ю. А. Довгалюк, Н. Е. Веремей, Е. В. Богданов, А. Б. Куров, А. Х. Аджиев, А. М. Малкарова, А. М. Абшаев.* Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза и диагноза электрического состояния облаков. — Метеорология и гидрология, 2017, № 6, с. 31—45
5. *Синькевич А.А., Михайловский Ю.П., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е. Богданов Е.В., Аджиев А.Х., Малкарова А.М., Абшаев А.М.* Исследования развития грозо-градового облака. Часть 1. Развитие облака и формирование электрических разрядов // Метеорология и гидрология. 2016. №9. С. 27—40.
6. *Armstrong R. W., Glenn J. G.* Electrical Role for Severe Storm Tornadogenesis (and Modification) // J Climatol Weather Forecasting. 2015. V. 3 Issue 3. P. 1–8.
7. *S.M. Stough, L.D. Carey, C.J. Schultz.* Total Lightning as an Indicator of Mesocyclone Behavior. XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A.
8. *M. Sato, Yu. Takahashi, H. Kubota, K. Yamashita, J. Hamada, and J. Marciano .*Development of Lightning Observation Network in the Western Pacific Region for the Intensity Prediction of Severe Weather and Tropical Cyclone. XVI International Conference on Atmospheric Electricity, 17-22 June 2018, Nara city, Nara, Japan.
9. *A.O. Fierro, J.M. Reisner, X-M. Shao, T. Hamlin and J. Harlin.* Observations and high-resolution simulation of total lightning during the rapid intensification of Hurricane Rita. XIV International Conference on Atmospheric Electricity, August 08-12, 2011, Rio de Janeiro, Brazil

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Г.С. Михневич¹, В.А. Кречик², А.В. Крек², А.Р. Данченков²

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, РФ

²Атлантическое отделение Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова, Калининград, РФ

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GROUNDWATER DISCHARGE IN THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA

G.S. Mikhnevich¹, V.A. Krechik², A.V. Krek², A.R. Danchenkov²

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,

²Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia

В работе определены геологические и гидрогеологические условия стока подземных вод в ЮВ Балтике, выполнены предварительные расчеты объема подземного стока на подводном морском склоне Калининградского полуострова.

The geological and hydrogeological conditions of submarine discharge in the southeast of the Baltic Sea are determined, preliminary calculations of the volume of underground run-off on the underwater sea slope of the Kaliningrad Peninsula are made.

Введение

На настоящий момент объем подземного стока в Балтийское море оценивается в 10-14 км³/год [1, 2], а ионный сток - в 4,2 млн. т/год [2]. Значительно уступая речным водам по величине стока (14 км³ против 472 км³), ионный сток подземных вод составляет примерно 1/10 от стока речных вод (4,2 млн. т/год против 46,6 млн. т/год) [1]. В то же время эффект изменения вертикальной структуры вод и химического состава морских донных осадков в зонах разгрузки подземных вод признан значимым, но слабо изученным; также отсутствуют подробные сведения о динамике проникновения подземных вод через донные отложения, включая масштабы, пространственное распределение и интенсивность этих процессов. *Цель работы* — определение геологических и гидрогеологических условий формирования стока подземных вод в ЮВ Балтику.

Гидрогеологические условия формирования стока подземных вод

Исходя из особенностей гидрогеологического строения Калининградской области и прилегающей части Балтийского моря [3, 4], можно предположить существование субмаринной разгрузки подземных вод из зоны активного водообмена, а именно, из палеогеновых, меловых, юрских водоносных комплексов. Воды четвертичных и неогеновых образований в разгружаются в речные долины, овраги, на морском берегу, т.е. их сток не имеет субмаринного характера. Субмаринная разгрузка подземных вод из разных горизонтов, отличающихся составом, минерализацией, будет вызывать разные по характеру локальные аномалии в составе морских придонных вод и донных осадков [5, 6], что необходимо учитывать в процессе поиска и идентификации участков разгрузки.

Палеогеновый водоносный комплекс приурочен к отложениям, широко распространенным на Калининградском п-ове; в комплексе выделяются 2 водоносных горизонта: олигоцен-плиоценовый и палеоцен-эоценовый, залегающий под этой толщей [4]. *Олигоцен-плиоценовый водоносный горизонт (ВГ)*, встречается на морском подводном склоне только на западе п-ова (спорадически, на глубине от 0 до 5-10 м). Перспектива установления участков субмаринной разгрузки здесь невелика. Причины: слабый напор, малая водообильность, значительная мощность донных осадков, активная ветро-волновая динамика, обуславливающая перемешивание вод. *Палеоцен-эоценовый ВГ* распространен широко, особенно на северном подводном склоне Калининградского п-ова, где выходит на глубинах от 12-15 до 25-30 м. Обнаружение участков субмаринной разгрузки этого ВГ более вероятно. Воды палеогеновых ВГ пресные, с минерализацией 0,2-0,8 г/л, гидрокарбонатные кальциевые [4], могут образовывать отрицательные аномалии солености, характеризоваться аномальным соотношением главных ионов за счет уменьшения концентрации хлора и натрия. Подтверждением данной гипотезы служит то, что в ходе предварительных работ, проведенных несколько лет назад в районе м. Купальный, были обнаружены аномалии в распределении некоторых характеристик морской воды (уменьшение концентрации иона хлора, натрия, увеличение сульфат-иона, уменьшение величины жесткости и др.) [7, 8].

В меловых отложениях также выделяются 2 водоносных горизонта. *Верхнемеловой (кампан-маастрихтский) ВГ*: химический состав вод зависит от степени минерализации, которая в свою очередь очень сильно изменяется с глубиной [4]. Воды до глубин 100 м пресные с минерализацией 0,2-0,8 г/л гидрокарбонатные натриевые, реже гидрокарбонатные кальциевые. На глубинах 100-150 м минерализация равна 0,94-1,11 г/л, воды переходного типа - от гидрокарбонатных к хлоридным; минерализованные воды - хлоридно-гидрокарбонатные натриевые. Далее с глубиной наблюдается увеличение минерализации [3, 4]. Наиболее близко к берегу верхнемеловые образования подходят около корневой части Куршской косы и м. Таран. Выходы отложений верхнего мела на подводном морском склоне приурочены к отметкам от 20 м (западнее пос. Донское, северо-западнее м. Таран) до 50 и более метров. Наиболее вероятно засечь разгрузку на уступах древних абразионных террас, на линиях разрывных нарушений. *Апт-сеноманский ВГ* распространен повсеместно. Воды горизонта относятся к хлоридному или гидрокарбонатному, натриевому типу с минерализацией 2,6 г/л. На континенте минерализация вод не превышает 1,5, реже составляет 3-4 г/л. В составе растворённого газа преобладают углекислота и азот. Температура воды 10-12°C [4]. Таким образом, участки разгрузки меловых ВГ должны будут формировать отрицательную аномалию солености и положительную температурную аномалию в придонных водах. Однако при особых обстоятельствах (разломная тектоника, условность водоупоров) соленость может резко увеличиваться из-за притока вод более глубоких ВГ.

В юрских отложениях сформированы два ВГ. *Оксфорд-титонский ВГ* приурочен к верхней части разреза юры; характеризуется солеными (12-17 г/л) водами хлоридно-натриевого типа. *Геттангско-батский ВГ* приурочен к нижней части разреза юрских отложений; воды хлоридные натриевые, величина их минерализации 13-19 г/л, содержание брома от 25,0 до 44,0 мг/л [4]. Юрские ВГ разгружаются в Балтийское море далеко от берега, в центральной части Гданьского залива; выходы водовмещающих отложений находятся на глубинах от 50 до 100 м. Таким образом, для районов субмаринной разгрузки юрских ВГ, будет характерна положительная соленостная аномалия, резкое увеличение концентрации натрия, хлора, высокое содержание брома.

Количественная оценка стока подземных вод

Предварительную количественную оценку величины стока подземных вод необходимо начать с мелководной зоны, прилегающей к Калининградскому п-ову. Наиболее перспективной представляется оценка стока из палеоцен-эоценового и кампан-маастрихтского ВГ. Неогеновый ВГ и ВГ четвертичных отложений не рассматривались в силу локальности распространения, высокой дренируемости эрозивной сетью и отсутствия на дне Балтийского моря. Для количественной оценки подземного и ионного стока за основу была взята методика, применявшаяся А.Н. Вороновым и Е.А. Вивенцовой для Финского залива [9]. Она основана на изучении условий формирования подземного стока в море в пределах водосборной части суши, анализе гидрогеологических и геологических условий прибрежной части моря, и представляет собой одну из вариаций гидродинамического метода [2]. Суть методики состоит в следующем.

Для каждого исследуемого ВГ устанавливается площадь водосборного бассейна. Для этого были проанализированы гидрогеологические карты и по характеру гидроизопъез определены территории, с которых подземный сток будет направлен непосредственно в Балтику. Для палеоцен-эоценового ВГ данная площадь составила около 306 км², для кампан-маастрихтского – 470 км² (табл. 1).

Далее для каждого ВГ в соответствии с литературными данными [3] подбираются значения среднего модуля подземного стока. Для палеоцен-эоценового ВГ значение модуля составляет 1,0 л/сек/км². Соответственно с площади 306 км² величина подземного стока в Балтийское море составит около 26438 м³/сутки. Однако воды палеоцен-эоценового ВГ активно используются для водоснабжения населения и хозяйства, расходуется на подпитку рек, поэтому второй вариант расчета сделан при условии, что средний модуль подземного стока составляет 0,8 л/сек/км², тогда значение подземного стока составит 21150 м³/сутки (табл. 1). Для кампан-маастрихтского ВГ было выбрано значение модуля подземного стока равное 0,5 л/сек/км² [3]. Объясняется это затрудненными условиями питания ВГ, в сравнении с палеогеновыми горизонтами. В этом случае подземный сток в Балтийское море из кампан-маастрихтского ВГ составит 20304 м³/сутки (табл. 1). Выбранные значения модулей подземного стока сопоставимы со значениями модулей эксплуатационных запасов [3]. Годовой сток из двух исследованных ВГ составляет примерно 0,15 км³.

Для определения величины ионного стока необходимо знать общий объем стока и среднюю минерализацию вод каждого ВГ. Средняя минерализация вод палеоцен-эоценового ВГ, полученная как среднее арифметическое значение величин минерализации нескольких десятков проб воды, составила 0,27 г/л, кампан-маастрихтского ВГ – 0,86 г/л. Таким образом, ионный сток в Балтийское море из палеогенового ВГ составляет 7,14 (5,71) т/сутки, из кампан-маастрихтского ВГ – 17,46 т/сутки (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика подземного стока в прибрежной зоне Калининградского п-ова

Горизонт	Площадь области питания, км ²	Коэффициент подземного стока, л/сек/км ²	Подземный сток, м ³ /сут	Средняя минерализация, г/л	Ионный сток, т/сут
Pg (палеоцен-эоценовый)	306	1,0	26438	0,27	7,14
		0,8	21150		5,71
K ₂ (кампан-маастрихтский)	470	0,5	20304	0,86	17,46

Полученные значения являются приближенными и отвечают только за общий и ионный сток непосредственно в Балтийское море, без учета потока, разгружающегося в заливы. Интересно сравнить полученные результаты с данными, приведенными в [5]. Сток в море из кайнозойско-мезозойской системы составляет 125000 м³/сут. Суммарная рассчитанная величина составляет чуть более 40000 м³/сут или 1/3 от общей величины. Общий подземный сток в Гданьский залив Балтийского моря из всей системы водоносных горизонтов оценивается в 8000 м³/ч [10]; собственные расчеты для сектора залива, примыкающего к Калининградскому п-ову, составляют менее 2000 м³/ч. Можно заключить, что полученные оценки не противоречат расчетам, сделанным в других работах.

Выводы

Субмаринная разгрузка в прибрежной зоне Юго-Восточной части Балтийского моря может осуществляться из водоносных горизонтов, сосредоточенных в палеогеновых, меловых и юрских отложениях. Наиболее масштабен и значим для прибрежной зоны сток из кампан-маастрихтского и палеоцен-эоценового водоносных горизонтов. Величина стока составляет соответственно 20 и 21-26 тыс. м³/сут, ионный сток - 17,5 и 5,7-7,1 тонн/сутки. Разгрузка вод, резко отличающихся по составу от морских, приводит к формированию в придонном горизонте гидрохимических аномалий, изменяет состав донных осадков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта №19-45-390007.

Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / под ред. Терзиева Ф.С. - СПб: Гидрометеоздат, 1992. - Т. III. Балтийское море. - Вып. 2. - 434 с.
2. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. - М.: Научный мир, 2001. - 328 с.
3. Гидрогеология СССР. Калининградская область РСФСР. - М.: Недра, 1970, т. XLV. - 158 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-(34) – Калининград. Объяснительная записка / Лукьянова Н.В., Богданов Ю.Б., Васильева О.В., Варгин Г.П. и др.– СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 226 с.
5. Геология и геоморфология Балтийского моря / Под ред. А.А Григялиса. - Л.: Недра, 1991. - 420 с.
6. Мокрик Р.В. Гидрогеология побережья Советской Прибалтики (районирование, формирование подземных вод, подземный водообмен суши и моря): автореф. дис. ... д-ра геол.- минерал. наук. - М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. - 54 с.
7. Михневич Г.С., Чугаевич В.Я., Тупейко О.А. Выявление участков субмаринной разгрузки подземных вод палеогенового горизонта в Балтийское море по гидрохимическим данным // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. - Самара: ПГСГА, 2013. - С. 71-75.
8. Тупейко О.А. Использование гидрохимического метода обнаружения участков субмаринной разгрузки подземных вод в Балтийское море // Шаг в науку. Сб. статей. - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. - Вып. 2. Естественные науки, Гуманитарные науки. - С. 32-39.
9. Воронов А.Н., Вивенцова Е.А. Характеристика подземного стока в Финский залив / Водные ресурсы. – 2004. - Т. 31. - №6. - С. 651-660.
10. Lidzbarski M. Groundwater Discharge in the Baltic sea Basin // Geochemistry of Baltic Sea surface sediments. Polish Geological Institute — National Research Institute. - Warsaw, 2011. - pp. 138-145.

РАЗВИТИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В АРКТИКЕ В ПЕРИОД 2013-2018 ГГ. ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА 2012 Г.

Мищенко А.В., Тимофеева А.Б., Павлова Е.А., Шаратунова М.В., Хотченков С.В., Егорова Е.С. ФГБУ «АНИИ», г. Санкт-Петербург, Россия

DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL AND ICE CONDITIONS IN THE ARCTIC IN THE PERIOD OF 2013-2018 AFTER THE EXTREME REDUCTION OF ICE COVER 2012

Mishchenko A.V., Timofeeva A.B., Pavlova E.A., Sharatunova M.V., Khotchenkov S.V., Egorova E.S. AARI, Saint-Petersburg, Russia

Работа посвящена исследованию изменений метеорологических и ледовых условий в Арктике в 2014-2018 гг. для установления устойчивости проявившихся тенденций в ускорении сокращения ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.

The work is devoted to the study of changes in meteorological and ice conditions in the Arctic in 2014-2018 to establish the stability of the manifested trends in accelerating the reduction of ice cover in the Arctic Ocean.

Введение

На фоне продолжающегося текущего потепления полярного района, начавшегося с 1988 г., можно особо выделить период 2007-2018 гг. Этот период характеризовался крупномасштабной перестройкой в развитии атмосферных процессов приведших к формированию экстремальных за весь ряд наблюдений значений аномалий температуры в полярном районе и ледяного покрова в морях российской Арктики.

Материалы и результаты исследования

В качестве исходных данных использовались многолетние ряды наблюдений за температурой воздуха, площадью льда и ледовые карты АНИИ. В многолетнем ходе среднегодовых значений аномалии температуры воздуха отмечаются длительные периоды с преобладанием положительной и отрицательной аномалии температуры, которые имели место в полярном районе с конца 19 начала 21-го веков.

Многолетний ход среднегодовых значений аномалий температуры воздуха в широтном поясе 70° - 85° с. ш. за период с 1940 по 2018 гг. представлен на рисунке 1.[3]

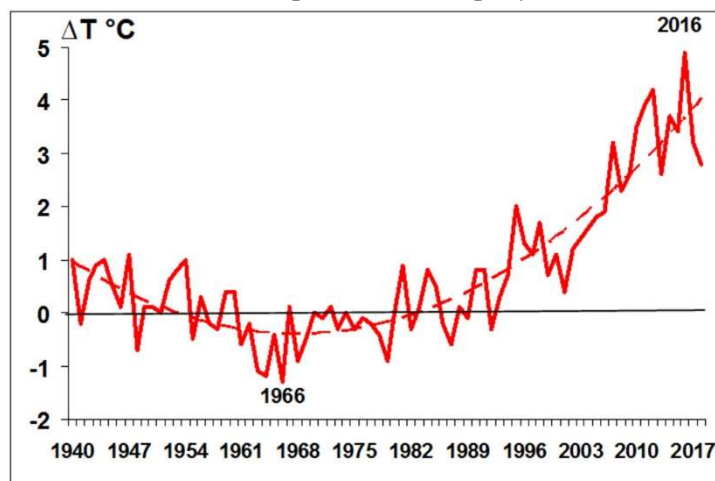


Рис. 1. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C), полярный район
В период 2007-2013 гг. зональные процессы превышали норму в обоих секторах Северного полушария. В дальнейшем в период 2014-2018 гг. произошла крупномасштабная перестройка атмосферных процессов на полушарии. В первом секторе полушария процессы западной формы

сменились на преобладание восточной формы циркуляции. Во втором секторе зональные процессы сменились на меридиональные (таблица 1).

На фоне повышения температуры воздуха в Арктике ранее, в работе [1], был выделен период с 2007 по 2013 гг., отличающийся исключительно большими аномалиями. Этот период характеризовался значительными сокращениями площади ледяного покрова, уменьшением толщины льда и смещением сроков ледообразования и таяния. Для анализа климатических изменений в Арктике в данной работе были рассчитаны характеристики за период с 2014 по 2018 гг., позволяющие оценить изменение ледовых условий.

Для зимнего периода в работе приведены данные по возрастному составу льда, площадь припайных льдов и их толщина. В таблице 1. приведен возрастной состав льда на период максимально нарастания (май) в различные периоды.

Таблица 1 Изменение возрастного состава льдов на период максимального нарастания (май) в российских арктических морях.

Моря	Периоды							
	2007-2013				2014-2018			
	молодые	тонкие	средние	толстые	молодые	тонкие	средние	толстые
Карское	70	7	96	634	70	19	151	542
Лаптевых	40	18	78	328	36	33	114	299
Восточно-Сибирское	63	7	87	590	59	9	81	571
ЮЗ Чукотского	16	11	69	51	12	2	46	62
По всем морям	190	43	328	1603	176	63	393	1474

Из Таблицы 1 видно, что за последний период 2014-2018 гг. во всех арктических морях произошло уменьшение толстых льдов.

На акватории всех морей прослеживается уменьшение количества льда, исключение составляет море Лаптевых, однако это связано с увеличением количества однолетних тонких и средних льдов. Также во всех морях, кроме Чукотского, наблюдается уменьшение количества однолетнего толстого льда. В расчётах учитывалась только юго-западная часть Чукотского моря, что даёт неполное представление о процессах, происходящих в море в целом. Приведённое сравнение даёт нам основание судить о ледовых условиях последних 5 лет как о ещё более лёгких, чем в период с 2007 по 2013 гг.

Интенсивное развитие припая происходит до января, затем замедляется и завершается в марте-апреле и достигает своего максимума. Климатические изменения также отразились и на суммарной площади припая (таблица 2). Анализ изменчивости площади припая в морях различается.

Таблица 2. Изменение суммарной площади припая на период максимального нарастания в российских арктических морях

Моря	Периоды	
	2007-2013	2014-2018
Карское	215	224
Лаптевых	197	186
Восточно-Сибирское	215	252
ЮЗ Чукотского	7	8
По всем морям	634	670

На рисунке 2 показаны толщины льда по морям на конец зимнего сезона в разные периоды. Во всех арктических морях, кроме Чукотского, наблюдается отрицательная аномалия толщины.

Максимальное уменьшение льда за последние пять лет произошло в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском.

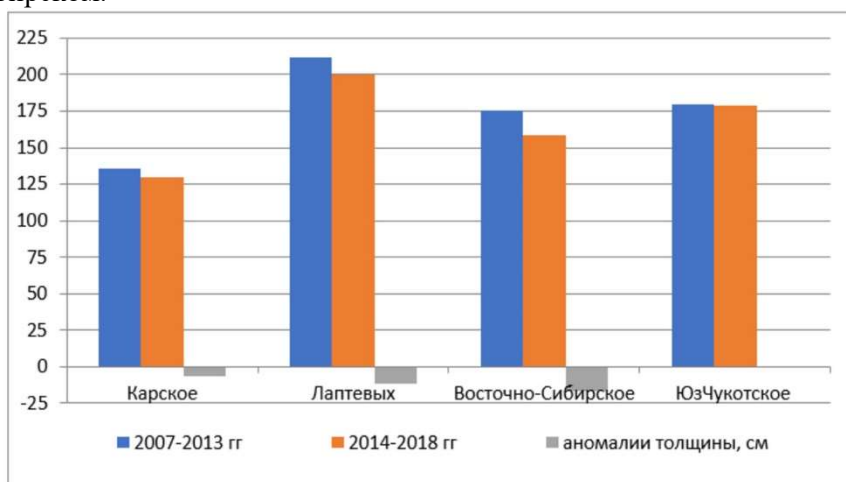


Рис. 2. Средние толщины ледяного покрова в мае в морях СМП (Карское-Чукотское)

Ледовитость морей (или площадь) в летний период является интегральным показателем, описывающим наиболее важные особенности формирования ледяного покрова в течение всего годового цикла как нарастания льдов, так и их таяния и разрушения в летний период.

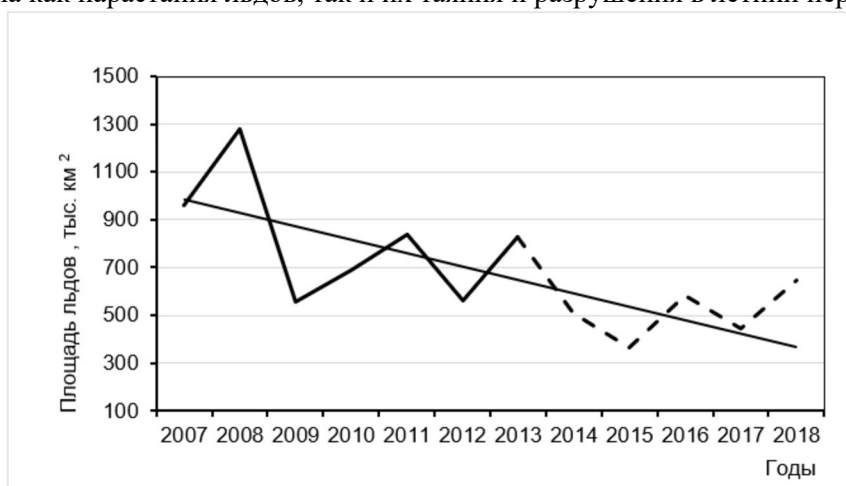


Рис. 3. Средняя площадь ледяного покрова в августе в морях СМП (Карское-Чукотское) за период 2007-2018 гг.

Из рисунка 3 мы видим, что за последние 5 лет средняя площадь льда продолжает сокращаться.

В последние два десятилетия хорошо прослеживается тенденция сокращения площади остаточных льдов. Таким образом, остаточная площадь льдов в СЛО в сентябре характеризует интенсивность процессов летнего таяния. Раннее и интенсивное ледообразование в Северном Ледовитом океане (СЛО), нарастание его толщины и торосистости приводит к формированию большого количества мощных льдов. Позднее начало ледообразования и медленное нарастания льда приводит к формированию ледяного покрова гораздо меньшей мощности. В свою очередь, чем больше мощных льдов (по количеству и толщине) появляется на акватории морей океана к концу периода нарастания, тем больше их остается после летнего таяния [2].

Изменение положения кромки за последнее десятилетие представлено на рисунке 4.

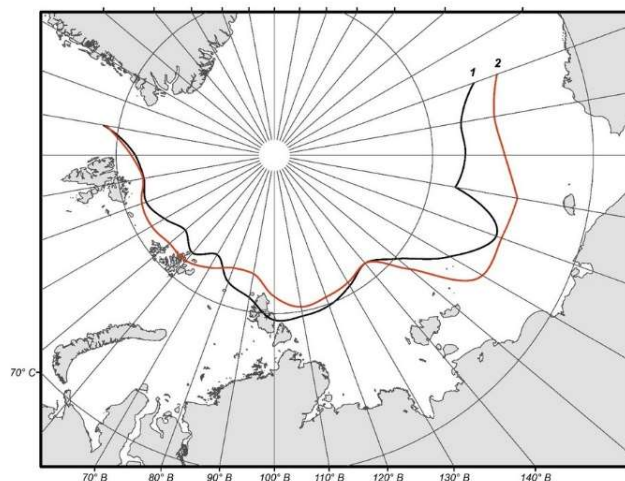


Рис. 4. Положение границы остаточных льдов в сентябре за период 2007-2013 (1) и 2014-2018 гг. (2)

Выводы

Климатические изменения не могли не отразиться на ледовых условиях Арктического региона. Пространственный и временной режим устойчивого ледообразования является важнейшим показателем, регулирующим морские операции и судоходство во льдах, и служит объективным индикатором климатических изменений состояния природной среды. Из представленных таблиц и рисунков видно, что за последние пять лет ледовые условия в арктических морях стали еще легче, чем в период 2007-2013 гг. В морях Карском и Лаптевых увеличилась площадь средних льдов в конце мая. Но при этом для всех морей, кроме ЮЗ Чукотского, значительно сократилась площадь толстых льдов, которые были основным препятствием судоходству. Несмотря на теплый период площадь остаточных льдов начинает постепенно увеличиваться по сравнению с сентябрьским минимумом 2012 года.

Литература

1. Гудкович З.М., Карклин В.П., Миронов Е.У. и др. Развитие ледовых и метеорологических условий в Арктике в период 2007-2013 гг. СПб, Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. №2, С. 90-102.
2. Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В. Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 5 – 11.
3. Иванов В.В., Алексеенков Г.А. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь-декабрь 2018 // Обзор гидрометеорологических процессов в Северной полярной области – 2018 год. СПб.: ААНИИ, 2019. С. 4-15.

МЕТОДЫ ВЕРИФИКАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В.М. Морейдо

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

Исследование возможностей прогнозирования характеристик гидрологических систем с учетом физико-географических и климатических особенностей формирования речного стока – одна из классических проблем гидрологии речных бассейнов. Развитие науки и современные средства измерений и позволили существенно продвинуться в этой области в последние десятилетия, однако эпистемологические особенности создаваемых прогностических методик определяют наличие ошибок прогноза, имеющих вероятностный характер. Представляется, что усовершенствование существующих оценок качества прогнозов, в том числе и используемых в смежных дисциплинах, а также разработка новых инструментов позволят более полно выявить преимущества и недостатки действующих прогностических систем, а также способствовать в разработке новых.

Predictability assessment of the hydrological systems is one of the classical issues of land surface hydrology. State-of-the-art approaches and modern measuring instruments have made it possible to significantly advance in this area in recent decades, but the epistemological features of forecasts imply the existence of the stochastic forecast errors. It seems that the improvement of existing estimates of the quality of forecasts, including those used in related disciplines, as well as the development of new tools will more fully identify the advantages and disadvantages of existing forecasting systems, as well as contribute to the development of new ones.

Современные средства гидрологического прогнозирования представляют собой сложные многокомпонентные системы, отличающиеся полнотой и детальностью представления речных водосборов, богатством гидрометеорологического информационного обеспечения и скрупулезностью физико-математического описания процессов, работающие на базе высокотехнологичных вычислительных комплексов [Cloke, Pappenberger, 2009; Pappenberger и др., 2016]. Следует обратить внимание на выраженный диссонанс между степенью развития самих моделей и несовершенством методических средств их верификации и тестирования. Последние в основном сводятся к применению, в качестве целевых функций, ряда квадратичных мер сходимости рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока, наиболее совершенной из которых считается коэффициент корреляции в формулировке Нэша-Сатклиффа [Nash, Sutcliffe, 1970]. Таким образом, необходимость развития средств верификации моделей до уровня, не уступающего уровню развития самих моделей, представляется одной из ключевых задач современного этапа развития направления.

Актуальность исследования и разработки методов верификации гидрологических прогнозов в современных условиях усиливается на фоне произошедших в последнее десятилетие катастрофических наводнений, таких как паводок в Крымске (2012 г.), Тулуне (2019 г.), наводнения в бассейне Амура (2013, 2019) и другие, менее масштабные, но не менее опасные события [Borsch, Simonov, 2016; Motovilov et al., 2015; Данилов-Данильян, Гельфан, 2014]. Исследование существующих и создание новых прогностических систем высокого качества, работающих в различных природных условиях, является актуальной научной задачей и имеет высокую прикладную ценность.

Разработка методов гидрологических прогнозов для различных речных систем в разных природных условиях ведется в нашей стране на протяжении почти 100 лет [Аполлов, Калинин, Комаров, 1974; Бельчиков, Корень, 1979; Бефани, 1977; Жидиков, 1972; Змиева, 1964], а если отсчитывать от первых речных прогнозов, использовавшихся для нужд водного транспорта

(исследования В.М. Лохтина, В.Г. Клейбера, Д.Д. Гнусина и А.Н. Квицинского) – то около 120 лет [Спенглер, 1980]. Разработка методов гидрологических прогнозов – одна из наиболее актуальных задач гидрологии суши, в решение которой в разное время сделали свой вклад сотрудники Гидрометцентра России (Е.С. Змиева, Г.П. Калинин, В.Д. Комаров, В.Н. Паршин, Е.Г. Попов, А.И. Субботин, Е.П. Чемеренко и другие), других институтов Гидрометслужбы (Р.А. Нежиховский, Д.А. Бураков, Л.К. Вершинина, И.Л. Калужный, О.И. Крестовский, К.К. Павлова и другие), институтов Российской академии наук (Л.С. Кучмент, Ю.Г. Мотовилов, А.Н. Гельфан, В.А. Румянцев и другие).

Накопленный в этой области многолетний опыт был внедрен в оперативную практику в нашей стране как для краткосрочного (до 7 суток), так и для долгосрочного (месячного, сезонного, квартального) прогноза объема речного стока в пределах гидрологических сезонов (весеннего половодья, летней и зимней межени).

Для создания прогнозов речного стока используются соотношения, основанные на закономерностях, происходящих в речной сети или на водосборе [Руководство..., 1989a], например, между величиной стока и набором показателей, отражающих состояние водосбора перед снеготаянием: запасами воды в снеге, глубиной промерзания почвы и показателями ее увлажненности [Руководство..., 1989b]. В качестве расчетных соотношений используются либо физико-статистические зависимости, основанные на уравнении водного баланса водосбора и учитывающие, в определенной мере, представления о формировании потерь талого стока, либо линейные уравнения множественной регрессии.

Начиная с 90-х годов XX века и до сегодняшнего дня методической основой для разработки гидрологических прогнозов начали становиться модели формирования речного стока, объединившие представления о механизмах формирования гидрологических процессов и оперативно поступающие данные мониторинга в эффективные информационные системы расчета и прогноза речного стока [Pappenberger et al., 2016; Wetterhall et al., 2013]. В последние годы в нашей стране были описаны и частично внедрены несколько подобных систем [Bugaets et al., 2017; Белякова и др., 2013; Борщ и др., 2015, 2017; Борщ, Симонов, 2013; Мотовилов и др., 2017]. Они обладают рядом преимуществ перед оперативно используемыми регрессионными зависимостями. Следует отметить высокое разрешение во времени и пространстве: в зависимости от входных данных модели могут работать на часовом или суточном шаге по времени с произвольно долгой заблаговременностью, а благодаря распределенной схематизации могут предоставлять прогноз водности в любой точке речной сети. Преимуществом также является единая методическая основа таких прогнозов, когда одна модель способна воспроизводить сток во все фазы водного режима, а также использоваться одновременно для выпуска краткосрочных и долгосрочных прогнозов.

Тем не менее, с использованием гидрологических моделей в качестве основы прогностических систем связан ряд вопросов, большинство из которых находятся в области проверки их точности и корректности прогнозирования гидрологических явлений, т.е. верификацией [Franz et al., 2003; Franz and Hogue, 2011; Gelfan and Motovilov, 2009; Jolliffe and Stephenson, 2012; Wilks, 1995; Борщ, Христофоров, 2015]

Оценка прогностических систем должна производиться на предмет их точности (мера ошибки модели), надежности (мера устойчивости к ошибкам во входных данных) и своевременности (мера способности воспроизведения временных характеристик процесса) [Bogner, Pappenberger, 2011]. Традиционно используемые подходы к оценке качества прогнозов зачастую ограничиваются только оценкой точности (Борщ, Христофоров, 2015), тогда как зачастую на практике две оставшиеся характеристики прогноза являются не менее востребованными.

Методики оценки качества гидрологических прогнозов, традиционно применяемые в отечественной практике гидрологического прогнозирования, подразделяются на несколько основных классов оценки прогнозов [Борщ, Христофоров, 2015]. Первые рассчитаны на оценку точности прогноза путем сопоставления его среднеквадратической ошибки S с естественной изменчивостью ряда прогнозируемой величины σ . Эта оценка напрямую связана и с коэффициентом корреляции наблюдений и прогнозов. Интерпретация данного показателя эффективности достаточно очевидна: при превышении этим отношением значения 1

использование прогностической методики нецелесообразно, и использование климатического прогноза (т.е. математического ожидания ряда наблюдений) является более эффективным. При всем удобстве применения эта оценка из-за своего квадратичного вида, во-первых, не показывает конкретные недостатки методики прогнозирования (систематическое завышение или занижение прогнозируемых величин), и, во-вторых, будучи примененной к результатам прогнозирования с использованием модели суточного разрешения, не позволяет оценить качество прогноза в различные фазы водного режима.

Еще один широко используемый в отечественной практике показатель – оценка оправдываемости прогноза – основывается на допущении нормального распределения прогнозируемой характеристики речного стока [Борщ, Христофоров, 2015]. Для достижения допустимых значений этого показателя, от прогностической методики требуется попадание в интервал $\pm 0,674\sigma$ прогнозируемой величины не менее чем в 60% случаев. На практике этот интервал является слишком широким для конечных потребителей прогноза, а допущение о нормальности распределения прогнозируемой величины может не выполняться.

Следует отметить, что методически верификация прогнозов не отличается от проверки качества воспроизведения исторических рядов речного стока [Franz and Hogue, 2011] и некоторые методы оценки качества моделей могут использоваться для верификации прогнозов, и наоборот.

Традиционно используемые методы оценки качества моделирования в основном сводятся к применению в качестве целевых функций ряда квадратичных мер сходимости рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока, наиболее совершенной из которых считается коэффициент корреляции в формулировке Нэша-Сэтклифа [Nash, Sutcliffe, 1970]. Чаще всего этот коэффициент применяется в наиболее простой форме, и лишь к гидрографу в замыкающем створе. Для простых моделей это обычно оправданно, однако представляется совершенно недостаточным для верификации модели с сотнями пространственных расчетных элементов и развитым описанием сложного комплекса взаимосвязанных процессов в каждом из них. Таким образом, необходимость развития средств верификации моделей до уровня, не уступающего уровню развития самих моделей, представляется одной из ключевых задач современного этапа развития направления.

В связи с тем, что в последние десятилетия активно развиваются численные методы прогноза погоды, основные достижения в области верификации прогнозов также разрабатываются международным метеорологическим сообществом [Jolliffe and Stephenson, 2012]. Многие методы оценки гидрологических прогнозов, таким образом, являются заимствованными из метеорологии [Franz, Hogue, 2011]. При этом, помимо использования непосредственно методик оценки ошибок детерминистических прогнозов, также выделяются несколько направлений методов верификации, интерпретирующих прогнозы определенным образом.

Первое направление – это оценка категоричных прогнозов, т. е. направленных на прогнозирование попадания величины в определенные интервалы, формирующие категории явлений (например, ниже/около/выше нормы) или бинарных прогнозов определенного события (произойдет – не произойдет, например, затопление речной поймы выше некоторых отметок) [Jolliffe, Stephenson, 2012]. Очевидно, что любую прогностическую систему можно привести к выпуску прогнозов такого вида, что зачастую является полезным для некоторых потребителей. Оценка таких прогнозов является достаточно простым способом демонстрации эффективности прогностических систем для неспециалистов в области гидрологического прогнозирования, что в настоящее время, несомненно, является важным аспектом улучшения деятельности профессионального сообщества.

Второе направление – верификация вероятностных прогнозов, т.е. прогнозов в интервальной форме или в виде вероятности попадания в некоторый диапазон величин. Примером такой системы, предназначенной для выпуска прогнозов в вероятностной форме, является ансамблевый прогноз [Gelfan et al., 2018; Pappenberger et al., 2016]. Верификация таких прогнозов основывается на совместном анализе функции распределения прогнозируемой величины и прогноза, анализе ширины доверительного интервала прогноза и т.д.

Литература

1. Белякова П.А. и др. Краткосрочное прогнозирование стока рек Черноморского побережья Кавказа // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. 2013. № 349. С. 122–141.
2. Борщ С.В. и др. Краткосрочное прогнозирование уровней воды на реке Амур // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. 2015. № 353. С. 26–45.
3. Bogner K., Pappenberger F. Multiscale error analysis, correction, and predictive uncertainty estimation in a flood forecasting system // Water Resour. Res. 2011.
4. Borsch S., Simonov Y. Operational hydrologic forecast system in Russia // Flood Forecasting: A Global Perspective. , 2016. С. 169–181.
5. Bugaets A. и др. The Integrated System of Hydrological Forecasting in the Ussuri River Basin Based on the ECOMAG Model // Geosciences. 2017. Т. 8. № 1. С. 5.
6. Cloke H.L., Pappenberger F. Ensemble flood forecasting: A review // J. Hydrol. 2009. Т. 375. № 3–4. С. 613–626.
7. Franz K.J. и др. Verification of National Weather Service Ensemble Streamflow Predictions for Water Supply Forecasting in the Colorado River Basin // J. Hydrometeorol. 2003. Т. 4. № 6. С. 1105–1118.
8. Franz K.J., Hogue T.S. Evaluating uncertainty estimates in hydrologic models: Borrowing measures from the forecast verification community // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2011. Т. 15. № 11. С. 3367–3382.
9. Gelfan A.N. и др. Long-term ensemble forecast of snowmelt inflow into the Cheboksary Reservoir under two different weather scenarios // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2018. Т. 22. № 4. С. 2073–2089.
10. Gelfan A.N., Motovilov Y.G. Long-term hydrological forecasting in cold regions: Retrospect, current status and prospect // Geogr. Compass. 2009. Т. 3. № 5. С. 1841–1864.
11. Jolliffe I.T., Stephenson D.B. Forecast verification. , 2012. 254 с.
12. Motovilov Y. и др. Flood protection effect of the existing and projected reservoirs in the Amur River basin: evaluation by the hydrological modeling system // Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci. 2015. Т. 370. С. 63–67.
13. Nash J.E., Sutcliffe J. V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles // J. Hydrol. 1970. Т. 10. № 3. С. 282–290.
14. Pappenberger F. и др. Hydrological Ensemble Prediction Systems Around the Globe // Handbook of Hydrometeorological Ensemble Forecasting / под ред. Q. Duan и др. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. С. 1–35.
15. Wetterhall F. и др. HESS Opinions «forecaster priorities for improving probabilistic flood forecasts» // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2013.
16. Wilks D.S. Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction // Int. Geophys. Ser. 1995. Т. 59. С. 467.
17. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. : Л.: Гидрометеиздат, 1974. 419 с.
18. Бельчиков В.А., Корень В.И. Модель формирования талого и дождевого стока для лесных водосборов // Труды Гидрометцентра СССР. 1979. Т. 218. С. 3–21.
19. Бефани Н.Ф. Прогнозирование дождевых паводков на основе территориально общих зависимостей. , 1977. 184 с.
20. Борщ С.В. и др. Долгосрочный ансамблевый прогноз весеннего притока воды в Чебоксарское водохранилище на основе гидрологической модели: результаты проверочных и оперативных испытаний // Труды Гидрометцентра России. 2017. № 366. С. 68–86.
21. Борщ С.В., Симонов Ю.А. ОПЕРАТИВНАЯ СИСТЕМА КРАТКОСРОЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ РАСХОДА ВОДЫ НА РЕКАХ БАССЕЙНА КУБАНИ // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. Т. 349. С. 63–87.
22. Борщ С.В., Христофоров А.В. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗОВ РЕЧНОГО СТОКА // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2015. Т. 355. С. 3–195.
23. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н. Экстраординарное Наводнение В Бассейне Реки Амур // Вестник Российской Академии Наук. 2014. Т. 84. № 9. С. 817–825.
24. Жидиков А.И. Модели формирования весеннего стока и проблемы их применения для прогноза гидрографа половодья. // Труды Гидрометцентра СССР. 1972. Т. 81. С. 33–45.
25. Змиева Е.С. Расчет притока воды к Куйбышевскому и Волгоградскому водо-хранилищам. М.: Гидрометеиздат, 1964. 355 с.

26. Мотовилов Ю.Г. и др. Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели ЕСОМАГ с использованием метеорологических прогнозов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 78–102.
27. Руководство... Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Л.: Гидрометеиздат, 1989а. 245 с.
28. Руководство... Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1989б. 358 с.
29. Спенглер О.А. Слово о воде. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 152 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОСТАТОЧНОГО РЕЧНОГО СТОКА

А.М. Мосейкова, В.А. Шелутко

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND ASSESSMENT OF ECOLOGICALLY SUFFICIENT RIVER FLOW

A.M. Moseykova, V.A. Shelutko

Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

В качестве объекта исследования в работе выбрана р. Луга. В настоящее время река Луга и ее притоки испытывают на себе существенную антропогенную нагрузку. Река Луга впадает в Финский залив, а, следовательно, может происходить перенос биогенных веществ в прибрежные воды Финского залива, что может повлечь за собой загрязнение и его акваторий.

As an object of research in the work selected river meadows. Currently, the Luga river and its tributaries are experiencing a significant anthropogenic load. The Luga river flows into the Gulf of Finland, and therefore, the transfer of nutrients to the coastal waters of the Gulf of Finland can occur, which can lead to pollution and its waters.

Цель работы – оценить экологически достаточный сток реки Луга в городе Луга и Кингиссеп на примере азота нитратного.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Исследовать числовые характеристики концентраций нитратного азота и значений расходов воды за год и за 3 характерных периода;
- Исследовать изменение концентраций по азоту нитратному в пределах г. Луга и г. Кингиссеп;
- Определить экологически достаточный речной сток по нитратному азоту.

Для исследования были использованы данные наблюдений за концентрациями нитратного азота и расходами воды на р. Луга г. Луга и г. Кингиссеп за период с 1986 г. по 2002 г. Данные предоставлены северо-западным межрегиональным территориальным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС).

Основные характеристики пунктов наблюдений

Таблица 1. Характеристика пунктов наблюдений

Река - пункт	Створы	Период наблюдений	Расстояние от устья, км	Категория пункта
р. Луга — г. Луга	1	1986 - 2002	227	3
	2	1986 - 2002	187	3
	3	1986 - 2002	170,8	3
р. Луга — г.Кингиссеп	1	1986 - 2002	72,5	3
	2	1986 - 2002	48	3

Пункт № 29290 - р. Луга – г. Луга, пункт 3 категории

В начале исследуемого периода (1986 г.) категория данного пункта была 4, но в 1987 году пункт перевели в категорию 3.

Пункт находится в Ленинградской области. Он включает в себя 3 створа:

1. 1 км выше г. Луга, 1,5 км выше впадения реки Вревка (227 км от устья)

2. 33 км ниже г. Луга, 1 км выше пгт Толмачево, 3 км ниже впадения реки Оредеж (187 км от устья)

3. 49,2 км ниже г. Луга, 10,2 км ниже пгт Толмачево, 0,2 км ниже впадения реки Ифенка (170,8 км от устья).

Пост № 29291 - р. Луга – г. Кингисепп – пункт 3 категории

В начале исследуемого периода (1986 г.) категория данного пункта была 4, но в 1988 году пункт перевели в категорию 3.

Пункт состоит из 2 створов:

1. 4,5 км выше г. Кингисепп, 0,5 км выше впадения р. Славянка

2. 12 км ниже г. Кингисепп, 6 км ниже впадения р. Падужица.

Результаты исследования

Наиболее низкие значения математического ожидания временных рядов годовых и сезонных значений концентраций азота нитратного наблюдались в период июль-октябрь в первом створе г. Луга.

Наиболее высокие значения математического ожидания временных рядов годовых и сезонных значений концентраций азота нитратного наблюдались в период апрель-июнь во втором створе г. Кингисепп.

Числовые характеристики временных рядов наблюдений средних годовых и сезонных значений концентраций в трех створах г. Луга изменяются в небольших пределах, также в небольших пределах изменяются числовые характеристики временных рядов наблюдений средних годовых и сезонных значений концентраций в двух створах г. Кингисепп.

Во всех случаях ПДК по азоту нитратному не превышен.

Чтобы определить обеспеченность ПДК по азоту нитратному, были построены на клетчатке вероятности для всех рядов наблюдений эмпирические и теоретические кривые обеспеченности Крицкого-Менкеля. [1,3]

Экологически достаточный речной сток - значение стока, достаточное для разбавления концентраций рассматриваемых веществ до уровня ПДК.

Для определения минимального экологического стока, была построена кривая обеспеченности объемов стока азота нитратного г/сек:

$$W = Q * C \quad (1)$$

По кривой определялось минимальное количество расхода воды для обеспечения речного стока с концентрацией не больше, чем ПДК:

$$Q = W / \text{ПДК} \quad (2)$$

Для определения экологически достаточного речного стока, была построена кривая обеспеченности объемов стока. По кривой определялось минимальное количество расхода воды для обеспечения речного стока с концентрацией не больше, чем ПДК. [2] В качестве экстремально низких значений были выбраны концентрации и объемы стока с 95%-ной обеспеченностью, экстремально высоких с обеспеченностью 0,1%.

Литература

1. Дружинин В. С., Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: РГГМУ, 2001, 168 с.
2. Фащевский Б. В. Основы экологической гидрологии. – Минск: «Экоинвест», 1996, 240 с., ил. – (Учебное пособие для высших и средних учебных заведений)
3. Шелутко В. А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1991, 238 с.

ПРЕДЛОЖЕННАЯ ПРОСТАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ ПРИ БОКОВОМ ВЕТРЕ

А.И.Н.Мханна¹, С.Х.Хусейн¹,

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

A SUGGESTED SIMPLE MODEL FOR EVALUATING MAXIMUM CROSSWIND CONCENTRATION OF AIR POLLUTANTS

A.I. Mkhanna¹, S.KH. Khusien¹,

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Предложена простая математическая модель, описывающая интегрированные при боковом ветре концентрации, для рассеивания загрязняющих веществ в пограничном слое атмосферы. Математический анализ основан на модели Гауссова шлейфа после параметризации метеорологических условий. Была определена максимальная концентрация бокового ветра, и для нее предоставлено явное приближительное выражение, позволяющее аналитически простое выражение для его положения и значения. Прогнозируемая концентрация, обусловленная предложенной моделью, оценивается с помощью наблюдений, полученных в экспериментах по диффузии в неустойчивых и нейтральных условиях. Предсказанные значения концентрации бокового ветра по предложенной модели и рассчитанные по формуле Гаусса сравниваются с наблюдаемыми данными. Сделан вывод о том, что настоящая модель лучше работает с наблюдениями, чем формула Гаусса, и может использоваться для прогнозирования краткосрочные рассеивание от непрерывного источника выбросов.

A suggested simple mathematical model describing the crosswind-integrated concentrations is presented for dispersion of pollutants in the atmospheric boundary layer. The mathematical analysis is based on Gaussian plume model after parameterization of meteorological conditions. Maximum crosswind concentration was determined and explicit approximate expression is provided for it, allowing an analytically simple expression for its position and value. The predictive concentration due to the proposed model is evaluated with the observations obtained from Copenhagen diffusion experiments in unstable and neutral conditions. Predicted values of crosswind concentration by the proposed model and that computed by Gaussian formula are compared with the observed data. It is concluded that the present model is performing well with the observations than Gaussian formula and can be used to predict the short-range dispersion from a continuous release.

Введение

Загрязнение воздуха является основной причиной преждевременной смерти в мире [1]. Радиоактивные загрязнители являются одними из самых опасных загрязнителей. Концентрации, при которых загрязнители воздуха достигают населения, зависят от степени рассеивания загрязняющих веществ в воздухе [2].

Моделирование необходимо для представления сценариев рассеивания загрязняющих веществ. Целью моделирования рассеивания воздуха является прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в результате источника или группы источников при различных метеорологических условиях. Эти модели особенно полезны для инженеров и ученых-экологов, которые изучают перенос загрязняющих веществ, так как они позволяют параметр исследования чувствительности и оценки источника, которые должны быть выполнены.

Для оценки таких сценариев необходимы эффективные процедуры, которые дают немедленные результаты, например, оценка концентрации загрязняющих веществ на уровне земли и особенно максимальной концентрации, и ее положения. С эксплуатационной точки зрения при оценке концентрации бокового ветра используются модели с полуэмпирическим или аналитическим подходом (например, гауссовский шлейф или слой), которые требуют в качестве входных метеорологических данных, поступающих от локальных измерений поверхности. Интегрированная концентрация C_y при боковом ветре является функцией высоты выброса, подъема струи, вертикальной дисперсии и отражения от поверхности, а также любых взаимодействий в верхней части конвективного смешанного слоя [4]. Известно, что классический подход, основанный на традиционных моделях, таких как гауссовская облачность / шлейфа или К-теория с подходящими допущениями, работает достаточно хорошо в большинстве метеорологических режимов, за исключением слабых и переменных ветровых условий [9]. Это происходит потому, что (а) диффузия по ветру не учитывается в отношении

адвекции, (б) концентрация обратно пропорциональна скорости ветра, (в) средние условия являются стационарными и (г) отсутствует соответствующий оценки параметров рассеяния в условиях слабого ветра [3].

На практике большинство оценок дисперсии основаны на модели гауссовского шлейфа, которая предполагает постоянную скорость ветра и турбулентные перемешивания с высотой, в то время как негауссова модель предполагает непостоянную скорость ветра и турбулентность с высотой. Модель гауссовского шлейфа - это модель атмосферной дисперсии, наиболее широко используемая для оценки воздействия радионуклидов в воздухе в пределах 10 км от точки выброса [7].

Методы

Основная цель этого исследования - разработать и оценить простую аналитическую модель, описывающую интегральные концентрации при боковом ветре, для рассеивания загрязнителей воздуха, выделяющихся из непрерывного источника в пограничном слое атмосферы.

Теоретические аспекты

Модель шлейфа Гаусса: модель шлейфа Гаусса используется в большем количестве нормативных приложений, чем любая другая модель. Она использовалась большинством стран, участвующих в моделировании шлейфа НАТО в Федеративной Республике Германии. Это широко используется и была оценена со многими наборами данных. Для непрерывного точечного источника основой модели является единая простая формула, которая предполагает постоянную скорость ветра «u» и полное отражение от поверхности земли [8]. Концентрация, связанная с точечным источником прочности Q, выражается как:

$$\bar{q}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

$$\sigma_y^2 = 2K_y \frac{x}{U}, \quad \sigma_z^2 = 2K_z \frac{x}{U} \quad (1)$$

где параметры определяются следующими описаниями:

q (г/м³) = концентрация загрязнителя воздуха; Q (г/с) = сила непрерывного точечного источника (мощность источника); u (м/с) = скорость ветра на высоте H; σ_y (м) = параметр боковой дисперсии; σ_z (м) = параметр вертикальной дисперсии; x (м) = горизонтальное расстояние в направлении по ветру. y (м) = боковое расстояние от центральной линии шлейфа, z (м) = высота над землей; H (м) = эффективная высота факела над землей; H = h + Δh; где его высота стека, а Δh - подъем шлейфа, равный 3 (wD / u); D - внутренний диаметр стека (м), а w - скорость выхода загрязняющих веществ (м/с).

Хотя расстояние по ветру x не указано явно в уравнении, оно неявно включено через σ_y и σ_z , которые являются функцией x, а также категориями устойчивости атмосферной Пэскуила и могут быть рассчитаны из формулы [9]: $\sigma_y = ax^b$, $\sigma_z = cx^d$ (2)

где a, b, c, d - значения констант в зависимости от классов устойчивости (таблица 1).

Таблица 1: Константы для расчета боковой (σ_y) и вертикальной дисперсионный параметр (σ_z).

Устойчивость	σ_y		σ_z	
	a	b	c	d
сильно неустойчивый	0.4	0.91	0.41	0.91
неустойчивый	0.36	0.86	0.33	0.86
Нейтральный	0.32	0.78	0.22	0.78
Устойчивый	0.31	0.71	0.06	0.71

$$C(x, y, 0, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right] \quad (3)$$

На уровне земли $z = 0$, следовательно,

$$C(x, y, 0, H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right] \quad (4)$$

Из степенного закона, подставляя из (2) в (4), получаем:

$$C(x, y, 0, H) = \frac{Q}{\pi u a c x^{b+d}} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2a^2 x^{2b}}\right) \left[\exp\left(-\frac{H^2}{2c^2 x^{2d}}\right) \right] \right] \quad (5)$$

Чтобы получить интегрирующую концентрацию при боковом ветре, уравнение (5) интегрируется относительно (y) следующим образом:

$$C_y(x, H) = \frac{Q}{\pi u a c x^{b+d}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{y^2}{2a^2 x^{2b}}\right)} dy \left[\exp\left(-\frac{H^2}{2c^2 x^{2d}}\right) \right] \right] \quad (6)$$

$$C_y(x, H) = \frac{Q}{\pi u a c x^{b+d}} \frac{\sqrt{\pi}}{2a^2 x^{2b}} \left[e^{-\frac{H^2}{2c^2 x^{2d}}} \right] \quad (7)$$

Тогда максимальная интегрированная концентрация бокового ветра составляет:

$$(C_y(x))_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{\pi} u a^3 c x^{3b+d}} \left[e^{-\frac{H^2}{2c^2 x^{2d}}} \right] \quad (8) \quad (C_y(x))_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{\pi} u a^3 c x^{3b+d}} e^{-\frac{2x^{2d} c^2 (3b+d) \ln \frac{x}{x_0}}{2c^2 x^{2d}}} \quad (9) \quad H_{\max}^2 = \left(2(3b+d)c^2 \ln \frac{x}{x_0} \right) x^{2d} \quad (10)$$

$$(C_y(x))_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{\pi} u a^3 c x^{3b+d}} e^{-(3b+d) \ln \frac{x}{x_0}} \quad (11) \quad \frac{(C_y(x))_{\max}}{Q} = \frac{1}{2\sqrt{\pi} u a^3 c x^{3b+d}} e^{-(3b+d) \ln \frac{x}{x_0}} \quad (12)$$

Особый случай: при постоянной эффективной высоте (H), т.е. $\partial H / \partial x = 0$

Тогда точка максимальной концентрации у уровня земли изменяется линейно по направлению x ,

$$(C_y)_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{\pi} u a^3 c x^{3b+d}} e^{-\frac{(3b+d)}{2d}} \quad (13)$$

Параметризация: при моделировании атмосферной диффузии турбулентная параметризация представляет собой фундаментальный аспект рассеивания загрязняющих веществ. Надежность каждая модель сильно зависит от своего пути рассчитанных параметров. Выбор самого турбулентного параметризация устанавливается для учета динамических процессы, происходящие в АПС. В этом исследовании, простой вертикальные профили ветровой и вихревой диффузии для неустойчивых и нейтральные термических условия были высчитаны согласно уравнению (14). Обычно $U(z)$ параметризуется в виде дисперсионная модель с использованием эмпирической формулировки в терминах степенная функция закона z [5].

$$\frac{U(z)}{U_1} = \left(\frac{z}{z_1} \right)^\alpha \quad (14)$$

где u_1 - средняя скорость ветра на высоте z_1 , а α показатель, связанный с интенсивностью турбулентности [4]. Параметры дисперсии σ_y и σ_z параметризуются с помощью уравнение (2) и таблица (1). Минимальное расстояние x_0 было 8-13 м для неустойчивой случая и 15-22 м в нейтральном случае.

Результаты исследования и их анализ. Концентрации бокового ветра были рассчитаны с использованием Предлагаемая модель и модель Гаусса.

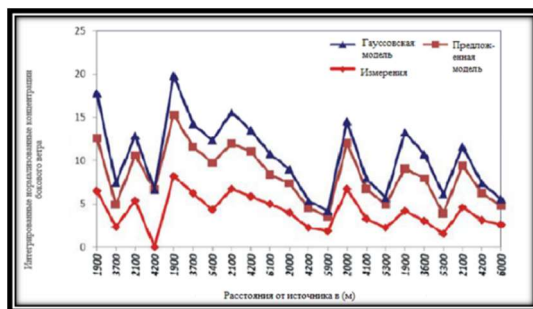


Рис. 1: Интегрированные нормированные концентрации при боковом ветре (10^{-4} см^{-2}) через расстояние по ветру (м).

Прогнозирующая концентрация благодаря настоящей Модели была оценена с помощью гауссовой модели и данных наблюдениями, которые получены при диффузионном эксперименте в неустойчивых и нейтральных условиях [6], как показано на рис. (1). Можно сделать вывод, что Предложенная модель способна более точно воспроизвести концентрации на дальних расстояниях от источника (более низкие концентрации), где шлейф проникает в свободный конвекционный слой, быстро уменьшающий концентрацию.

Заклучение

На основе математического анализа были получены соответствующие функциональные формы эффективной высоты и максимальная концентрация на уровне земли, чтобы получить максимальная концентрация при боковом ветре. Настоящая модель была оценена с наблюдением полученный из эксперимента по диффузии в неустойчивых и нейтральных условиях, и это хорошо работает с наблюдение, настоящая модель может использоваться для прогнозирования величины и положения интегрированной нормализованной концентрации загрязнителей, выбрасываемых при боковом ветре, из непрерывного источника, что очень полезно для оценки воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Литература

1. WHO, 2013a. Review of evidence on health aspects of air pollution, -REVIHAAP Project, Technical Report, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
2. Alex De Visscher, 2014. Air Dispersion Modeling, foundation and Application, John Wiley & Sons, USA.
3. Pramod Kumar.and M. Sharan, 2010b. An analytical model for dispersion of pollutants from a continuous source in the atmospheric boundary layer, Proceedings of the Royal Society A, 466: 383-406.
4. John S. Irwin, 2014. A suggested Method for Dispersion Model Evaluation, Journal of the Air & Waste Management Association, 64(3): 255-264.
5. Ronbanchob Apiratikul, 2015. Approximation formula For The Prediction of Downwind Distance That Found The Maximum Ground Level Concentration of Air Pollution Based On The Gaussian Model, Proedia - Social and Behavioral Sciences, 197:1257-1262.
6. Гаврилов А.С., Мханна А.И.Н., Харченко Е.В.Верификация модели атмосферного пограничного слоя применительно к задачам прогноза загрязнения атмосферы от очагов лесных пожаров. Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 32. С. 119-129. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21087910>.
7. Василенко С.В., Гаврилов А.С., Липовицкая И.Н., Мханна А.И. Метод климатологического анализа вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя с использованием численной модели. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2006. № 2. С. 53-64. <https://elibrary.ru/item.asp?id=15614914>
8. Липовицкая И.Н., Василенко С.В., Гаврилов А.С., Мханна А. Метод климатологического анализа вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя с использованием численной модели. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2006. № 2. С. 74.
9. Мханна А.И., Неробелов Г.М., Стригунова Я.В., Седеева М.С., Лыскова С.А., Гаторе А.К.И., Махура А.Г., Нутерман Р.Б. Использование Enviro-Hirnam для исследований на городском масштабе: с фокусом на мегаполисах Европы, Китая и России. В сборнике: Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы Труды Всероссийской конференции к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. 2017. С. 359-362. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32873716>

ТЕРМИЧЕСКИЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА: КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

М.А. Науменко¹, В.В. Гузиватый¹, С.Г. Каретников¹

¹Институт озераведения РАН, Санкт Петербург, Россия

M.A. Naumenko¹, V.V. Guzivaty¹, S.G. Karetnikov¹

¹Limnology Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Рассмотрены имеющие важное значение для крупнейшего европейского озера – Ладожского - процессы и явления: весенняя фронтальная зона, эволюция слоя скачка, ледовые процессы. Межгодовые и сезонные изменения обсуждаются в рамках концепции климатических изменений. Представленные в докладе результаты изучения термических и ледовых процессов Ладожского озера подводят итог многолетних исследований.

The processes and phenomena that are important for the largest European lake - Ladoga - are considered: the spring frontal zone, the evolution of the thermocline, and ice processes. Interannual and seasonal changes are discussed under the concept of climate change. The results of the study of thermal and ice processes of Lake Ladoga presented in the report summarize of many year's research.

Пространственно-временная изменчивость температуры воды по акватории крупного озера и по вертикали от поверхности до дна является одной из важнейших абиотических характеристик озера. Изучение сезонной эволюции полей температуры в крупном озере на различных глубинах даёт физическую основу для понимания ряда химических и биологических процессов. Тепловой режим воды крупных озёр умеренной климатической зоны может претерпеть изменения при возможном повышении (понижении) температуры воздуха на Земле в будущем. В настоящее время выявлено повышение температуры поверхности воды T_s многих озёр на земном шаре [1], неравномерное повышение в течение периода открытой воды температуры T_s зафиксировано в Ладожском озере [2].

Эволюция термического состояния озера в годовом цикле определяется соотношением прихода и потерь тепла на поверхности и распределением его внутри всей водной массы, т.е. теплосодержанием водной толщи Ладожского озера. Сезонный ход теплосодержания различных районов, а также всего озера был рассчитан на основе среднемноголетних данных [3]. Были рассчитаны величины теплосодержания, характеризующие экстремальное (минимальное и максимальное) состояния озера. При средних условиях в Ладожском озере в течение года приблизительно поровну идёт тепла на нагревание при свободной конвекции (46%) и при устойчивой стратификации (54%). В экстремально тёплый год процесс свободной конвекции заканчивается раньше, и далее большее количество приходящего тепла идёт на увеличение температуры водной массы озера в условиях устойчивой стратификации. В аномально холодный год ледовые явления на озере продолжаются гораздо дольше средних (на 1-2 месяца), и требуется большое количество тепла на нагревание озера до температуры наибольшей плотности и только после этого озеро нагревается в условиях устойчивой стратификации.

Оценены диапазоны возможных вариаций теплосодержания и температуры воды для экстремально холодного года и для экстремально тёплого года на Ладожском озере на основе длительных наблюдений с 1898 года по настоящее время. Изменения как в тёплый, так и в холодный год происходят главным образом в верхнем приповерхностном слое 0-20 м. В период развитой стратификации (июль-сентябрь) различия среднедекадных температур могут составлять несколько градусов. В аномально тёплый год усиливается вертикальная устойчивость водной толщи озера. Самые большие термические изменения как в аномально тёплый, так и в аномально холодный годы, происходят в прибрежном мелководном районе Ладожского озера.

Ладожское озеро имеет среднегодовую температуру всей водной массы 3.8°C , ниже температуры наибольшей плотности 4.0°C , что подтверждает факт существования процесса свободной конвекции длительное время. Около 200 дней в году средняя температура водной массы озера меньше 4°C и 165 дней превышает её, достигая максимальной, равной 7.8°C , в

первой декаде сентября. Минимальную температуру ($+0.6^{\circ}\text{C}$), так же как и наименьшее теплосодержание ($21 \cdot 10^{17}$ Дж), водная масса озера имеет в первую декаду апреля. Годовой бюджет озера (разность между минимальным и максимальным теплосодержанием) составляет около $255 \cdot 10^{17}$ Дж, что примерно в два раза меньше, чем для озера Верхнего (США). Весенний бюджет озера (разность между минимальным теплосодержанием и теплосодержанием водной массы при температуре наибольшей плотности) составляет $118 \cdot 10^{17}$ Дж. Нагревание от температуры наибольшей плотности до максимальной температуры требует соответственно $137 \cdot 10^{17}$ Дж.

Одна из характерных особенностей термогидродинамики крупных димиктических озёр заключается в том, что ежегодно после таяния льда на этих озёрах интенсифицируется свободная конвекция, связанная с влиянием аномалии плотности пресной воды при температуре 4°C на процессы горизонтального и вертикального обмена теплом и массой в водной толще [4]. Граница раздела между стратифицированной и квазиизотермической областями характеризуется 4-градусной изотермой. Основным проявлением *весенней фронтальной зоны (термобара)* на поверхности воды является наличие больших горизонтальных градиентов температуры воды, превышающих средние по озеру в десятки раз. Термобар в Ладожском озере существует более двух месяцев с конца апреля до начала июля. Температура поверхности всего озера в начальный момент равняется температуре изотермической области 2°C . Эта дата (26 апреля) принимается за среднюю дату возникновения термического бара в прибрежной части Ладожского озера. Фронтальная зона перемещается в направлении увеличения глубин озера. Эволюция термической фронтальной зоны в крупном димиктическом озере – это возникновение и продвижение вертикальной плотностной стратификации от берегов вглубь озера [5,6]. Дата исчезновения на поверхности 4-х градусной изотермы является датой возникновения первичной стратификации всего озера (средняя многолетняя дата – 10 июля) и имеет важное значение как для гидрофизических, так и для гидробиологических процессов, для оценки абиотической составляющей экологического состояния в озере. Рассмотренные даты, безусловно, являются климатическими реперами при изучении межгодовых изменений термического состояния крупных озёр.

Временные вариации даты исчезновения на поверхности воды 4°C изотермы составляют до четырех недель, это связано с различиями год от года минимальной температуры поверхности озера в глубоководной части озера, ветровой ситуацией, облачностью и, следовательно, интенсивностью прихода тепла в Ладожское озеро.

После прохождения весенней фронтальной зоны в Ладожском озере возникает *слой скачка (термоклин)*, который является неотъемлемым элементом вертикальной структуры вод озёр. В зависимости от распределения глубин озера дата возникновения слоя скачка может колебаться от конца мая до середины июля. Его заглубление идет нелинейно, ускоряясь с интенсификацией осенней конвекции. В различных районах Ладожского озера диссипация слоя скачка приурочена к дате возникновения осенней изотермии (overturn) при температуре от 10°C в мелководном районе до 5.5°C в глубоководном районе. Даты возникновения осенней изотермии это климатические реперы, характеризующие полное перемешиванию и обмен от поверхности до дна. Исследование сезонных и внутрисезонных вариаций основных параметров слоя скачка в Ладожском озере требует анализа большого объема информации, которая хранится в специализированной базе данных Института озероведения РАН. Различные аспекты анализа рассматриваются в докладе.

Зимний режим Ладожского озера и неравномерность прихода тепла на поверхность озера имеют принципиальное значение для оценки положения фронта и слоя скачка в крупном озере. Изменение температуры поверхности изотермической области в период существования термического фронта нелинейно, что подчёркивает физический смысл изменений, определяемых зимними условиями на начальном этапе, неравномерностью прихода тепла на поверхность воды и синоптическими условиями, особенно ветровой ситуацией на этапах диссипации фронта. Ледовые условия являются объективным индикатором климатических вариаций в бассейне крупного озера. Изменения ледовитости Ладожского озера с 1943 по 2019 г.г. представлены на рис.1. Озеро практически не покрывалось льдом полностью с 2013 г., что свидетельствует об изменении зимнего режима [7,8]. На зимне-весеннее потепление за последние тридцать лет в районе озера указывает статистически значимое уменьшение периода отрицательных

температуры воздуха (на 12 суток), а также значимое увеличение среднемесячных, минимальных и максимальных температур в марте-апреле[9].

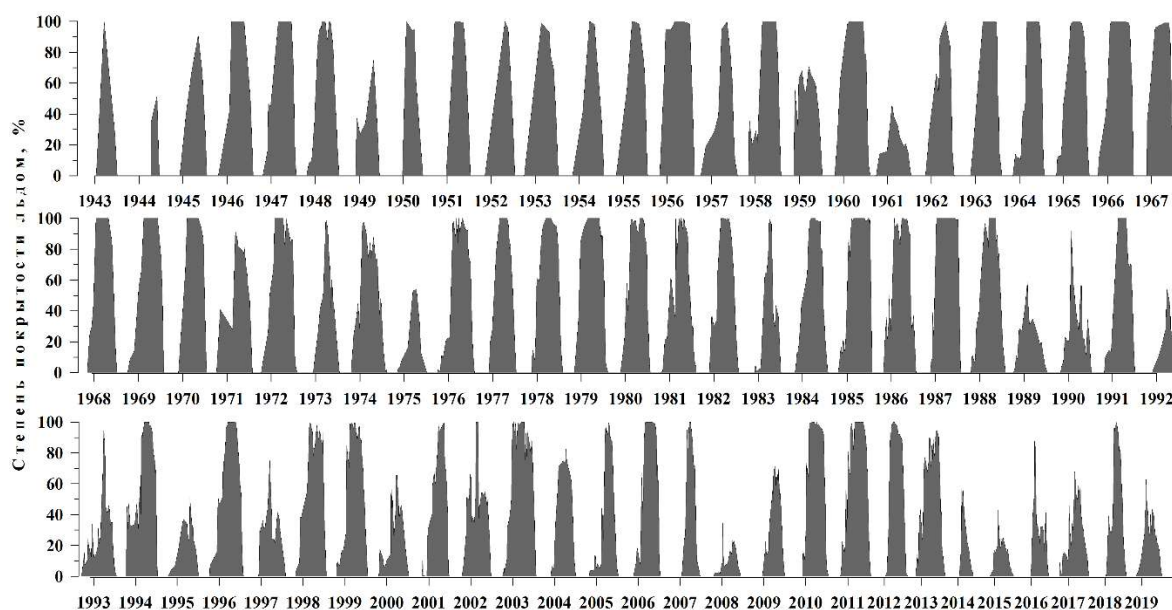


Рис. 1. Временные изменения ледовитости Ладожского озера.

В докладе обсуждаются особенности термического и ледового режима Ладожского озера, методика анализа больших массивов базы данных крупнейшего европейского димиктического озера.

Проведенные исследования выполнены по госзаданию № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Литература

1. Catherine M.O Reilly, Sapna Sharma, Derek K.Gray, Stephanie E.Hampton, Jordan S.Read, Rex J. Rowley, Philipp Schneider, John D. Lenters, Mikhail Naumenko., Catherine M.O Reilly, Sapna Sharma, Derek K.Gray, Stephanie E.Hampton, Jordan S.Read, Rex J. Rowley, Philipp Schneider, John D. Lenters, Mikhail Naumenko, Peeter Noges, Tiina Noges, Ryan P. North, Pierre-Denis Plisnier, Anna Rigosi, Alon Rimmer, Michela Rogora, Lars G. Rudstam, James A. Rusak, Nico Salmaso, Nihar R. Samal, Daniel E. Schindler, S. Geoffrey Schladow, Martin Schmid, Silke R. Schmidt, Eugene Silow, M. Evren Soylu, Katrin Teubner, Piet Verburg, Ari Voutilainen, Andrew Watkinson, Craig E. Williamson, and Guoqing Zhang. Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe // *Geophysical Research letters.*, 42 (24). PP. 10773-10781, 2015, 2.657, 10.1002/2015GL066235.
2. Наumenko М. А., Гузиватый В.В., Каретников С.Г. О климатических трендах температуры поверхности воды Ладожского озера в безледный период // Доклады Академии наук. 2006. т.408, №5, сс.675-678.
3. Наumenko М. А., Гузиватый В.В. Климатические вариации температурного режима Ладожского озера для периода открытой воды // Региональная экология, 2010, 3(29), с.104-108.
4. Тихомиров А. И. Термика крупных озер. – Л., Наука, 1982, 232 с.
5. Наumenko М. А., Каретников С.Г., Гузиватый В.В. Пространственно-временная термическая дифференциация вод Ладожского озера // Доклады РАН, 2000, т.373, № 2, С. 247-250
6. Наumenko М.А., Каретников С.Г. Сезонная эволюция пространственного распределения температуры поверхности воды Ладожского озера в связи с его морфометрией // Доклады Академии Наук, 2002, т.386, № 2, С. 250-253
7. Karetnikov S., Naumenko M. Lake Ladoga ice phenology: mean condition and extremes during last 65 years // *Hydrological processes*, 2011, 25, 2859-2867.
8. Karetnikov S., Leppäranta M., Montonen A. A time series of over 100 years of ice seasons on Lake Ladoga // *J. of Great Lakes Research*. 2017. Т. 43. №6. С. 979-988.
9. Наumenko М.А., Каретников С.Г. Особенности многолетних изменений температуры воздуха в северной части Ладожского озера // Успехи современного естествознания, 2017, № 5, сс. 114-122.

ТЕРМОХАЛИННАЯ АДВЕКЦИЯ В ЗОНЕ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ

Л.М. Наумов^{1,2,3}, С.М. Гордеева^{1,2,3}

1 - Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

2 - Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

3 - Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

THERMOCHALINE ADVECTION IN THE LOFOTEN EDDY REGION

L.M. Naumov^{1,2,3}, S.M. Gordeeva^{1,2,3}

1 - St.Petersburg State University, St.Petersburg, Russia

2 - Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

3 - Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia

В работе, с использованием данных океанских реанализов ECMWF ORAS4 и ORAS5, а также реанализа CMEMS GLORYS12V1, выполнен расчет потоков тепла, массы и соли через Лофотенский вихрь (Норвежское море), оценены балансы данных потоков. На основе данных расчетов оценено качество используемых в работе реанализов. Выявлено, что несмотря на наилучшее пространственное разрешение реанализа GLORYS12V1, наиболее физически обоснованные потоки всех исследуемых субстанций демонстрирует реанализ ORAS5. Данный реанализ также демонстрирует наименьшие невязки при вычислении балансов тепла, соли и массы. Также в рамках данной работы был сделан вывод о преобладающем вносе всех исследуемых субстанций с южной стороны вихря, а выносе - с восточной, что в большей степени определяется динамикой вод региона. Выявлено, что в регионе Лофотенского вихря присутствуют накопление воды из внешних источников и внос соли. Источники и стоки тепла без учета выхода тепла в атмосферу находятся в балансе друг с другом. При учете атмосферного влияния на тепловой баланс в регионе наблюдаются потери тепла.

In this article mass, heat and salt fluxes through the Lofoten eddy (Norwegian sea) has been calculated using ocean ECMWF reanalysis ORAS4 and ORAS5 and CMEMS GLORYS12V1 reanalysis data. Climate balances of this fluxes also has been estimated. Based on done calculations quality assessment of used reanalyses has been done. Revealed, that despite the best spatial resolution of GLORYS12V1 reanalysis, the most physically results were demonstrated by the ORAS5 reanalysis. This reanalysis also demonstrated least errors in the balances of heat, salt and mass. Also, in the field of this research has been concluded that the prevailing contribution of all studied substances from the south side of the eddy, and the removal from the east, which is largely determined by the dynamic processes in the region's waters. Revealed, that in the Lofoten eddy region there is an accumulation of water from external sources and deposit of salt. Sources and sinks of heat without taking into account heat release into the atmosphere are in balance with each other. When atmospheric effects on the heat balance are taken into account, heat losses have been observed in the region.

Исходные данные и методы исследования

Уравнение водного баланса Лофотенского бассейна Норвежского моря с открытыми внешними границами можно представить в следующем виде [1]:

$$\Delta V = U + W + E_{\text{эф}}, \quad (1)$$

где ΔV – изменение объема моря за конкретный период времени;

U – горизонтальные потоки массы по периметру бассейна;

W – вертикальный поток массы через нижнюю границу;

$E_{эф}$ – эффективное испарение с поверхности, равное разности испарения E и осадков P .

Водный баланс кроме объемной характеристики можно выразить через приращение слоя воды (уровня) ΔH на поверхности моря как

$$\Delta V = \Delta H \cdot S, \quad (2)$$

где S – площадь поверхности бассейна.

Тепловой поток — количество теплоты, передаваемой за единицу времени через единицу площади, который можно определить, как [2]

$$F_t = C_p \cdot \rho \cdot T \cdot V, \quad (3)$$

где F_t – поток тепла ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

C_p – удельная теплоемкость воды, рассчитывалась по полиномиальному уравнению ЮНЕСКО [3] ($\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{C})$);

V – скорость течения ($\text{м}/\text{с}$);

ρ – плотность воды, рассчитывалась по уравнению состояния морской воды TEOS-10 [4] ($\text{кг}/\text{м}^3$);

Следует отметить, что для соленых морей, температура замерзания которых отличается от 0°C , уравнение (1.3) принимает следующий вид:

$$F_t = C_p \cdot \rho \cdot (T - T_f) \cdot V,$$

где T_f – температура замерзания морской воды (рассчитывалась по полиномиальному уравнению ЮНЕСКО [3])

Поток соли — количество соли, передаваемой за единицу времени через единицу площади, который можно определить, как [2]

$$F_s = \rho \cdot S_w \cdot V, \quad (4)$$

где F_s – поток соли ($\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$);

S_w – соленость морской воды ($\text{г}/\text{кг}$).

Для замыкания баланса массы использовались значения эффективного испарения (разность осадков и испарения) в исследуемой области за исследуемый период. Значения потоков тепла из океана в атмосферу находились из уравнения внешнего теплового баланса:

$$B = R + LE + F, \quad (5)$$

где B – суммарный поток тепла ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

R – радиационный баланс поверхности океана ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

LE – скрытый турбулентный поток тепла ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

F – явный турбулентный поток тепла ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Данные выбирались из трех океанских реанализов: ORAS4, ORAS5 и GLORYS12V1. Все данные были усреднены по времени (с 1993 по 2017 гг).

Район исследования представляет собой прямоугольную область в крайних географических координатах $69^\circ - 72^\circ$ с.ш. и 0° д. – 8° в.д. (рисунок 1). Площадь района составляет 116811 км^2 , периметр – 2040 км . Выбранные пространственные пределы определены, исходя из многолетней локализации Лофотенского вихря, который проявляется в ярко выраженных аномалиях различных гидрофизических характеристик.

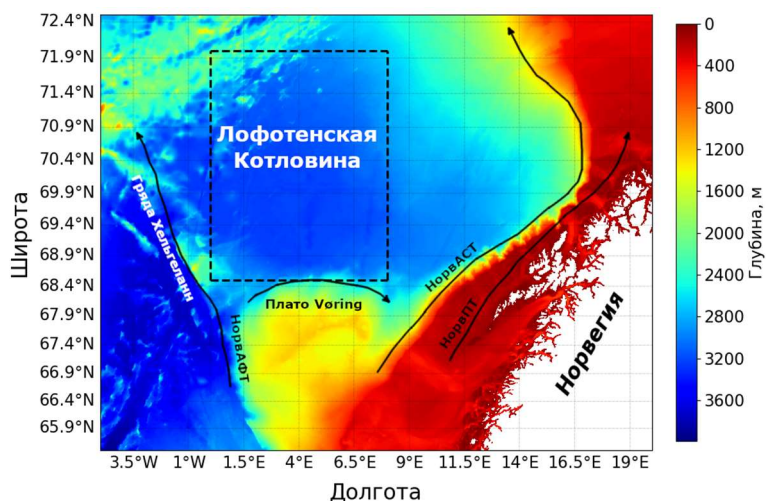


Рис. 1. Батиметрия (цвет) и главные течения (стрелки) исследуемого региона. Аббревиатуры: НорвПТ - Норвежское прибрежное течение, НорвАСТ - Норвежское атлантическое шельфовое течение, Норвежское атлантическое фронтальное течение. Штрихом обозначены разрезы, данные из которых использовались в данной работе.

Следует отметить, что при климатическом усреднении не учитываются макротурбулентные потоки воды, вклад которых в данном районе не может быть малым, учитывая присутствие такого интенсивного течения, как Норвежское.

Результаты и обсуждение

По указанной выше методике были рассчитаны климатические потоки тепла, массы и соли, результаты расчетов потока массы в объемных единицах (Св) представлены на рисунке 2.

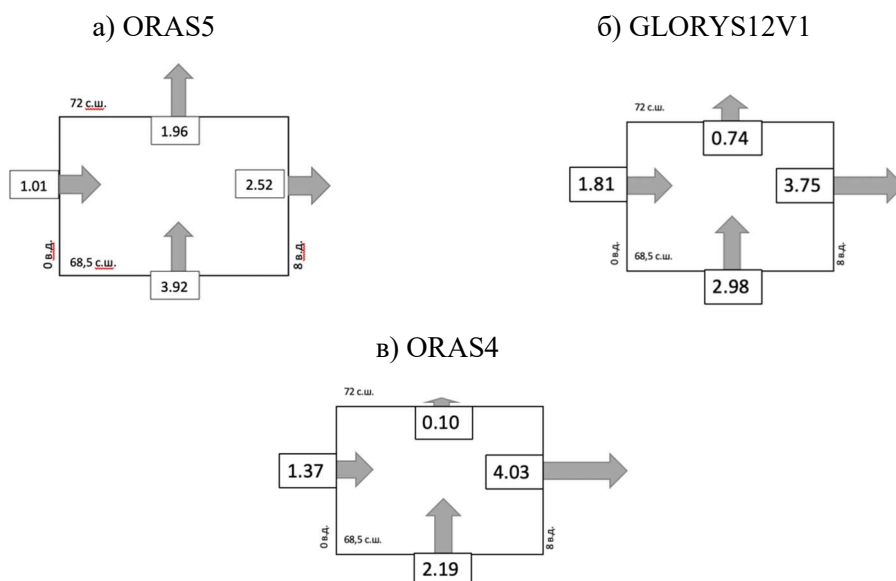


Рис. 2. Распределение объемных потоков (Св) на границе исследуемой области.

Основываясь на данных рисунка 2, можно сделать вывод о том, что по данным реанализов GLORYS12V1 и ORAS5 в регионе Лофотенского вихря наблюдается конвергенция потоков массы со значениями 0.45 Св и 0.3 Св соответственно. По данным реанализа ORAS4 в зоне Лофотенского вихря наблюдается дивергенция потока массы со значением -0.57 Св. Таким образом, можно сказать, что физически обоснованные результаты демонстрируют реанализы ORAS5 и GLORYS12V1, причем ORAS5 демонстрирует наименьшую невязку.

Поскольку реанализ ORAS5 показал наилучший результат при расчете потоков массы в исследуемом регионе расчеты потоков тепла и соли через границу исследуемой зоны приводятся лишь по его данным. Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты расчетов потоков тепла через границу исследуемой области.

Характеристика	Величина потока тепла	
	ТВт (=10 ¹² Вт)	%
Входящий поток		
Через западную границу	40.13	36.50
Через южную границу	69.81	63.50
Сумма	109.94	100
Выходящий поток		
Через восточную границу	93.72	85.25
Через северную границу	16.25	14.78
Сумма	109.97	100.03
Баланс		
Разность	-0.03	0.03

Из таблицы 1 видно, что адвективная составляющая потока тепла практически находится в балансе, абсолютное значение невязки составляет лишь 0.03 ТВт. Из таблицы также видно, что наибольшие значения входящих в регион потоков тепла наблюдаются на южной границе (69.81 ТВт), наибольшие значения выходящих потоков наблюдаются на восточной границе (93.72 ТВт).

Таблица 2. Результаты расчета потоков соли через границу исследуемой области.

Характеристика	Величина потока соли	
	т/с	%
Входящий поток		
Через западную границу	65.39	37.78
Через южную границу	107.69	62.22
Сумма	173.08	100
Выходящий поток		

Через восточную границу	135.73	78.42
Через северную границу	26.79	15.48
Сумма	162.52	93.90
	Баланс	
Разность	10.56	6.10

На основе данных из таблицы 2 можно заключить, что Лофотенский вихрь накапливает в себе соль, что проявляется в виде превышения входящих потоков соли над выходящими. Наибольший входящий поток соли наблюдается на южной границе исследуемой области и составляет 107.69 т/с. Наибольший выходящий поток соли наблюдается на восточной границе исследуемой области и составляет 135.73 т/с.

Заключение

В ходе выполненной работы было сделано несколько важных выводов. Во-первых, была произведена верификация нового океанского реанализа ECMWF ORAS5 посредством вычисления климатических балансов тепла, влаги и соли в регионе Лофотенского вихря. По итогам верификации был сделан вывод о хорошем качестве реанализа ORAS5, так, данный реанализ, несмотря на достаточно грубое по сравнению с реанализом GLORYS12V1 пространственное разрешение, показал наименьшие среди всех приведенных в исследовании реанализов невязки при вычислении балансов. Также полученные результаты хорошо согласуются с уже известной физической картиной региона.

Во-вторых, было получено представление о характере распределения потоков тепла, массы и соли в зоне Лофотенского вихря. Так, было выявлено, что наибольшие входящие в регион Лофотенского вихря значения потоков всех субстанций наблюдаются на южной его границе, в то время как наибольшие уходящие значения потоков всех субстанций наблюдаются на восточной границе. Также было выявлено, что Лофотенский вихрь накапливает в себе воду, что проявляется в увеличении уровня в нем по сравнению с уровнем окружающих вод, накапливает соль, что проявляется в повышенных значениях солености в его зоне, и расходует тепло на теплообмен с атмосферой, который, в отличие от обмена массой, сравним с адвективным притоком тепла.

Финансирование

Проект выполнен при финансовой поддержке РФФИ грант № 18-17-00027 «Вихревая динамика Лофотенской котловины и ее роль в переносе термохалинных свойств вод в Норвежском море».

Литература

1. Малинин В.Н., Догановский А.М. Гидросфера Земли. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. – 625 с.
2. Доронин Ю.П. Физика океана. – СПб.: Изд.РГГМУ, 2000. – 340 с.
3. Frank J. Millero. 2015. History of the Equation of State of Seawater. Oceanography. Vol.23, №3.
4. McDougall T.J. and P.M. Barker, 2011: Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox, 28pp., SCOR/IAPSO WG127, ISBN 978-0-646-55621-5.

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРИКАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ

Ж.К. Наурозбаева, научный руководитель д.т.н., проф. В.А. Лобанов

Российский Государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

PECULIARITIES OF CLIMATIC CHANGE IN THE CASPIAN REGION AND THEIR IMPACT ON THE ICE REGIME

Zh.K.Naurozbayeva, V.A. Lobanov

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Были проанализированы данные 29 метеорологических станций и постов, сформирована точная региональная база данных. Анализируются климатические изменения максимальных толщин льда в 7 пунктах измерений на акватории Северного Каспия и в 1 пункте в дельте Волги. Установлены влияющие метеорологические факторы на основе построенных зависимостей между максимальной толщиной льда и температурой воздуха. Получено, что максимальная толщина льда уменьшается на всех станциях, но в большей степени на северо-востоке, в меньшей на северо-западе, а на южных уже достигает критических значений при которых лед не формируется в отдельные годы. Основной причиной является увеличение температуры воздуха марта месяца, в то время как температура в остальные месяцы холодного периода года пока мало изменяется.

The data of 29 meteorological stations and posts were analyzed, an accurate regional database was formed. The climatic changes in the maximum ice thickness at 7 points of measurements in the water area of the Northern Caspian and at 1 point in the Volga delta are analyzed. Influencing meteorological factors are established on the basis of the constructed dependences between the maximum ice thickness and air temperature. It is obtained that the maximum thickness of ice decreases at all stations, but to a greater extent it decreases in the northeast, in the smaller in the north-west, and on the south it already reaches critical values at which the ice does not form in certain years. The main reason is the increase in the air temperature in March, while the temperature in the other months of the cold period of the year has not changed much.

Северная часть Каспийского моря ежегодного покрывается льдом, а в умеренные и суровые зимы ледовые явления наблюдаются и в средней части моря. Наиболее длительный холодный период имеет место в северо-восточной части Северного Каспия и его продолжительность доходит до 5 месяцев, а в северо-западной части - до 4 месяцев за год. Вопросами формирования ледового режима на Каспийском море, его развитием и влияющими факторами занимались многие исследователи, но эта тема остается актуальной, и на сегодняшний день возрастает ее важность в связи с современным изменением климата. Первая оценка ледового режима была сделана по результатам экспедиции 1914-1915 гг. под руководством Н.М. Книповича [1-2]. В связи с тем, что лед образуется преимущественно в северной части акватории, то и исследованием ледового режима активно занимаются ученые России и Казахстана [3-6].

Проведен анализ основных климатических параметров Прикаспийского региона, а также характеристик ледового режима на акватории моря. В ходе исследования привлечены данные 29 гидрометеорологических станций Казахстана и Российской Федерации. Собрана единая база данных, восстановлены пропуски, проведен анализ корреляционной зависимости между среднесуточной температурой воздуха, суммой отрицательных температур и суточной толщиной льда, проанализирован временной ход ледового периода, его продолжительность, изменения основных дат ледового режима. В результате были получены выводы о сокращении продолжительности ледового периода, корреляционной зависимости температур и толщины льда при нарастании льда.

Схема пунктов наблюдений за ледовым режимом на Северном Каспии и за климатическими характеристиками на ближайших метеостанциях приведена на рисунке 1.

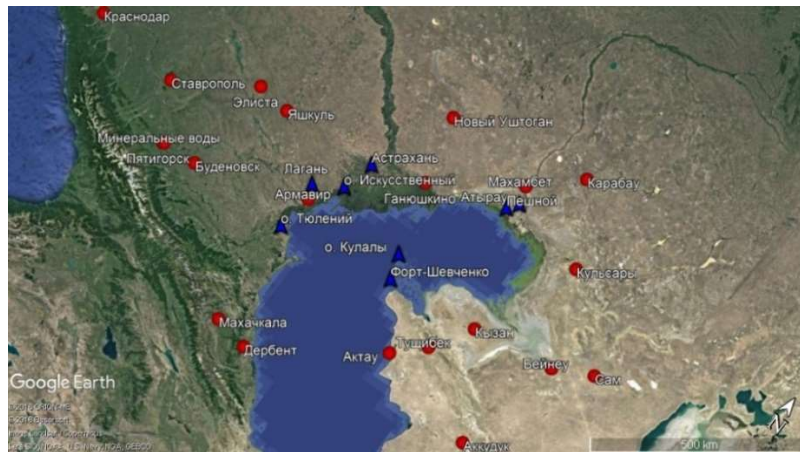


Рис 1. Расположение гидрометеорологических станций и постов (синие треугольники – наблюдение за толщиной льда и температурой воздуха, красные кружки – только наблюдения за температурой воздуха)

В результате были сформированы две региональные базы многолетних рядов: максимальных толщин льда по 8 пунктам и база данных среднемесячных температур воздуха с октября по март по 29 пунктам наблюдений. Было осуществлено восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду по уравнениям связи с рядами в пунктах-аналогах на основе известной методики [7-8]. При этом для толщин льда минимальное значение коэффициента корреляции задавалось $R_{min}=0,7$, а для среднемесячных температур воздуха $R_{min}=0,85$. Непрерывный ряд наблюдений за температурой воздуха с 1882 по 2018 г.

Для того, чтобы определить какие из температур воздуха являются факторами максимальных толщин льда, были найдены эмпирические зависимости между максимальной толщиной льда и температурой воздуха для каждого пункта наблюдений за льдом.

Климатические изменения оценивались по эффективности двух моделей нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения среднего значения при переходе от одного стационарного периода к другому) по отношению к модели стационарной выборки [7-8].

Результаты оценки наличия нестационарности средних значений в виде показателей эффективности для модели линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$) приведены в табл.1. В таблице 1 даны также коэффициенты корреляции модели линейного тренда (R), объемы рядов (n) и год ступенчатых изменений среднего ($T_{ст}$) и жирным шрифтом отмечены ситуации $\Delta > 10\%$ и статистически значимых R при уровне значимости $\alpha=5\%$.

Таблица 1. Результаты оценки эффективности нестационарных моделей максимальных толщин льда

Код	Данные наблюдений					Приведенные к многолетнему периоду				
	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$T_{ст}$	R	n	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$T_{ст}$	R	n
34880	11,7	14,3	1989	-0,47	57	11,9	14,3	1989	-0,47	72
35700	15,7	18,2	1978	-0,54	69	14,9	16,4	1978	-0,53	72
37089	0,0	1,5	1971	-0,01	48	0,6	2,5	1991	-0,11	55
97039	3,9	0,0	1971	-0,28	19	10,0	11,8	1980	-0,44	70
97040	4,5	7,5	1980	-0,30	49	2,7	5,8	1980	-0,23	63
97048	28,8	27,6	1980	-0,70	67	25,6	25,2	1980	-0,67	70
97059	30,2	26,0	1990	-0,72	54	30,2	26,0	1990	-0,72	54
97060	5,3	8,2	1978	-0,32	37	5,3	8,2	1978	-0,32	37

Для совместного анализа результатов моделирования и их графического представления построены графики многолетних колебаний с разделением на периоды квази-стационарных средних значений по Тст, которые приведены на рис.2.

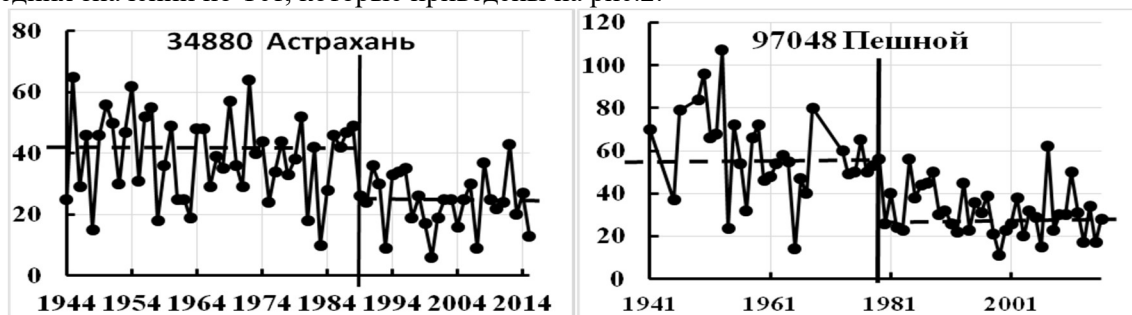


Рис.2. Многолетние ряды максимальных толщин льда на Северном Каспии и их аппроксимация стационарными и нестационарными средними

Из совместного анализа результатов можно сделать следующие выводы:

- во всех случаях произошло уменьшение максимальной толщины льда;
- на южных станциях (о.Кулалы, Форт-Шевченко) средние значения максимальной толщины льда уже достигли критических 20 см и даже 10 см, при которых лед в отдельные годы может даже не формироваться.

Анализ климатических изменений температур холодного периода

Рассмотренных 7 пунктов наблюдений за температурой воздуха, сопряженных с измерением толщины льда, явно недостаточно, чтобы понять изменение климатических условий в районе северного и центрального Каспия. Поэтому был проведен фоновый анализ климатических изменений среднемесячных температур воздуха холодного периода года с привлечением данных по всем 29 метеостанциям (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2. Результаты оценки эффективности нестационарных моделей сумм отрицательных температур

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$T_{ст}$	R	n	Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$T_{ст}$	R	n
34691	9.9	10	1980	-0.43	80	37031	4.9	4.8	1978	-0.31	80
34798	6.3	6.6	1980	-0.35	80	37050	0	0.7	1963	0.01	59
34861	5.9	6.3	1988	-0.34	79	37054	2	4.2	1998	-0.2	79
34866	5.7	6.7	1988	-0.33	78	37061	1	2	1998	-0.14	73
34880	6.5	6.5	1980	-0.35	80	37089	1.8	3.3	1977	-0.19	58
34927	5.2	5.6	1954	-0.32	79	37470	1.2	4.1	1977	-0.16	81
34949	1	2.5	1998	-0.14	80	37472	1.4	3.7	1977	-0.16	67
97039	3.7	5.1	1998	-0.27	57	38002	5.4	6.8	1980	-0.32	80
35514	11.4	11	1978	-0.46	80	38008	3.9	5.1	1980	-0.28	80
35605	10.8	10.9	1980	-0.45	80	38232	3	5.3	1980	-0.24	79
35700	9.9	9.6	1980	-0.43	80	97048	9.7	10.1	1980	-0.43	80
35715	9.7	9.7	1978	-0.43	80	97059	6.4	7.1	1980	-0.35	80
35925	4.1	5.2	1978	-0.28	80	97060	4.3	5.8	1980	-0.29	80
35927	4.5	5.7	1980	-0.3	80	97061	3.9	6.3	1980	-0.28	80

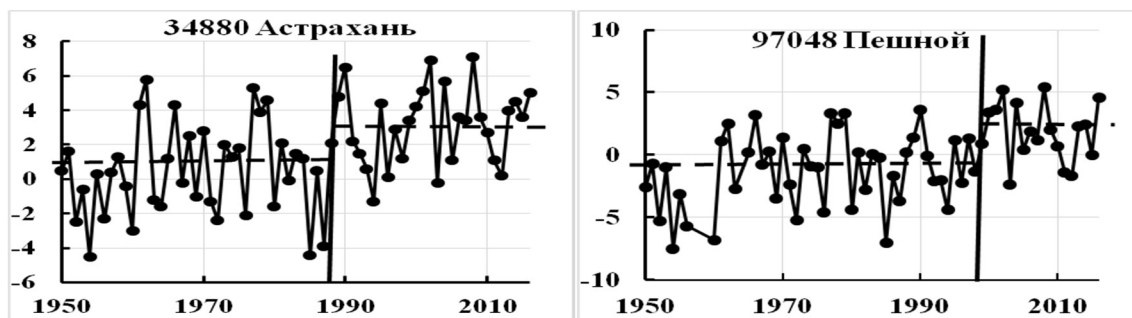


Рис.3. Временные ряды среднемесячных температур марта в °С и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений с ростом температур в 1988 г. (слева) и в 1999 г. (справа)

Также получено, что год ступенчатых изменений группируется в виде двух дат: 1988 (89) г. и 1999 г. (1997-2000 гг.). Примеры временных рядов со ступенчатым изменением среднего значения в разные годы (1988 г. и 1999 г.) приведены на рис.3.

Продолжительность ледового периода

Согласно, расчетам модели, наблюдается смещение основных дат ледового режима. Ступенчатое изменение отмечено в период 1998-1999 гг., если в период с 1981 по 1999 первые ледовые явления в среднем появлялись 19 ноября, то в период с 2000 по 2016 – уже 27 ноября. Устойчивое покрытие льдом также сместилось с 03 декабря к 14 декабря. Очищение моря ото льда происходит раньше. Смещение составило 7 дней: с 30 марта до 23 марта. В последние годы отмечается сокращение ледового периода как в Северном Каспии, так и в Среднем.

Основные выводы:

- основным климатическим фактором максимальной толщины льда помимо сумм отрицательных температур являются и средние температуры воздуха отдельных месяцев;
- максимальная толщина льда за рассмотренный период уменьшилась во всех пунктах наблюдений и больше всего на северо-востоке (на 20-28 см) и юге (на 13-17 см);
- сумма отрицательных температур уменьшилась как в пунктах ледовых наблюдений, так и в окрестностях Каспийского моря, но с разной интенсивностью;
- средняя температура воздуха марта – самый нестационарный климатический фактор;
- получено, что ступенчатое уменьшение максимальной толщины льда произошло в основном в 1980 году, также как ступенчатое падение сумм отрицательных температур, а ступенчатый подъем температур марта – в 1988 году и даже в конце 1990х годов на станциях северо-востока, что связано с разными видами атмосферной и их изменений в данном регионе;
- наблюдается смещение основных дат ледового режима.

Литература

1. Исследования льдов южных морей СССР / Под. ред. К.К. Гюль, Кан С.И., Цуриков В.Л. Изд. Наука, 1973. 58 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей, том VI. Каспийское море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. - СПб.: Гидрометеиздат, 1992, 359 с.
3. Бухарицин П.И. Характерные особенности ледовых процессов в мелководной северной части Каспийского моря ISBN 978-5-9908460-0-5. Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования. Материалы молодежной научной конференции, г. Севастополь, 25-29 апреля 2016 г.// Севастополь: ФГБУН МГИ, 2016, С.13-20. http://mhiras.ru/news/news_201605201055.html
4. Бухарицин П.И. Обледенение на Каспийском море. Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007, № 6(41), ноябрь-декабрь, С. 154-156.
5. Ивкина Н.И., Наурозбаева Ж.К. Изменение характеристик ледового режима казахстанской части Каспийского моря, в связи с изменением климата // Гидрометеорология и экология, 2015, № 2, С. 28-35.
6. Ивкина Н.И., Наурозбаева Ж.К., Клове Б. Влияние изменения климатических условий на ледовый режим Каспийского моря, 2017, 15 с. [<http://www.water-ca.org/article/2589>] - 12.11.2017 г.
7. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010. с.73-88.

8. Лобанов В.А., Наурозбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на северном Каспии // Ученые записки РГГМУ, 2018, № 53, С. 172—187 <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue53/> - 27.01.2019 г.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БАРОКЛИННОГО РАДИУСА ДЕФОРМАЦИИ РОССБИ В РАЙОНЕ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

SEASONAL VARIABILITY OF THE BAROCLINIC ROSSBY RADIUS OF DEFORMATION IN THE LOFOTEN BASIN

Novoselova E.V., Belonenko T.V.

Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

В данной статье был вычислен бароклиный радиус деформации Россби тремя классическими методами (средняя по глубине частота Вэйсяля-Брента, WKБ-приближение и двухслойная модель океана). Были рассмотрены особенности его сезонной изменчивости.

In this article, we calculated an internal Rossby radius using three classical methods (using the average Väisäl-Brent frequency, the WKБ approximation and the two-layer model of the ocean). In addition, we considered the features of its seasonal variability.

Радиус деформации Россби – это масштаб длины, имеющий фундаментальное значение в динамике атмосферы и океана. По существу, он является горизонтальным масштабом, на котором эффекты вращения (грубого типа) становятся такими же важными, как и эффекты плавучести [1].

Для расчёта этой характеристики существует три наиболее распространённых метода, которые и применяются в настоящей работе. В первом из них используется средняя по глубине частота Вэйсяля-Брента, для расчёта используется следующая формула:

$$R_n = \frac{NH}{\pi f}, \quad (1)$$

где $N = \sqrt{-\frac{g}{f} \frac{\partial \rho}{\partial z}}$ – средняя по глубине частота Вэйсяля-Брента, g – ускорение свободного падения, ρ – плотность воды, H – глубина, f – параметр Кориолиса.

Второй метод основан на WKБ-приближении и был предложен Челтоном [2]. В каждой точке определяется профиль частоты Вэйсяля-Брента, который интегрируется для определения значения фазовой скорости n -ой моды волн Россби (c_n), а затем рассчитывается радиус Россби (R_n) [3]:

$$R_n = \frac{c_n}{f}, \quad c_n \approx \frac{1}{\pi} \int_{-H}^0 N(z) dz. \quad (2)$$

В целом первый метод является следствием второго. Чтобы понять это, необходимо использовать первую теорему о среднем [4], согласно которой

$$\int_a^b f(x) dx = \mu(b - a). \quad (3)$$

где μ – это среднее значение функции $f(x)$ на отрезке $[a; b]$.

Применив данную теорему, мы можем представить интеграл, используемый во втором методе, как произведение средней частоты Вэйсяля-Брента (N) на глубину (H):

$$\int_{-H}^0 N(z) dz = NH. \quad (4)$$

Третий метод основан на применении двухслойной модели океана [5]. В этом случае для каждого профиля определяется глубина с максимальным значением частоты Вэйсяля-Брента, которая затем принимается глубиной границы между слоями. Далее рассчитываются толщины и

средние по глубине значения плотности верхнего и нижних слоев [3]. Итак, бароклинный радиус деформации Россби в двухслойной модели определяется выражением:

$$R_1 = \frac{1}{f} \sqrt{g' \frac{h_1 h_2}{h_1 + h_2}}, \quad (5)$$

где $g' = g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$, h_1, h_2 – толщина верхнего и нижнего слоев, ρ_1, ρ_2 – плотность верхнего и нижнего слоёв.

Для оценок вместо формулы, приведённой выше, иногда используют её упрощенный вид:

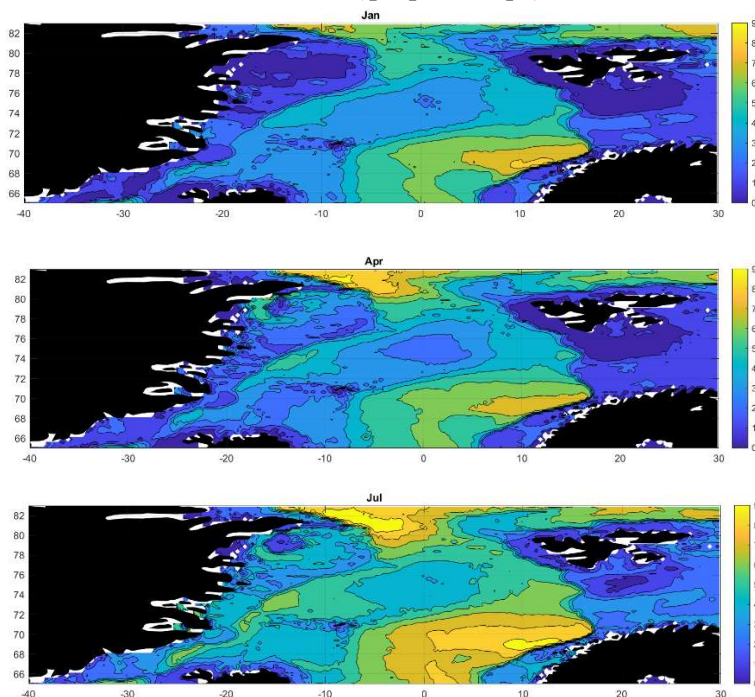
$$R_1 = \frac{1}{f} \sqrt{g' h_1}. \quad (6)$$

Для проведения вышеприведённых расчётов мы использовали данные массива ARMOR-3D, который является синтезом данных *in situ* и спутниковых измерений. Разрешение массива – $1/4^\circ$ по широте и долготе, временная дискретность – 1 месяц, диапазон глубин – от 0 до 5500 (33 горизонта). В работе использовался временной период с 15.01.1993 по 15.12.2016, район исследования ограничен координатами: 40° з.д. – 30° в.д., 64° – 83° с.ш.

Было выяснено, что максимальные величины радиуса деформации Россби наблюдаются в восточной части Лофотенской котловины, а также в Норвежской котловине и в северной части исследуемого района, что соответствует $\sim 82^\circ$ с.ш. (до 8-9 км). Это области максимальных глубин (3250 м для Лофотенской котловины и более 3500 для Норвежской котловины и северной части). Интересно отметить, что в Гренландской котловине, которая также имеет значительную глубину, радиус Россби составляет всего лишь 2-4 км – как и для большей части акватории.

Сравнение оценок радиуса, полученных различными методами, выявило различия в пространственном распределении величин, которые связаны с особенностями методов. В частности, оценки радиуса деформации, вычисленного по формуле для двухслойной жидкости, существенно зависят от глубины h_1 , которая определяется эмпирическим способом.

Межгодовая изменчивость не является ярко выраженной. Присутствует сезонная изменчивость (рис. 1): наибольшие значения характеристики достигаются в тёплое время года (июль-сентябрь), а наименьшие – в холодное (февраль-март).



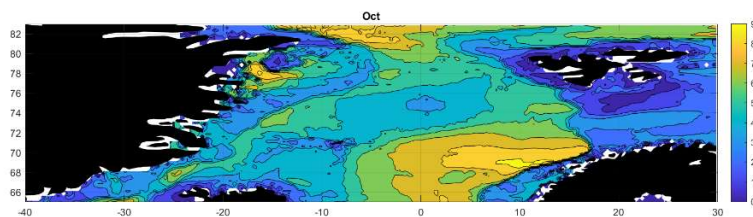


Рис. 1 – Сезонная изменчивость бароклинного радиуса деформации Россби (км) для Северной Атлантики

Для проверки наших расчётов были также использованы данные из работы Chelton et al. [2], которые исследовали географическую изменчивость первого бароклинного радиуса деформации Россби (рис. 2). Расчёты проводились по первому методу – по средненным значениям частоты Вэйсаля-Брента.

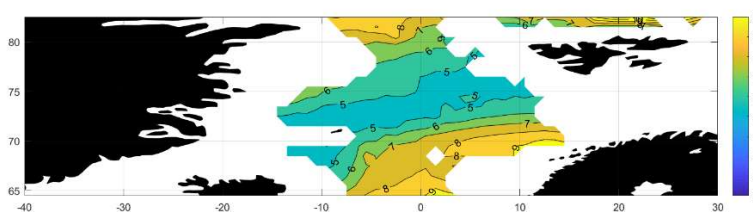


Рис. 2 – Пространственное распределение бароклинного радиуса деформации Россби для Северной Атлантики (км) по данным Chelton et al. [2]

Из рисунков 1 и 2 видно, что в целом результаты расчётов близки между собой. Однако данные Chelton et al. [2] имеют ряд недостатков: отсутствие сезонности в данных и, следовательно, невозможность учёта эффектов временной изменчивости стратификации; плохое пространственное разрешение (данные реализованы на одноградусной сетке); большое число пропусков в прибрежных областях. Для большинства районов Мирового океана, в том числе и для Северной Атлантики, сезонная изменчивость термохалинных характеристик и, следовательно, частоты плавучести весьма значительна, поэтому значительна и изменчивость радиуса Россби. В связи с этим следует пользоваться данными, учитывающими сезонный ход.

Заявленная тема является крайне актуальной, так как при всей простоте подходов, в литературе существует путаница в численных оценках радиуса деформации, которая присутствует даже в работах маститых ученых. В частности, в [6] указывают, что в районе Лофотенского вихря (область, ограниченная $69^{\circ} - 70^{\circ}$ с.ш. и 3° в.д. – 5° в.д.) бароклинный радиус деформации равен 20-25 км. В [7] для области, ограниченной $69^{\circ} - 7^{\circ}$ с.ш., $0^{\circ} - 8^{\circ}$ з.д., определяет радиус деформации равным 27,8 км. Мы считаем, что данные оценки являются ошибочными и возникли из-за того, что авторы, рассчитывая радиус по формуле ВКБ, не включили в знаменатель число π .

В то же время в [8], рассчитывая радиус деформации через задачу Штурма-Лиувилля (метод ВКБ-приближения) получают в области Лофотенского вихря значение 12 км, а рассчитывая радиус другим способом – по формуле для двухслойной жидкости, получает значение 8 км. Подобные оценки получены также в работах [2, 9]. Наши оценки радиуса согласуются с оценками в [2, 8, 9]. Мы считаем, что наше исследование будет способствовать установлению истины в подходах к оценке бароклинного радиуса деформации Россби.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Литература

1. Гилл А. Динамика атмосферы и океана: в 2-х томах. Т. 2. М.: Мир, 1986. 415 с.
2. Chelton D.B., de Szoeke R.A., Schlax M.G., El Naggar K., Siwertz N. Geographical variability of the first-baroclinic Rossby radius of deformation // *J. Phys. Oceanogr.* 1998. V. 28. P. 433–460.
3. Белоненко Т.В., Кубряков А.А., Станичный С.В. Спектральные характеристики волн Россби северо-западной части Тихого океана по спутниковым альтиметрическим данным // *Исследование Земли из космоса.* 2016. № 1–2. С. 43–52.
4. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Наука. 1969. Т. II.
5. Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. В двух частях. М.: Мир, 1981. 365 с.
6. Volkov, D. L., Kubryakov, A. A., Lumpkin R. Formation and variability of the Lofoten basin vortex in a high-resolution ocean model // *Deep-Sea Res. I*, 105. 2015. P. 142–157.
7. Köhl, A. Generation and Stability of a Quasi-Permanent Vortex in the Lofoten Basin // *J. Phys. Oceanogr.* 37, 2007. P. 2637–2651.
8. Fer I., A. Bosse, et al. The dissipation of kinetic energy in the Lofoten Basin Eddy // *Journal of Physical Oceanography.* 2018. doi:10.1175/JPO-D-17-0244.1
9. Nurser A. J. G., Bacon S. The Rossby radius in the Arctic Ocean // *Ocean Sci.* 2014. V. 10. P. 967–975.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Носаль А.П.¹, Лапина Т.В.¹, Топоркова А.А.¹

¹ФГБУ «РосНИИВХ», Екатеринбург, Россия

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF WATER PROTECTION ZONES DURING STATE MONITORING OF WATER BODIES

Nosal A.P.¹, Lapina T.V.¹, Toporkova A.A.¹

¹Federal State Budgetary Organization «Russian Scientific Research Institute of Integrated Use and Protection Water resources», Ekaterinburg, Russia

Мониторинг за состоянием и режимом использования водоохраных зон является составной частью системы государственного мониторинга водных объектов. Практика поведения данного вида мониторинга показала неэффективность используемых методов мониторинга и невозможности полученных данных для охраны водотоков и водоемов. На основании балльной системы, включающей социальные и природные факторы, разработан интегральный показатель эколого-социальной напряженности, который предлагается применить при выборе приоритетных водных объектов для мониторинга. Оценка экологического состояния водоохраных зон проводится по схожей балльной системе, адаптированной к поставленной цели мониторинга.

Monitoring for the status and regime of use of water protection zones is an part of the system state monitoring of water bodies. The practice of this type of monitoring showed the inefficiency of the monitoring methods used and the impossibility of the data obtained for the protection of watercourses and reservoirs. Based on the point system, including social and natural factors, an integrated indicator of environmental and social tension has been developed, which is proposed to be used when choosing priority water bodies for monitoring. Assessment of the ecological status of water protection zones is carried out according to a similar point system, adapted to the set monitoring goal.

Основной целью установления водоохраных зон (ВОЗ) для всех видов водных объектов согласно ст.65 Водного кодекса Российской Федерации № 74-ФЗ от 03.06.2006 г. является предотвращения их загрязнения, засорения, заиления, а также истощения водных ресурсов, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов [1]. С природоохранной точки зрения ВОЗ должны служить геоэкологическими барьерами, предназначенными для снижения горизонтальной эрозии (защита берегов от размыва), осуществления водорегулирующих функций (перевод поверхностного стока в грунтовый) сохранение особых условий переходной зоны между водными, околводными и сухопутными экосистемами. Соблюдение в водоохранной зоне специального режима хозяйствования должно предотвратить развитие негативных процессов, влияющих на качество воды в одном объекте и в определенной степени на состояние самого водного объекта (морфометрические характеристики, водный режим и т.д.).

Термин «водоохранные зоны» официально был введен первым Водным кодексом РСФСР, принятым в 1972 г. [2]. С небольшими изменениями в формулировках и ограничениями по видам хозяйствования данный термин сохранялся во всех последующих редакциях Водного кодекса. Но только в 2006 г. мониторинг за состоянием и режимом использования ВОЗ был включен в состав государственного мониторинга водных объектов (ГМВО), являясь одним из блоков гидроморфологического мониторинга согласно «Положения об осуществлении

государственного мониторинга водных объектов» (утв. ППР № 219 от 10.04.2007 г.) [3]. За мониторинг ВОЗ отвечают водопользователи (в пределах собственного землеотвода, находящегося в границах ВОЗ) и органы исполнительной власти (ОИВ) субъекта РФ на всех остальных водных объектах. Результаты мониторинга собираются Росводресурсами, отвечающими в целом за ГМВО, в автоматизированной информационной системе (АИС ГМВО), служащую основой для информационного обеспечения управлением в области использования и охраны водных объектов [4,5].

Отсутствие предшествующего опыта проведения мониторинга ВОЗ, а также действенных нормативно-методических документов по их осуществлению обусловили значительные трудности осуществления его на практике, особенно по обобщению и использованию полученных результатов в практической деятельности. Последнее связано с имеющимися пробелами как в организационной части мониторинга, так и в методологической базе.

В организационных затруднениях можно укрупненно выделить три основных момента:

1) нет четкого порядка выбора водного объекта или его участка, чьи ВОЗ подлежат мониторингованию на уровне ОИВ, с учетом соотношения затраты/выгоды;

2) табличные формы АИС ГМВО не позволяют хранить ретроспективную картографическую информацию и хронологию изменений состояния ВОЗ;

3) отсутствует взаимосвязь между данными отдельных участников мониторинга (водопользователи и ОИВ).

В методической базе отсутствует критериальная основа, необходимая для оценки текущего экологического состояния ВОЗ, а также направленности фиксируемых изменений состояния, их интенсивности и пр., необходимых для определения необходимости выполнения оперативных природоохранных мероприятий с целью предупреждения/устранения активизации негативных процессов. Учитывая масштабность водных объектов, различия в их хозяйственном использовании и разнообразие природных условий в пределах даже одного субъекта РФ и/или одного водохозяйственного участка (ВХУ), предпочтительно проводить оценку состояния ВОЗ не по абсолютным единицам, а по ранжированной балльной системе, основанной на ряде показателей. Это позволит сравнивать ВОЗ водных объектов, находящихся в разных природных зонах и на территориях, отличающихся хозяйственной освоенностью.

Кроме того балльную систему, базирующуюся на схожих принципах, целесообразно использовать при выборе водных объектов или их участков при составлении региональных программ мониторинга. Проведение мониторинга для субъектов РФ требует значительных материально-финансовых затрат из региональных бюджетов при неопределенном эффекте применения полученных данных для охраны и использования водных ресурсов. Для своевременного и оперативного использования результатов мониторинга ВОЗ в природоохранных целях он должен проводиться на приоритетных водных объектах, приоритетность которых рекомендуется определять по интегральному показателю эколого-социальной напряженности, основанному на балльной системе, разрабатываемой в ФГБУ РосНИИВХ.

Анализ практического мониторинга ВОЗ, ведущегося в стране с 2009 г., показал, что необходимы определенные различия при мониторинге ВОЗ водоемов и водотоков. Для водотоков проведение мониторинга на всем его протяжении, включая притоки, является

избыточным и нереалистично, вклад водопользователей в общий банк данных значителен, а мониторингом по линии ОИВ достаточно охватывать только наиболее проблемные участки.

Для водоемов ситуация несколько иная, особенно являющихся источником хозяйственно-питьевого назначения. Поскольку состояние ВОЗ и режим хозяйствования в ней непосредственно влияет на качество водных ресурсов в водоеме, мониторинг должен проводиться по всему его периметру. Предпочтительней проводить его одним участником мониторинга - ОИВ. Участие отдельных водопользователей малоэффективно из-за «лоскутности» получаемой информации и частичного дублирования сведений. На рисунке 1 представлен фактическая ситуация с охватом отдельными водопользователями периметра Верх-Исетского водохранилища на р.Исеть. Более целесообразным является участие водопользователей в долевом финансировании мониторинга, проводимого по заказу ОИВ специализированными организациями с помощью беспилотников.

Показатель эколого-социальной напряженности определяется по градации характеристик и числовых значений социальных, природных гидроморфологических факторов, выраженных в баллах (принята пятибалльная шкала по каждому фактору). В ранжированном порядке показатель рекомендуется применять при установлении приоритетных водных объектов или их участков при составлении региональной программы мониторинга. Введение балльной оценки облегчает сравнение водных объектов по частным показателям и дает возможность получить интегральную оценку эколого-социальной напряженности, возникающей в пределах субъекта РФ при определенном соотношении учитываемых факторов (компонентов).

В группу социальных факторов входят: а) наличие особо значимых хозяйственных объектов, включая инфраструктурные (водозаборы, гидротехнические сооружения, мосты, нефте- и газопроводы, пр.); б) степень заселенности/урбанизированности береговой зоны; в) текущая опасность активизации негативных процессов для населения и хозяйственных объектов (попадание в зоны затопления различной обеспеченности, частота обращений населения в МЧС и др.); г) тип проведенных мероприятий по охране водных объектов. Дополнительно для водохранилищ включен их срок эксплуатации.

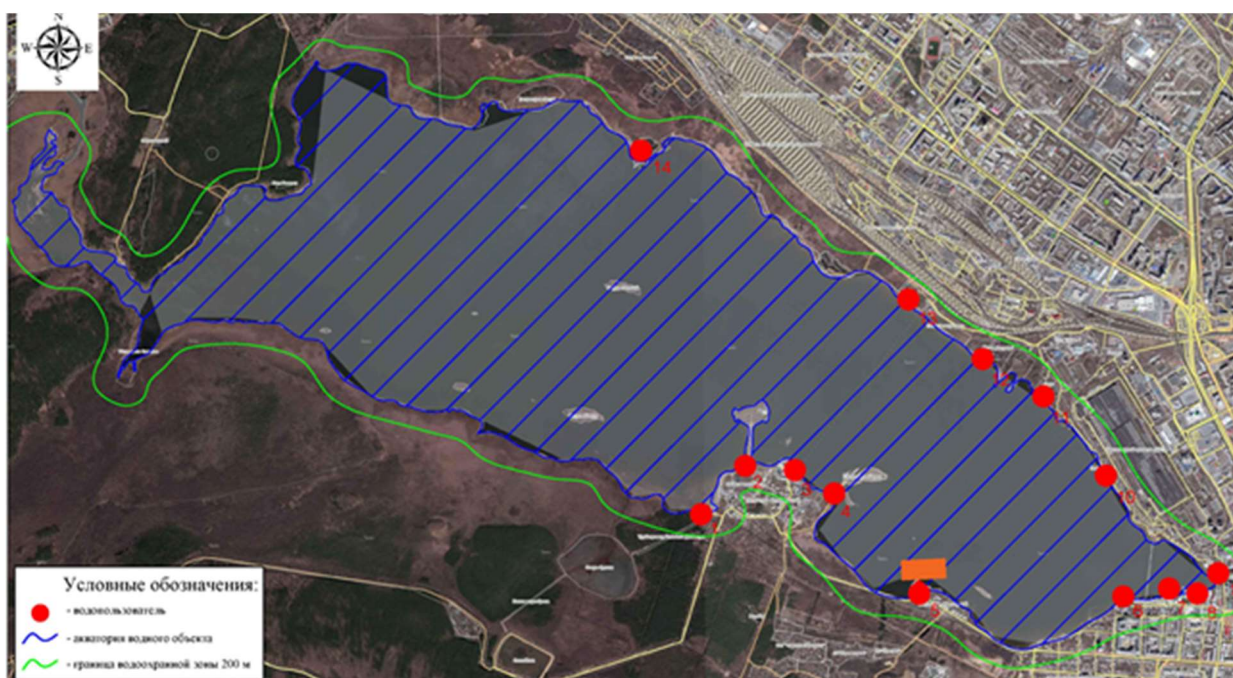


Рис. 1 – Схема фактического мониторинга ВОЗ, выполняемого водопользователями по периметру Верх-Исетского водохранилища на р.Исеть

В группу природных факторов входят: а) преобладающий тип руслового процесса (для водотоков) или процент абразивных берегов (для водоемов); б) характеристика опасных русловых процессов [6]; в) интенсивность горизонтальных русловых деформаций (для водотоков) [7].

За основу в мониторинге ВОЗ принимается единовременная съемка с помощью беспилотников, работающих в заданной системе координат с помощью спутников. При выполнении облетов летательный аппарат ориентирован на координаты ВОЗ, занесенные в государственный кадастр недвижимости, что позволяет избежать неопределенности с положением динамичной береговой линии. Фиксация фактического положения береговой линии в перспективе может быть использована для оценки интенсивности развития горизонтальных деформаций русла и берегов.

Полученные аэрофотоснимки дешифруются с выделением характеристик, отражающих в пределах ВОЗ текущее состояние растительного покрова, хозяйственную освоенность и т.д. Полученные параметры используются для оценки текущего экологического состояния ВОЗ, а по мере накопления ретроспективной информации (не менее 3 съемок) тенденцию наметившихся изменений, при их наличии.

Оценка экологического состояния ВОЗ по балльной системе ориентирована на градацию показателей, закрепленных в ст.65 Водного кодекса, и некоторых дополнительных характеристик. Вариативность показателей, включаемых в оценку экологического состояния, определяется природной зоной и степенью хозяйственной освоенности бассейна водного объекта. В расширенном варианте в общей оценке используются баллы, зависящие от процентного соотношения протяженности или площади ВОЗ: а) с наличием водно-эрозионных процессов (развитие оврагов, горизонтальные деформации берегов); б) с наличием заболачивания в прибрежной полосе; в) с сельскохозяйственными угодьями (выделяя фактическую распашку); г) с селитебными территориями (с учетом экспликации); д) с промышленно-урбанизированными площадями; е) с участками рекреации (в зависимости от степени благоустройства), ж) участки пашен и другие угодья, согласно указанной статье Водного кодекса.

Кроме того, в оценке экологического состояния целесообразно использовать сведения: а) данные по замусориванию ВОЗ бытовым и природным мусором, определенным как по аэрофотосъемке, так и при визуальном осмотре [8], б) тип поймы (при расположении ВОЗ в ее пределах); в) фактическое наличие объектов, чье размещение запрещено в ВОЗ и прибрежной защитной полосе согласно действующего ВК.

Текущая информация по мониторингу ВОЗ, накапливаемая в АИС ГМВО сейчас, не позволяет провести объективный и корректный анализ состояния ВОЗ, их потенциального влияния на водные объекты и прогноза развития негативных процессов. Предлагаемая унифицированная балльная оценка экологического состояния ВОЗ в принципе дает возможность получить достаточно объективную картину как в целом, так и по отдельным составляющим. В настоящее время предложенные показатель эколого-социальной напряженности и оценка экологического состояния ВОЗ, основанная на балльной системе, апробируется в нескольких субъектах РФ.

Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации от 30 июня 2006 г. № 74-ФЗ.
2. Водный кодекс РСФСР" (утв. ВС РСФСР 30.06.1972) (ред. от 12.03.1980, с изм. от 18.01.1985)
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 10 апр. 2007 г. №219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов».
4. Приказ Минприроды России от 6 февраля 2008 № 30 «Об утверждении форм и Порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями»;
5. Приказ Росводресурсов от 10 февраля 2014 г. № 35 «О вводе в постоянную эксплуатацию автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации»;
6. Алексеевский Н.И., Фролов Н.Л., Христофоров А.В.. Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования. М.: Географический факультет МГУ, 2011. – 408 с.
7. Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского края: Горизонтальные русловые деформации. – Пермь: ИПК «Звезда», 2004. – 155 с.
8. Романов В.И. Мусорные аспекты современных гидрологических опасностей (справочное пособие) М.: БукиВеди, 2014 .- 261 с

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ
АНТРОПОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННОГО ВОДОЕМА К ИЗМЕНЕНИЮ
ПАРАМЕТРОВ ЕСТЕСТВЕННОГО И АНТРОПОГЕННОГО РЕЖИМОВ

Одинокова К.Д., Примак Е.А.

ФГБОУ ВО «РГГМУ», Санкт – Петербург, Россия

COMPARATIVE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE STABILITY OF AN ANTHROPOGENIC
TRANSFORMED WATER BODY UNDER NATURAL AND ANTHROPOGENIC CONDITIONS
CHANGES

Odinokova K.D., Primak E.A.

RSHU, Saint Petersburg, Russia

Аннотация: Рассматривается интегральная оценка устойчивости водоема к изменению параметров естественного и антропогенного режимов на основе метода балльно-индексной оценки и метода сводных показателей.

Abstract: The integral assessment of the stability of water body to changes in the parameters of the natural and anthropogenic conditions changes is considered on the basis of the point-index estimation method and the method of aggregate indices

Актуальность. Определение устойчивости весьма неоднозначно, что обуславливает великое множество подходов к описанию данного понятия и исследованию этого свойства экосистемы. Но все еще нет единого, четко сформулированного метода интегральной оценки состояния и устойчивости экосистем к воздействию.

Устойчивость. Все подходы к изучению проблемы устойчивости геосистем целесообразно поделить на две группы. К первой можно отнести все понятия устойчивости и изменчивости геосистем как основополагающего (основного) свойства объектов реального мира в тесной связи с представлением об инвариантности системы. Во вторую группу подходов входят исследования устойчивости геосистем к антропогенным воздействиям различного характера. Понятие «устойчивость» в экологии имеет множество значений. Поэтому в литературе используются термины, обозначающие разные категории устойчивости: стабильность, инертность, инвариантность, уязвимость, устойчивое равновесие, устойчивость к воздействию.

В данной работе под устойчивостью водного объекта к изменению параметров режимов понимается его способность сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих на него внешних и внутренних нагрузок [1].

Методы оценки устойчивости водных экосистем. В основе методов оценки устойчивости экологических систем лежит представление об объекте окружающей среды как о сложной многопараметрической системе, то есть его качества и свойства характеризуются набором исходных параметров. В качестве основополагающих свойств и параметров оценивания выступают физико-географические и климатические условия, и характер антропогенного воздействия.

Оценка устойчивости водного объекта проводилась на основе двух методов: метода балльно-индексной оценки (БИО) и метода сводных показателей (МСП).

1) Балльно-индексная оценка является рекогносцировочным этапом, необходимым для обоснования и выбора параметров оценивания, построения оценочных шкал, осмысления результатов оценивания, но зачастую недостаточным для объективной оценки устойчивости изучаемого водного объекта.

Параметры устойчивости и уязвимости водных экосистем объединены в экспертную балльно-индексную систему, которая учитывает региональные особенности водных объектов и дает возможность в пределах изменения заложенных в них параметров провести сравнительную оценку уязвимости водных экосистем к воздействию. В ходе оценки последовательно суммируются индексы, затем разряды соответствующих признаков оценивания по таблицам. По сумме разрядов находят баллы устойчивости, к которым прибавляют баллы трофности или качества воды, тем самым определяя род устойчивости и по полученной сумме определяют класс

и подкласс устойчивости водоема [2]. Отнесение к определенному классу устойчивости является завершающим этапом работы и позволяет выявлять более или менее устойчивые водные объекты и анализировать пространственно-временные изменения устойчивости водоемов и водотоков. Такой подход, по мнению некоторых авторов, является результатом косвенной оценки устойчивости, поскольку любое эмерджентное свойство в принципе не может быть измерено [3].

2) Многокритериальная оценка – оценка состояния и воздействия на природные экосистемы с помощью построения сводных показателей по совокупности репрезентативных критериев оценивания. Построение интегрального показателя основывается на методе сводных показателей (МСП) или метода рандомизированных сводных показателей (МРСП) с использованием неполной, неточной и нечисловой информации. При этом реализация этапов проводится либо для нескольких уровней свертки информации, либо все параметры оценки сводились в единую исходную модель-классификацию [4]. Разработку интегрального показателя можно разделить на несколько этапов:

На первом этапе проводится отбор обоснованной системы критериев состояния биоты и абиотической среды.

На втором этапе избавляются от размерности исходных характеристик так, чтобы наилучшим условиям по каждому критерию соответствовало значение, равное 0, а наихудшим - равное 1 (или наоборот). Тем самым, исходные критерии в различных шкалах измерения приводятся к безразмерным шкалам.

На третьем этапе выбирается вид интегрального показателя $I(q_i, w_i)$, который строится таким образом, что зависит не только от показателей q_i , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами w_i .

На четвертом этапе вводятся оценки весовых коэффициентов w_i .

Далее на пятом этапе для левой и правой границ каждого класса рассчитывается значение I .

На шестом этапе проводится апробация разработанного интегрального индекса.

Сравнение состояния экосистем с помощью интегральных методик позволяет количественно оценить пространственно-временные особенности их динамики, степень их антропогенной трансформации, тенденции их изменения, степень допустимого воздействия на них.

Характеристика оз. Выгозера. Выгозеро (Выгозерское водохранилище) – водоём в Европейской части России, Республике Карелии. Относится к бассейну Белого моря.

В связи с включением озера в трассу Беломорско-Балтийского канала (ББК) с 1932 г. оно трансформировалось в водохранилище многолетнего регулирования стока при подпоре реки Выг. Уровень воды в озере поднялся на 7 м, что привело к затоплению больших территорий и увеличению площади водоема почти в 2 раза с 560 км² до 1250 км². С затопленной территории в водохранилище поступило большое количество органических и минеральных веществ, в основном это были древесные и травянистые остатки, всплывшие торфяники и размывы почвы. Последствия превращения озера в водохранилище отразились на его гидрохимическом режиме, а также привели к изменениям в растительном и животном мире озера [5].

Изменение параметров режимов в следствие антропогенной нагрузки. Оз. Выгозеро в естественном состоянии существовало до 1931 г. В результате хозяйственного освоения водоем подвергся двум существенным антропогенным изменениям. Первое крупное преобразование было вызвано строительством в 1932 г. ББК и возведением Сегежского целлюлозно-бумажного комбината (СЦБК) на северном берегу оз. Выгозера г. Сегежа в 1939 г. Второе преобразование было связано с активным использованием энергетического потенциала водных ресурсов р. Нижний Выг в 1954 г. А последующее преобразование гидрографической сети – сооружение 9 гидроузлов и превращение крупных озер (Выгозеро, Сегозеро, Ондозеро) в водохранилища – привело к практически полной зарегулированности поверхностных вод р. Нижний Выг.

Условно было выделено 3 основных этапа формирования водоема в соответствии с состоянием и изменением параметров водоема «до» и «после» антропогенной нагрузки:

– первый – до антропогенной нагрузки на оз. Выгозеро (до 1932 г.), при котором площадь поверхности составляла 560 км², объем – 3,5 – 4,2 км³, а вода соответствовала II – III классу качества воды с трофическим статусом – олиготрофный;

– второй – после включения оз. Выгозера в трассу ББК в 1934г., путем превращения его в водохранилище и постройки в 1939 г. СЦБК, а также ввода в эксплуатацию СБО значительно изменились как количественные, так и качественные показатели состояния водоема – площадь

поверхности увеличилась почти в два раза и составляла 1250 км², также увеличился объем – 6,5 км³, вода стала загрязнена сточными водами СЦБК, класс качества воды понизился до V – грязные, а после ввода станции биологической очистки водоем подвергся эвтрофированию, и относился к эвтрофному-мезотрофному;

– третий – после снижения производственной мощности ЦБК в современном состоянии водоем восстанавливается, вода соответствует III классу качества воды – слабозагрязненная, а по трофическому статусу большая часть водоема относится к олиготрофному.

Оценка устойчивости водоема на основе БИО. Для того чтобы наглядно показать ответную реакцию водоема на воздействующие на него антропогенные изменения, были выбраны 3 периода для оценки параметров водоема и его устойчивости:

– до 1932 г. – состояние водной акватории до включения озера в трассу ББК и строительства ЦБК;

– с 1965 по 1978 гг. – состояние водной акватории до ввода в эксплуатацию станции биологической очистки (СБО) сточных вод СЦБК и увеличении мощностей производства;

– с 1980 по 2007 гг. – состояние водной акватории после ввода СБО и уменьшения объемов производства.

По результатам оценки устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов на основе БИО выявлено, что оз. Выгозеро стало более устойчивым после воздействия на него антропогенных факторов, в частности действия сточных вод СЦБК. В период до 1932 г. в своем естественном состоянии оз. Выгозеро соответствовало III классу уязвимости, обладая средней устойчивостью, в периоды 1965 – 1978 гг. и 1980 – 2007 гг. оз. Выгозеро соответствовало I классу уязвимости, обладая максимальной устойчивостью. Таким образом, можно сделать вывод, что антропогенное воздействие на водоем привело к снижению его уязвимости.

Оценка устойчивости водоема на основе МСП. В основу модели-классификации для построения интегрального индекса были выбраны следующие показатели для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного режима: площадь поверхности, км²; объем, км³; максимальная глубина, м; ср. t воды в летний период, °С; продолжительность ледостава, мес.; вертикальное перемешивание, количество раз за год; коэффициент водообмена; амплитуда колебаний уровня, м; наличие сезонной стратификации, баллы; условия проточности, баллы; характер регулирования, баллы.

Показатели для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров антропогенного режима: растворенный кислород, % насыщения; БПК₅, мгО₂/л; ХПК, мгО₂/л; цветность, град.; степень закисления, pH; прозрачность, м; средняя биомасса фитопланктона за вегетационный период.

Анализ оценки устойчивости к изменению параметров режимов, выполненный на основе МСП, показал, что во все рассматриваемые периоды устойчивость оз. Выгозеро к изменению параметров естественного режима и изменению качества воды и к эвтрофированию соответствует III классу устойчивости, устойчивость «средняя». Но одно из достоинств МСП и состоит в том, что данный метод позволяет проследить динамику изменения значения сводного показателя внутри одного класса. На рисунках 1 и 2 представлены результаты оценки устойчивости водоема к изменению параметров естественного режима и к изменению качества воды на основе БИО и МСП.

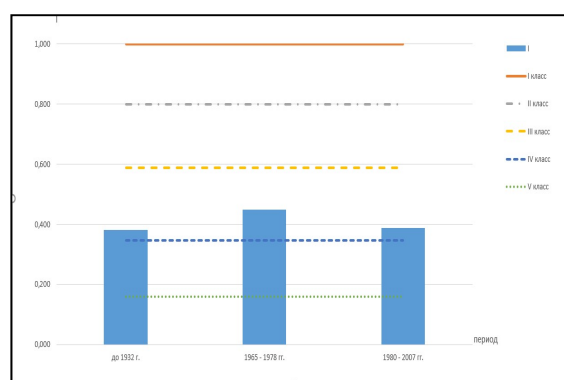
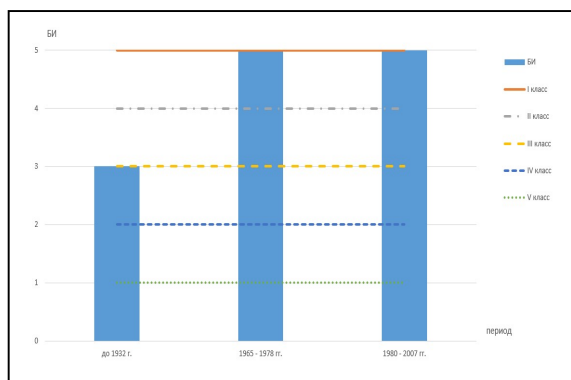


Рисунок 1 - Результаты оценки устойчивости оз. Выгозеро к изменению параметров естественного режима и к изменению качества воды на основе БИО

Рисунок 2 - Результаты оценки устойчивости оз. Выгозеро к изменению параметров естественного режима и к изменению качества воды на основе МСП

По результатам БИО можно сделать вывод, что в период до 1932 г. оз. Выгозеро соответствовало III классу устойчивости к изменению параметров естественного режима и к изменению качества воды (устойчивость «средняя»), а в периоды 1965-1978 гг. и 1980-2007 гг. соответствовало I классу устойчивости (устойчивость «максимальная»). Благодаря МСП можно проследить динамику интегрального индекса и сделать вывод, что значения сводного показателя в периоды до 1932 г. и 1980-2007 гг. находятся ближе к границе IV класса. В период 1965-1978 гг. значение сводного показателя устойчивости находится ближе к середине III класса, следовательно, в этот период водоем обладает наибольшей устойчивостью к изменению параметров естественного режима и к изменению качества воды. Эти различия обусловлены тем, что в период 1965-1978 гг. вода оз. Выгозеро была наиболее загрязнена и подвержена различным антропогенным воздействиям.

Заключение. На основе двух методик была проведена оценка устойчивости к изменению параметров естественного и антропогенного режимов оз. Выгозеро. Результаты показали, что оз. Выгозеро соответствует III классу устойчивости, то есть обладает средней устойчивостью к изменению параметров и режимов во все рассматриваемые периоды.

Балльно-индексная методика является рекогносцировочным этапом, необходимым для обоснования и выбора параметров оценивания, построения оценочных шкал, осмысления результатов оценивания, но зачастую недостаточным для объективной оценки устойчивости изучаемого водного объекта. Метод сводных показателей же позволяет на основе существующих классификаций разработать шкалы интегральной оценки свойств системы по большому перечню критериев, выбираемых самим исследователем в каждой конкретной ситуации.

Литература

1. Примак Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. географ. наук. СПб, 2009 - 24 с.
2. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. – СПб., 2004. – 294 с.
3. Дмитриев В.В. Оценка эмерджентных свойств водных объектов: трофический статус, устойчивость, экологическое благополучие/Дмитриев В.В., Пряхина Г.В., Огурцов А.Н., Примак Е.А., Амаро Медина Д.Р//Третьи виноградские чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова. 2018. С. 347-354.
4. Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе // Биосфера. 2010. Т. 2, № 3. С. 507–520.
5. Гречушникова М.Г. Научно-популярная энциклопедия «Вода России» – Выгозеро озеро [Электронный ресурс] / М.Г. Гречушникова. – Электрон. текстовые дан. – Москва. – Режим доступа: http://water-ef.ru/Водные_объекты/Выгозеро, свободный.

НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ВОДНО-ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.В. Орлова, В.Н. Кузнецов

ФГБУ «ГТИ», Санкт-Петербург, Россия

GROUND - BASED AND REMOTE METHODS FOR ASSESSING THE DEVELOPMENT OF WATER-EROSION PROCESSES AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC IMPACT

E.V. Orlova, V.N. Kuznetsov

State Hydrological Institute (SHI), St. Petersburg, Russia

В данной работе представлены методы оценки развития водно-эрозионных процессов в результате антропогенного воздействия путем использования спутникового оборудования и космических снимков исследуемой территории.

This paper presents methods for assessing the development of water-erosion processes as a result of anthropogenic impact through the use of satellite equipment and satellite images of the study area.

1. Предисловие

Водная эрозия на склонах проявляется в виде ручейкового смыва и овражного размыва в период снеготаяния и летне-осенних дождей. Формирование стока воды и врез ручейковой и овражной сети в почвы и грунты представляет собой единый процесс, включающий снеготаяние или выпадение дождя, впитывание воды в почву, стекание воды по склону и ее взаимодействие с почвой.

Интенсивность развития эрозии зависит от многих факторов, главными из которых являются: наличие антропогенных нарушений почвенного и растительного покрова, рельеф склонов, тип почв, интенсивность поступления воды на водосбор.

2. Мониторинг эрозионных процессов

Для обеспечения безопасности объектов инфраструктуры при прокладке и обслуживании трубопроводов необходимо систематически исследовать овраги и промоины, контролировать и учитывать изменения их параметров.

Предварительное исследование участка склона реки Пур в средней части его водосбора было осуществлено с помощью дешифрирования семи космических снимков высокого разрешения, произведенных со спутника Quick Bird. Ширина полосы покрытия снимками составила 3 км, а площадь покрытия – 565 км².

Работа со спутниковыми снимками производилась в программе ArcGis. Дешифрирование снимков выполнялось в первую очередь для обнаружения оврагов и промоин. Фрагмент спутникового снимка с примером дешифрирования оврага показан на рисунке 1.

По снимкам было определено местоположение эрозионных образований по отношению к дорогам и сооружениям, найдены их географические координаты (широты и долготы) в системе – WGS-84, сделаны приближенные измерения их длин и определена степень опасности для инженерных сооружений каждого из них. Общее количество выявленных опасных и потенциально опасных оврагов и промоин составило 276 единиц, а их общая длина - 34 686 м.

В дальнейшем результаты предварительного обследования района изысканий по спутниковым снимкам были использованы для нахождения опасных оврагов на местности перед выполнением точных топогеодезических съемок эрозионных образований с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Съемка выполнялась согласно Инструкции [1].



Рис. 1. Изображение оврага в районе строительства трубопровода на спутниковом снимке Quick Bird, 2007 г.

Сущность спутниковой технологии развития съёмочного обоснования и съёмки ситуации и рельефа состоит в использовании глобальной навигационной спутниковой системы и программного обеспечения для вычислительной обработки с целью получения координат и высот точек местности (пунктов съёмочного обоснования и съёмочных пикетов).

Для реализации относительных спутниковых определений используют два или более приёмников, один из которых является базовой станцией, а другие – подвижными.

Различают следующие методы относительных спутниковых определений:

- статический, при котором наблюдения на точке выполняют одним приёмом продолжительностью не менее 1 часа;
- быстрый статический, при котором наблюдения на точке выполняют одним приёмом продолжительностью 5 – 20 минут;
- кинематический, при котором подвижная станция находится в режиме непрерывной работы. Его разновидностями являются способ «стой-иди» и способ непрерывной кинематики.

Работы по развитию съёмочного обоснования и съёмке овражной сети выполнялись с применением глобальной навигационной спутниковой системы GPS (рисунок 2).

Съёмочное обоснование развивалось от пунктов государственной геодезической сети. Предельные погрешности положения пунктов планового съёмочного обоснования, относительно пунктов государственной геодезической сети не превышали допустимых величин.

Работы с использованием космической геодезии выполнялись: в режиме «статика» - для развития сети пунктов рабочего обоснования, в режиме «стой-иди» – для выполнения съёмок оврагов. Точность в статическом режиме составила в плане 0.005 м, по высоте 0.010 м. Точность в режиме «стой-иди» составила в плане 0.012 м, по высоте 0.015 м.



Рис. 2. Наземная топогеодезическая съемка оврага с применением спутникового оборудования

3. Картографирование оврагов и определение их размеров

По окончании полевых работ была выполнена обработка данных наблюдений спутников, которая производится по следующим этапам:

- 1) предварительная обработка –получение координат определяемых точек в системе координат ГНСС и оценка их точности;
- 2) трансформация координат в принятую систему координат;
- 3) уравнивание геодезических построений и оценка точности;
- 4) составление карт (планов) оврагов.

Все точки вместе со своими атрибутами, определенные в результате измерений эрозионных образований, были последовательно соединены линиями в соответствии с их порядковыми номерами. Таким образом были получены планы оврагов.

Используя эти планы, для каждого оврага были определены его размеры, а также построены продольные и поперечные профили. Общее количество оврагов, на которых были проведены инструментальные измерения – 119. В результате камеральной обработки было построено 126 продольных и 500 поперечных профилей оврагов.

Обработка данных полевых измерений заключалась в вычислении морфометрических характеристик оврагов: длины, ширины, глубины, объема, площадей водосборов, уклонов и других характеристик, необходимых для выполнения гидрологических расчетов, согласно [2]. Морфометрические характеристики отдельных оврагов приведены в таблице 1.

Мониторинг оврагов с использованием ГНСС оборудования и космических снимков продолжался в течение двух лет, что позволило отследить динамику роста эрозионных образований в результате антропогенного воздействия на исследуемой территории. За это время большая часть оврагов увеличилась в размерах (до 30% их объема), появились новые овраги и промоины.

Полученные материалы были использованы для определения объема грунта для засыпки

опасных оврагов, а также подготовки необходимых выводов и рекомендаций для обслуживающих инженерные сооружения организаций.

Таблица 1. Морфометрические характеристики оврагов (фрагмент)

Местоположение оврага по трассе газопровода	Площадь оврага между бровками, м ²	Максимальная глубина вреза, м	Длина линии стока, м	Площадь водосбора, м ²	Объем, м ³	Длина, м	Уклон, ‰
19 км	1021	2,9	1330	443000	583	179	57
38 км	722	1,03	1059	280000	246	219	85
81 км	588	1,6	512	65408	371	186	64
92 км	421	1,7	309	23870	93	57	159
128 км	1485	2,4	793	157212	1198	227	41

4. Выводы

Применение космических снимков и наземных методов с использованием ГНСС оборудования повысили точность и оперативность выполнения исследований развития водной эрозии.

В результате анализа полученных материалов было обнаружено техногенное влияние на формирование путей стока воды со склонов и нарушение растительного покрова, которое в условиях наличия достаточного количества влаги привело к интенсивному развитию оврагов и промоин. За несколько лет строительства и эксплуатации газопровода вдоль него образовались овраги с максимальной глубиной вреза до 3 м. Для снижения интенсивности образования овражно-балочной сети необходимо проведение противоэрозионных мероприятий.

Литература

1. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС И GPS ГКИНП (ОНТА)-02-262-02, М., 2002.
2. СТО ГГИ 52.08.40-2017 Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам /Отв. исп. Е.В. Орлова, Н.Н. Бобровицкая. Санкт-Петербург: ООО «РПЦ Офорт», 2017.

МЕТОДЫ РАСЧЁТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНИЦ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИПАЯ

Павлова Е.А.^{1,2}, Май Р.И.², Миронов Е.У.¹, Хотченков С.В.¹, Таровик О.В.²

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Санкт-Петербург, Россия
ФГУП «Крыловский государственный научный центр» 2, Санкт-Петербург, Россия

METHODS OF CALCULATING THE STATISTICAL PARAMETERS OF FAST ICE EDGE DISTRIBUTION

Pavlova E.A.^{1,2}, May R.I.², Mironov E.U.¹, Hotchenkov S.V.¹, Tarovik O.V.²

Arctic and Antarctic Research Institute, Russia
The Krylov State Research Centre, Russia

Приведено сравнение различных методов оценки величины припая: оценка по створам, по сеточной области и расчёты по векторным данным для припая Карского моря. Для расчётов использована база данных за последние 20 лет в формате SIGRID-3.

Comparison of different methods for estimating fast ice: assessment by cuts, by grid area and calculations by vector data for fast ice of the Kara Sea. For calculations, a database for the last 20 years in the SIGRID-3 format was used.

Припай арктических морей является постоянной составляющей ландшафта морей Арктики в холодное время года. Статистические характеристики положения припайного льда в арктических морях являются важным элементом ледового режима для оценки климатических изменений и планирования морских строительных и нефтегазодобывающих работ и навигационных операций на трассе Северного морского пути [1].

С 1938 года накоплена база физико-географических особенностей режимных характеристик припая на основе авиационных, спутниковых наблюдений и данных полярных станций.

Основным методом определения границы распространения припайного льда является метод определения ширины припайного льда по створам. Данный подход универсален для данных, полученных из различных источников и позволяет проследить климатические изменения в едином многолетнем ряду наблюдений. Однако, современные методы дистанционного зондирования Земли из космоса дают возможность получить характеристики положения припайного льда в векторном формате, что может в большей степени соответствовать современным требованиям.

Существует ещё один метод расчёта статистических характеристик границ распространения припая, применяемый в большей степени в прогностических численных моделях, и для оценки площади, занимаемой припайным льдом — расчёт характеристик по сеточной области.

Целью настоящей работы было сравнить различные методы расчёта статистических характеристик границ распространения припая и оценить возможность сопоставления характеристик, полученных векторным методом с многолетним рядом наблюдений, а также оценка точности определения площадных характеристик припая по сеточной области [3].

Для поставленных задач был исследован припай в юго-западной части Карского моря. Карское море является одним из наиболее изученных вследствие большого количества авиационных разведок и экспедиционных работ. Кроме того, гидрометеорологические станции на побережье Карского моря имеют длинные непрерывные ряды. Это объясняет наш интерес к оценке возможности сопоставления данных физико-географических характеристик припайного льда, полученных различными методами.

В юго-западной части Карского моря процесс становления припая происходит в период со второй декады октября по вторую декаду ноября, начиная с Енисейского залива, и постепенно распространяется на запад, до северной оконечности острова Вайгач и длится порядка восьми месяцев. Взлом припая начинается в начале июня с западной части побережья и продолжается в среднем около двух месяцев до полного разрушения [1, 2].

Для того чтобы оценить максимальный разброс результатов, полученных различными методами, обработка и сравнение данных была проведена для периода максимального распространения припая — третья декада мая.

В качестве базы исходных данных были использованы еженедельные электронные карты ААНИИ о состоянии ледяного покрова в международном формате SIGRID-3, который содержит в себе координаты границ и характеристики однородных ледовых зон, в том числе о зонах припайного льда.

При анализе данных были рассчитаны следующие статистические характеристики: среднее многолетнее положение границы припайного льда, её максимальное и минимальное положение, среднеквадратическое отклонение — для векторного метода и метода определения характеристик по створам, а также поле вероятности наличия припая — для сеточного метода.

Ниже, на рисунке 1 показано среднее положение границы припайного льда и среднеквадратическое отклонение, рассчитанное по створам. Ввиду особенностей исходной информации линии носят ломаный характер.

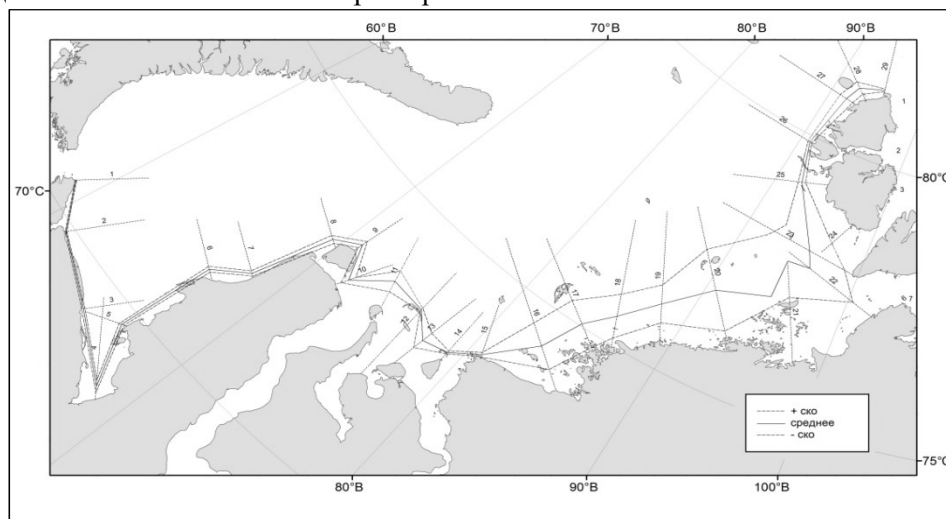


Рис. 1. Статистические характеристики положения припайного льда, рассчитанные по створам

Статистические характеристики распространения припайного льда рассчитаны также векторным методом. Векторный формат хранения ледовой информации SIGRID-3 открывает новые возможности анализа положения кромок припая. В этом случае, границу неподвижного льда можно рассматривать в виде дискретной или непрерывной функции, зависящей от пространственных координат. К таким функциональным данным можно применить методы статистического анализа, которые позволят оценить максимум, минимум, среднее, дисперсию, квантили, моду, плотность вероятностей и пр.. Все эти параметры также будут представлять собой векторные данные, которые можно отобразить на карте в виде линии, полигона или изолиний.

Если рассматривать припай как полигональный объект, то максимальная граница припая Q_{max} может быть определена как результат объединения полигонов Q_t всех ледовых зон припая за все сроки t : $Q_{max} = \bigcup_{t=1}^T Q_t$. Границы области Q_{Δ} внутри, которой будут находиться все кромки припая за рассматриваемый отрезок времени можно получить, объединив все результаты пересечения полигонов максимального припая Q_{max} и припая на конкретную дату Q_t : $Q_{\Delta} = \bigcup_{t=1}^T (Q_{max} \cap Q_t)$. Полигон Q_{Δ} можно рассматривать в качестве области изменчивости припая. И наконец, граница минимального припая Q_{min} будет представлять собой разность Q_{max} и Q_{Δ} : $Q_{min} = Q_{max} \setminus Q_{\Delta}$.

Для нахождения положения средней кромки припая можно использовать два подхода. Первый подход аналогичен нахождению ширины припая вдоль створов. Отличие заключается лишь в том, что количество створов, ортогональных береговой линии, будет бесконечным при описании береговой линии в виде непрерывной аналитической функции, и при дискретном представлении береговой линии, количество створов будет равно $N-1$, где N - количество вершин в полигоне береговой линии. Второй подход основан на методе осреднения координат наиболее близко расположенных вершин полигонов припая.

Оценку изменчивости положения кромки припая можно выполнить в виде среднеквадратического отклонения расстояний кромок припая от средней кромки припая. Эти

расстояния можно определять либо вдоль створов, направленных ортогонально либо береговой линии, либо средней границы кромки припая. Кроме того, изменчивость положения кромки припая можно оценить с помощью анализа координат наиболее близко расположенных вершин полигонов припая методом главных компонент. В этом случае дисперсия вдоль главной компоненты будет представлять собой изменчивость положения кромки припая.

При сопоставлении характеристик границ распространения припая, полученных различными методами, были выявлены различия. На рисунке 2 представлены максимальная граница распространения припая в период его максимального развития (3 декада мая) с 1998 по 2019 гг. в юго-западной части Карского моря, полученная векторным методом и рассчитанная по створам. На рисунке показано также максимальное расхождение полученных границ.

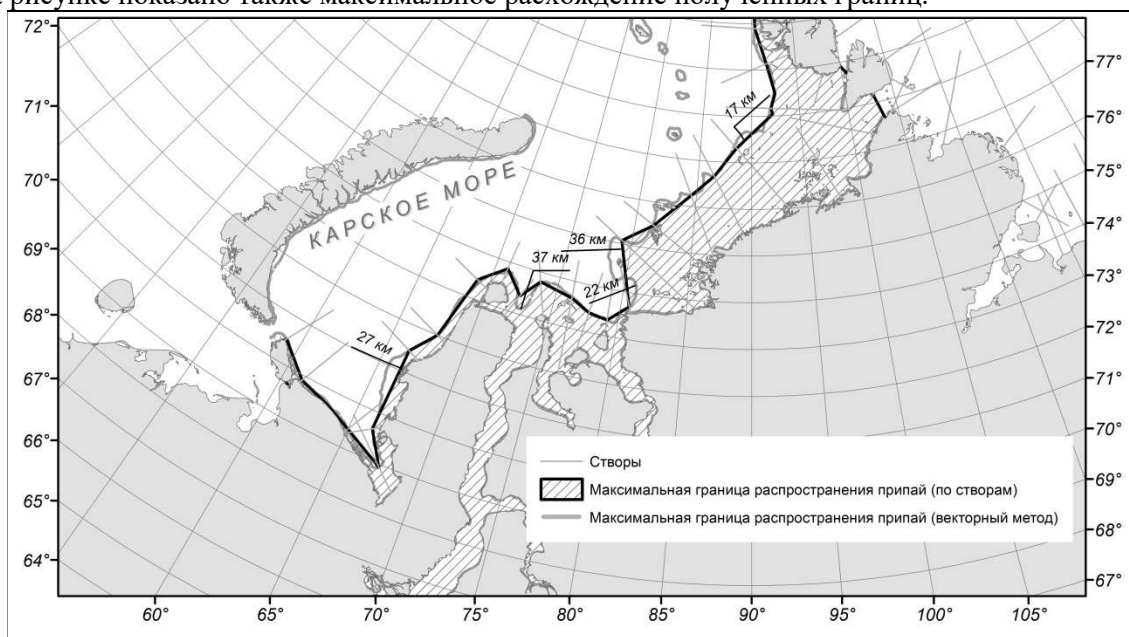


Рис. 2. Максимальная граница распространения припая в период его максимального развития (3 декада мая) с 1998 по 2019 гг. в юго-западной части Карского моря

На рисунке 3 показана область среднего распространения припая по створам и средняя площадь припая, рассчитанная методом сеточных областей. В данной работе использован шаг сетки 25x25 км, так как подобная сетка используется для определения площадных характеристик припая численными методами [3]. В каждой ячейке сетки была рассчитана средняя площадь припая в период его максимального развития (3 декада мая) с 1998 по 2019 гг., которая фактически отражает количество лет, когда в данной ячейке был припайный лёд.

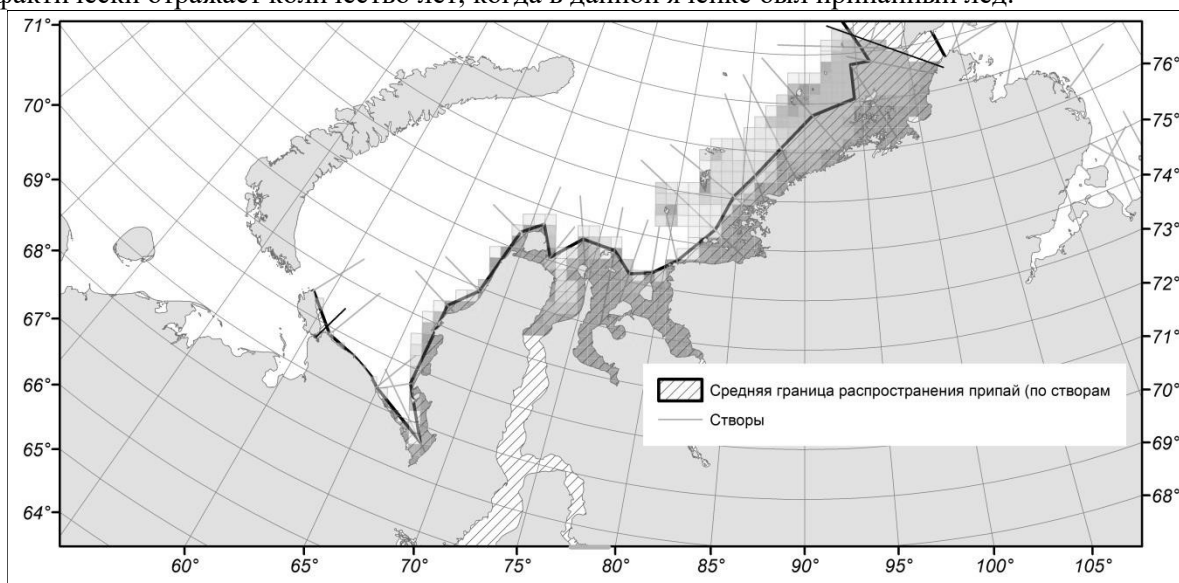


Рис. 3. Положение средней линии распространения припайного льда, рассчитанные по створам и средняя площадь припая в сеточной области

Ниже, в таблице 1 представлены результаты расчётов площади припая от средней границы его распространения по створам и средняя площадь припая, рассчитанная по сеточной области.

Таблица 1. Площадь припайного льда побережья Карского моря, % от площади юго-западной части Карского моря

Район побережья	Метод расчёта по створам, %	Метод расчёта по сеточной области, %
От о. Вайгач до о. Белый	5,1	8
От о. Белый до пр. Вилькицкого	33,4	38
Юго-западной части Карского моря	38,5	46

В итоге проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

— данные статистических характеристик границ распространения припайного льда в Карском море рассчитанные по створам и векторным методом могут быть сопоставлены, максимальная ошибка, вызванная сглаживанием линии при расчёте по створам составила порядка 30–40 км,

— при определении средних площадных характеристик припайного льда в Карском море разница в результатах, полученных методом сеточных областей и по створам составила порядка 5% на участке, где припай хорошо развит, а на участке, где припай формируется узкой полосой, разница составила порядка 3%.

Литература

1. Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи арктических морей Сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. СПб.–ААНИИ. – 2012, 180 с.
2. Гордиенко П.А. Припайные льды арктических морей. Труды ААНИИ. 1971.
3. Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Численная модель эволюции ледяного покрова арктических морей для оперативного прогнозирования. Лёд и Снег. 2015;55(3):83-96.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №177920162) "Разработка технологии тактического и оперативного планирования и управления работой ледоколов и судов ледового плавания в условиях круглогодичной навигации по трассам Северного морского пути"

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАТРУДНЕНИЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД В БОЛОТА

Панов В.В., Женихов Ю.Н.

Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

METHODOLOGICAL AND METHODICAL DIFFICULTIES IN THE SOLUTION OF THE PROBLEM SUPPLY SEWAGE WATER IN THE MIRES

Panov V.V., Zhenikhov Yu.N.

Tver State Technical University, Tver, Russia

Основными причинами, вызывающими затруднения в решении проблемы сброса сточных вод в болота, являются: 1) инструктивно-методическая документация по нормированию качества поверхностных вод неприемлема к болотам; 2) не регламентирован порядок расчета фоновых концентраций химических веществ для болотных вод; 3) отсутствует регламент учета и инвентаризация загрязненных сбросами болот как водных объектов.

The main reasons causing difficulties in solving the problem of wastewater discharges into mires: 1) guidance and methodological documentation on the regulation of surface water quality is unacceptable to mires; 2) the procedure for calculating background concentrations of chemicals for mire waters is not regulated; 3) there is no regulation on accounting and inventory of mires contaminated by discharges.

По ВК РФ 2006 г. болото считается поверхностным водным объектом наряду с водотоками и водоемами. Береговая линия водного объекта определяется для болот на площади не менее 30х30 м по границе залежи торфа среднегодовой мощностью 0,3 м, включая очес. В естественном болоте содержание влаги составляет от 86 до 96%. В гидрологическом отношении вода болот – это гравитационная и капиллярная (свободная) вода, распространение которой определяются фильтрационными характеристиками верхнего слоя болот (0,1-0,7 м). Значение этих вод – устойчивость торфонакопления в болотах, регулирующего их влагозапас.

Базовая противоречие состоит в том, что в нормативных документах неопределённая нижняя граница болота как водного объекта. Традиционно в гидрологии понятие стока применимо к верхнему слою болота, а торфяные отложения – это формально донные отложения, но режим стока – это результат наличия закономерного торфонакопления. Болото как водоем на поверхности торфяных отложений можно рассматривать ограниченно как крайнее допущение в исключительных случаях.

Согласно п.1 ч.6 ст.60 ВК РФ при эксплуатации водохозяйственной системы запрещается: осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию (исходя из недопустимости превышения нормативов допустимого воздействия на водные объекты и нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах), а также сточных вод, не соответствующих требованиям технических регламентов.

Однако болота как целое являются естественными геохимическими барьерами, которые способны аккумулировать в торфяной залежи значительные объемы мигрирующего вещества. В крайних случаях – это заиливание в половодье и перекрытие болот делювиальными минеральными наносами, вызывающие временное замедление процесса торфонакопления. Этой особенностью болот часто пользуются на практике, отводя им роль дополнительной ступени доочистки при сбросе сточных вод. Многократно показано, что вещество сточных вод по мере их движения в болоте претерпевает разбавляется болотными водами, сорбируется и

окисляется, аккумулируется при седиментации и смене биохимических барьеров и поглощается болотным биоценозом.

Наличие сброса в болота – это реальность, особенно в условиях освоения вахтовыми поселками Среднего Приобья, но так как нет нормативов в подавляющем числе случаев подобные «очистные» сооружения скрывают. В средней полосе Европейской части России резко увеличивается нерегламентированный скрываемый сброс. Установить его трудно из-за нерегулярности и неопределенности источника сброса. В целом редкое болото вблизи крупных населенных пунктов не имеет сброса сточных вод. В Свердловской и Томской областях, использование болот в качестве водоприемника недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод получило широкое распространение. Департаментом природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской предусматривается внедрение метода почвенно-болотной очистки сточных вод населенным пунктам в следующей очередности: г. Колпашево очистка 660 тыс. м³; п. Белый Яр очистка 100 тыс. м³; с. Кожевниково очистка 63 тыс. м³; п. Каргасок очистка 50 тыс. м³; с. Корнилово очистка 20 тыс. м³; с. Молчаново очистка 60 тыс. м³; всего: 953 тыс. м³.

Болотный участок рассматривается как природный буфер, дополнительный блок доочистки, гаситель залповых аварийных сбросов сточных вод. В подавляющем большинстве случаев сброс в болото организовывался стихийно из-за удаленности водотоков и имевшихся послаблений в требованиях к нормированию сбросов сточных вод на болота. Принципы нормирования сброса сточных вод на болота до сих пор в федеральном природоохранном законодательстве четко не обозначены, что обуславливает вольную трактовку подходов к данному вопросу. Основная проблема – это не применимая к болотам нормативно-правовая база и инструктивно-методическая документация по нормированию качества поверхностных вод.

Затруднение 1 – нормирование качества поверхностных вод основано на установлении нормативов допустимого воздействия на водные объекты (НДВ) и нормативов допустимого сброса (НДС). Разработка и установление НДВ осуществляются в соответствии с Методическими указаниями по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты (утв. приказом МПР РФ от 12 декабря 2007 г. N 328).

Затруднением в представленной задаче является методологическое противоречие между *формальным* принятием профильными ведомствами болота в качестве водного объекта и разработкой нормативной документации, «жестко» распространяемой на все водные объекты. Например, в методических указаниях по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты указывается, что необходимо обеспечить устойчивое функционирование естественных или сложившихся экосистем, подразумевая что функционирование нам известно. И далее: «Основной расчетной территориальной единицей при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты принимается водохозяйственный участок», т. е. часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и другие параметры использования водного объекта. Таким образом, болота – это часть речного бассейна, а оценить их можно через процент занимаемой ими площади. Это положение мало отражает природу болот.

В тоже время, нормативы допустимого воздействия на водный объект разрабатываются для следующих видов воздействий: «8) изменение водного режима при использовании водных объектов для разведки и добычи полезных ископаемых». Но при этом экспертами устанавливается, что при сбросе отработанных вод в болото необходимо строго сохранять естественную экосистему болота. Разве это не раздвоение принципов, допуская нарушение водного объекта, считать болото в период его осушения неводным объектом. При том, что болото теряет с осушением в среднем несколько процентов влаги. Важно отметить, что в практике водохозяйственными учреждениями чаще выдаются разрешения на сброс сточных вод в осушенные торфяники.

Это относится и к несовершенству классификации водных объектов. Например, следующее положение рекомендаций: «10. Нормативы качества воды для поверхностных водных объектов устанавливаются исходя из отнесения водных объектов к определенным группам объектов...»

которые в результате человеческой деятельности подверглись ... существенному изменению ..., (а также,) 3) условий целевого использования водных объектов и их приоритетности при комплексном использовании в соответствии с пунктом 5». В этом случае болото должно быть выделено в отдельную группу.

Вместе с тем, для болот установление НДС по принципу водохозяйственного участка и его протяженности по аналогии с рекой не корректно. За голоценовый период на болоте происходили смены растительности при изменении водно-минерального питания в каждой отдельной части болота, отраженные в сложном строении торфяной залежи. На одном болоте выделяются участки разного типа и с разным гидрологическим режимом. Обычно сброс сточных вод осуществляется одним водопользователем в отдельный участок. Если сброс производят несколько водопользователей, то смешивания сточных вод отдельных участков относительно крупного болота, как правило, не происходит.

Затруднение 2. В действующих законодательных актах по природопользованию не установлен порядок нормирования сброса сточных вод на болото. Приказом МПР России от 17.12.2007 г. № 333 утверждена Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Эта методика основана на сравнении концентраций веществ 1) предельно допустимых (ПДК) 2) фоновых концентраций веществ в водотоках и водоемах (C_{ϕ}), концентраций в сточных водах, сбрасываемых в водотоки и водоемы ($C_{ст}$).

Следовательно, надо решить какие нормативы качества воды водного объекта применяются в отношении болота? Как располагаются контрольный и фоновый створы? Как устанавливается фоновая концентрация? В действующей методике ответов на эти вопросы нет.

Болота, как водные объекты, используются для отдыха населения, сбора дикоросов, спорта, купания – а это коммунально-бытовое (рекреационное) водопользование. Внутриболотная сеть (ручьи, реки, озера) является объектом рыбохозяйственного водопользования.

Федеральным государственным бюджетным учреждением «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ») разработан РД 52.24.622-2017, подразделяющий болота по степени гидравлической связи с близлежащим водным объектом на 4 варианта: вариант 1: преимущественно прямая; вариант 2: смешанная (часть года прямую, другая часть – гидравлическая (диффузная)); вариант 3: преимущественно только косвенная – диффузная; вариант 4: практически гидравлическая связь отсутствует.

При установлении норм НДС специфику проточных болот варианта 1, как водного объекта, предлагается учитывать на основе эмпирических показателей самоочищающей способности. Метод определения допустимых к сбросу концентраций в болото представлен в научных трудах специалистов института ГП РосНИИВХ [1-3]. Метод основан на зависимости коэффициента самоочищения (K_c) от разности концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, их фонового содержания в болотных водах $K_c = f(C_{ст} - C_{фон})$ и от длины транзитного потока $K_c = f(L)$. Самоочищающая способность болота оценивается по коэффициенту самоочищения или иначе трансформации (K_c) отдельных загрязняющих веществ. Коэффициент самоочищения отдельных загрязняющих веществ определяется как отношение начальной концентрации ингредиента на входе в болото (сброс сточных вод) к концентрации на выходе или в промежуточной точке без рассмотрения внутриболотных процессов. Причем автоматически переносить величину K_c с исследованного объекта на неизученный некорректно.

Методика расчета НДС в болота, учитывающая самоочищающую способность болот, не применима для болот 2, 3 и 4 вариантов.

Затруднение 3 – установление фоновых показателей болотных вод. Нормативы качества воды могут приниматься равными нормативам предельно допустимых концентраций химических веществ, которые определяются с учетом регионального естественного гидрохимического фона. Учитывая типологическое и возрастное разнообразие болот, а в особенности их разнородных участков, а также качество естественных болотных вод, не

соответствующее установленным для других водных объектов нормативов, это задача для болот сформулирована не корректно.

Особенно странно применительно к болотам выглядит пункт Методики разработки НДС о том, что в пределах водохозяйственного участка нормируются виды воздействий. То есть если болото разнотипное, то воздействие на него должно быть дифференцировано, а в предложенной редакции текста, нормируется воздействие на некоторый усредненный тип болот. В такой трактовке речь может идти о некоей экосистеме системы болот (что по объему больше понятия «болотная система»), что выглядит как новый таксон в классификации болот. Совершенно очевидно, что при написании методики болота как водные объекты не рассматривались в принципе. В тоже время обойти эти указания при решении проблемы нормирования сброса в болото сточных вод в настоящее время невозможно.

По РД 52.24.622-2017 «Порядок проведения расчета условных фоновых концентрация химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод» лишь для болот варианта 1 при наличии проточности болота и прямой связи с водным объектом на участке «место сброса – место разгрузки загрязненных вод болота в водный объект» подход к установлению фона не отличается от такового для обычного водного объекта.

Вопрос о выборе фонового створа, фоновых вертикалей на болотах для представительного отбора проб воды и донных отложений с последующим определением и соответствующим использованием рассчитанных условных фоновых концентраций химических веществ в соответствии с поставленной задачей остается открытым.

Затруднение 4. Понятие изъятия воды мало применимо к болотам, оно возможно из внутриболотных озер, что вновь устанавливает допущение о водном объекте в другом водном объекте. Нормативный документ, отражающий данное положение – это расчет нормативов допустимого воздействия по изъятию водных ресурсов. Например, нормативы в нем устанавливаются в виде постоянных величин, которые не должны приводить к изменениям характеристик водного объекта, значительно выходящим за пределы естественных сезонных многолетних колебаний. Можно с большим трудом представить себе, что 20 процентов заболоченной площади определенного водохозяйственного участка имеют один общий предел колебаний, связанный с разнотипностью болот одной территории.

Затруднение 5. Теоретические предположения о характере нарушения болота практически не совпадают с фактами его реального изменения. Нарушенные естественные болота рассматриваются как разные объекты, но нарушение болотной экосистемы сопоставимо с аналогичными естественными изменениями. Нарушенные болота в сравнении с естественными в значительной степени помогают понять процессы их развития. Способность болот к самовосстановлению раскрывают механизмы их устойчивости.

Нельзя согласиться с мнением, что для России, где нерегламентированный сброс сточных вод на (в) болото с советских времен широко распространен, нет острой необходимости использования болот для приема сточных вод. Поэтому прежде необходимо привести хотя бы уже существующие сбросы к регламентированной практике, начиная с инвентаризации мест сброса.

Предлагается прежде разработать систему по введению болот в Государственный реестр в качестве водных объектов. В этом случае было бы целесообразно передать установление категории болот, в том числе как водных объектов, на усмотрение регионов. В каждом регионе должен быть своя система целевых торфяных фондов (охраняемый, водный, мелиоративный, промышленный и др.) в соответствии с реальными условиями. Эта работа была остановлена в конце 80-хх гг. XX века.

В целом большая часть обсуждения проблемы сброса сточных вод в болото необоснованно увлекается теоретическими представлениями о функционировании болот, забывая технологию сброса сточных вод в болото, которая является ключевой в решении этой проблемы, а именно как сбрасывать, чем сбрасывать и во что сбрасывать. Нельзя использовать понятие «сброс

сточных вод в болото» как некоторое среднее. Сброс должен осуществляться в конкретный специально подготовленный или выбранный участок болота, специально обследованный для сохранения болотной экосистемы.

Литература

1. Носаль, А.П. Оценка самоочищающей способности болот и ее использование при нормировании [Текст]: научное издание / А. П. Носаль // Вод. х-во России. - 2002. - Т. 4, № 4. - С. 308-323
2. Методические рекомендации по учету трансформации качества сбрасываемых сточных вод на болотном участке [Текст]: научное издание / А. Н. Попов, А. П. Носаль, Т. В. Логинова // ЭКВАТЭК-2000: 4-й Междунар. конгр. "Вода: экол. и технол.", Москва, 30 мая - 2 июня, 2000. - М., 2000. - С. 566-567
3. [Носаль, А. П.](#) Оценка самоочищающей способности болот и ее использование при нормировании сброса загрязняющих веществ [Текст]: научное издание / А. П. Носаль // Геогр. и природ. ресурсы. - 2003. - № 2. - С. 123-128.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТНОГО ПОЛЯ ПОТОКА В ТЕЧЕНИЕ ПРИЛИВНОГО ЦИКЛА В УСТЬЯХ КРУПНЫХ РЕК БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ

Е.Д.Панченко¹, М.Льюменс, С.В.Лебедева

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

VARIABILITY OF THE FLOW VELOCITY FIELDS DURING A TIDAL CYCLE IN THE LARGE ESTUARIES OF THE WHITE SEA BASIN

E.D.Panchenko¹, M.Leummens, S.V.Lebedeva

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Детальная информация о скоростях течения часто необходима для организации различной хозяйственной деятельности. Проводится анализ скоростных полей течений в рукаве дельты Северной Двины Кузнечихе и эстуарии Мезени, измеренных с помощью ADCP в августе 2018 г.

Detailed information about flow velocities is often required for organizing of various economic activities in river estuaries. In the current paper flow velocity distribution was analyzed from the ADCP measurements, conducted in the Kuznechiha channel (the Northern Dvina river delta) and in the Mezen' river estuary in August 2018.

В морских устьях рек, подверженных влиянию приливов и ветровых нагонов, динамика потоков наиболее сложна. Скорости течения непрерывно изменяются во времени и пространстве. Использование акустик-доплеровских профилографов в полевых работах позволяет получить обширную информацию о структуре течений и их изменчивости, и как следствие, настраивать всё более сложные гидродинамические модели реальных объектов [1]. Детальная информация о распределении скоростей течений в условиях сильной нестационарности также расширяет возможности изучения фундаментальных вопросов гидродинамики [2], например, связанных с турбулентными пульсациями.

Объекты и методика исследования

В работе представлены комплексные наблюдения за уровнем и расходом воды в течение полного приливного цикла, которые были проведены в августе 2018 года в устьях рек Северной Двины и Мезени.

На примере результатов наблюдений в створе протоки Кузнечихи в дельте Северной Двины (26,3 км от морского края дельты) и в створе эстуария реки Мезени у д. Морозилка (31 км от устьевого створа) проанализирована временная и пространственная изменчивость скоростей течения в таких разных по условиям приливов, речного стока и морфологии устьях крупных рек.

Эстуарий Мезени является макроприливным. Величина прилива в устьевом створе 6 – 8 м. При движении вверх по эстуарию приливная волна взаимодействует с речным стоком и руслом и трансформируется, при этом за первые несколько километров высота волны увеличивается, достигая максимума в районе впадения малой реки Сёмжи (6 км выше устьевого створа Мезени). Дальше по эстуарию приливная волна постепенно затухает, но небольшие приливные колебания уровня воды (около 5 – 10 см) прослеживаются даже на расстоянии 90 км от устьевого створа.

Дельта Северной Двины микроприливная. На морском крае дельты величина прилива составляет 0,5 – 1,5 м, однако дальность распространения приливного колебания уровня воды достигает 135 км от морского края дельты.

Длина участка с обратными течениями (во время прилива) на Северной Двине достигает 90 км, на Мезени – 60 – 70 км.

Экспедиционные работы проходили в период летней межени 1 августа в протоке Кузнечихе и 11 августа на Мезени. В обоих случаях наблюдения проводились по единой методике в течение полного приливного цикла (не менее 12,5 часов). Уровни воды в створах фиксировались с помощью автоматического самописца давления (логгера) фирмы Keller (с частотой до 5 минут)

и затем привязывались к Балтийской системе высот в рамках комплекса топографо-геодезических работ.

Расходы воды измерялись акустическим доплеровским профилографом RiverRay производства компании Teledyne из лодки, перемещающейся от одного берега к другому, каждые 15 – 30 минут. Помимо расходов воды, результатом измерений профилографа являются мгновенные скорости течения по поперечному сечению потока в ячейках, размеры которых варьируют в пределах 0,5 – 1 м. Для проведения анализа структуры потока эти мгновенные скорости были осреднены по секциям, состоящим из нескольких десятков ячеек по вертикали и по горизонтали, векторы скоростей спроецированы на прямую линию, соответствующую осредненному направлению течения в отлив.

Анализ результатов наблюдений. Мезень

Величина прилива 11 августа в исследуемом створе Мезени составила 5 м, продолжительность приливного цикла (между временем измерения уровней малой воды) была равна 12 часов 48 минут. Приливная волна асимметрична: время роста в 3,7 раз меньше времени падения (2 часа 44 минуты и 10 часов 4 минуты соответственно) (рис. 1).

В течение наблюдаемого приливного цикла ширина створа изменялась от 850 м до 1400 м, максимальная глубина – от 4 до 9 м. Поперечное сечение разделено на две неравные части отмелью (рис.2), не обсыхавшей на отливе. Измеренные расходы воды изменялись от -11830 м³/с на приливе, т.е. в направлении из моря в реку, до 6315 м³/с на отливе, то есть в направлении из реки в море.

Наблюдения начались в отлив, расход воды составлял 1250 м³/с, средняя скорость течения 0,6 м/с (рис.1).

Разворот течений на обратные начался в стометровой зоне у правого берега. Через 15 минут после начала роста уровня воды разворот произошел уже во всем поперечном сечении.

Максимальный приливный расход воды (-11830 м³/с) со средней скоростью течения -1,52 м/с был измерен через 1 час 52 минут после малой воды (за 50 минут до наступления полной воды). В этот момент скорости течения распределены по ширине потока относительно равномерно, однако локально в отдельных зонах скорости течения достигали значений -2,1 м/с (рис.2).

За полтора часа до полной воды обратные скорости течения у берегов превышали -2 м/с, достигая в отдельных точках -2,22 м/с (на расстоянии 150 – 320 м и 1200 – 1300 м от левого берега), а в центральной части потока составляли -1,1 – -1,2 м/с. Минимальные скорости в поперечном сечении в этот момент фиксировались на участке правого борта русла с глубинами от 6 до 3 м. Над отмелью с минимальными глубинами наблюдается локальное увеличение скоростей течения как на приливе, так и на отливе.

Замедление обратных скоростей течения после наступления полной воды началось с правой части поперечного сечения. Полная смена направления течения во всем поперечном сечении произошла через 30 – 40 минут после полной воды. Максимальный отливный расход воды (6320 м³/с) со средней скоростью течения 0,98 м/с был измерен через 1 час 38 минут после полной воды. При этом в большей части поперечного сечения скорости течения в этот момент достигали 1,4 – 1,5 м/с. Над отмелью (950 – 1150 м от левого берега) скорости течения составляли 0,2 – 0,4 м/с. В последующие часы отлива скоростная структура потока становилась всё более равномерной. Через пять часов после полной воды расход воды уменьшился вдвое (3088 м³/с) по сравнению с максимальным отливным, средняя скорость течения составляла 0,76 м/с. Наиболее медленное течение в створе наблюдалось у правого берега (осредненные по глубине скорости течения 0,3 – 0,5 м/с), стрежень располагался в 600 – 850 м от левого берега (средняя скорость течения в этой зоне составляла 0,91 м/с, максимальная – 1,2 м/с).

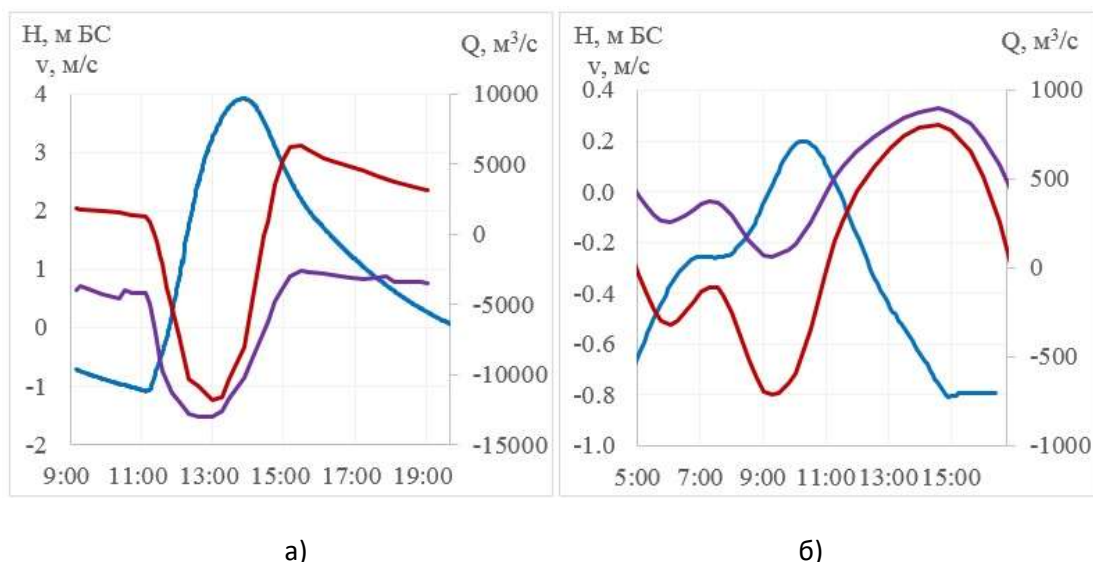


Рис. 1. Графики уровней, расходов и средних по сечению скоростей течения а) на Мезени (31 км выше устьевого створа) 11 августа 2018 г.; б) в Кузнечихе (26,3 км выше МКД Северной Двины) 1 августа 2018 г. Синей линией обозначены уровни воды (H, м БС), красной – расходы воды (Q, м³/с), фиолетовой – средние по поперечному сечению скорости течения (v, м/с)

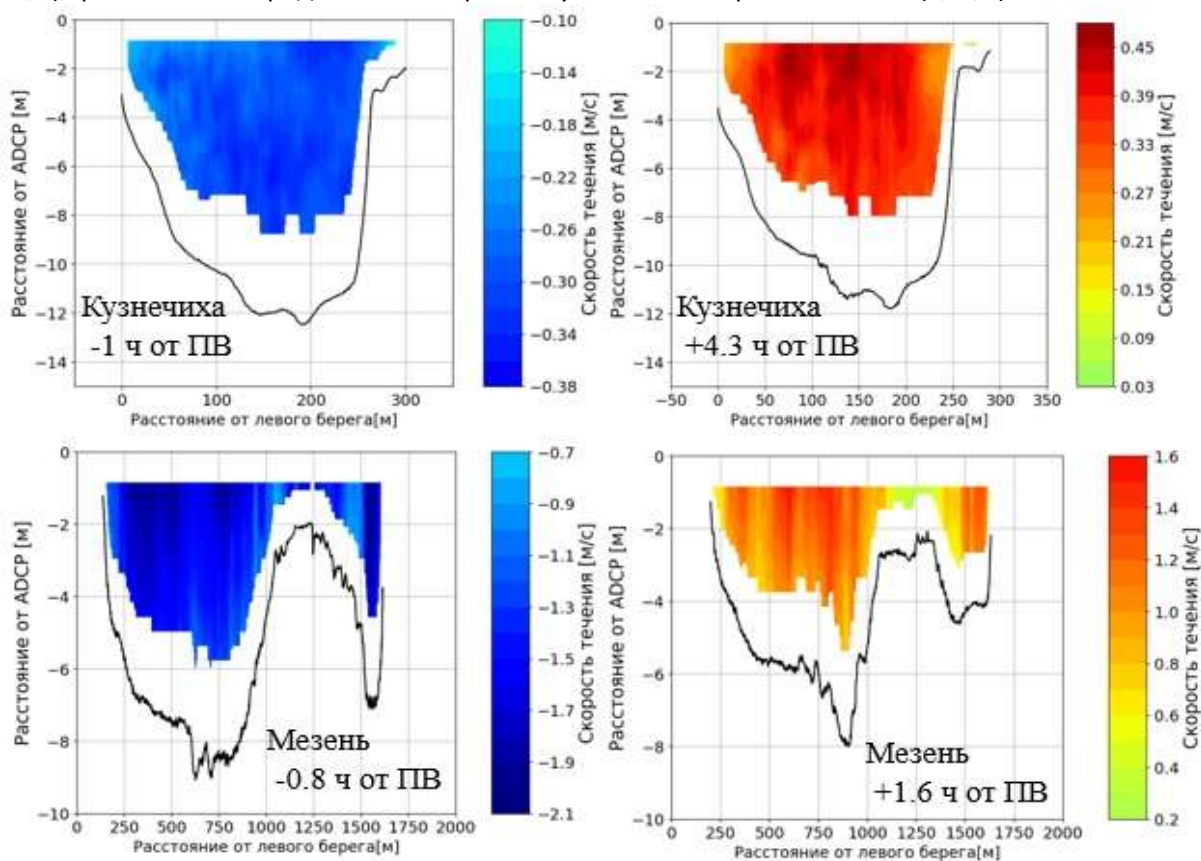


Рис. 2. Примеры распределения скоростей течения в исследуемых створах Мезени и Кузнечиха в моменты максимальных приливных (слева) и отливных (справа) расходов воды

Анализ результатов наблюдений. Кузнечиха

В створе наблюдений на Кузнечихе величина прилива составила 1,02 м. Прилив был практически симметричным, с характерным для дельты Северной Двины более продолжительным подъемом уровней воды: время роста прилива в рассматриваемый цикл

составляло 6 часов 10 минут, времени падения – 5 часов 50 минут. На приливе наблюдалась характерная особенность распространения приливной волны в устье Северной Двины – "маниха". Так называют приостановку подъема уровня во время прилива, которая длится до 1,5 часов и иногда сменяется на короткое время спадом уровня воды (рис. 1).

В течение наблюдаемого приливного цикла ширина створа изменялась от 380 до 420 м. Максимальная глубина варьировала в пределах от 11 до 12,5 м. Расходы воды изменялись от -714 м³/с на приливе (направление из моря в реку) до 804 м³/с на отливе (направление из реки в море).

До начала прилива расход воды составлял около 500 м³/с. Разворот течения на обратное начался у левого берега. Смена направления течения во всем потоке произошла через полчаса после наступления малой воды.

Приостановка роста уровней воды вследствие манихи произошла спустя 2 часа 10 минут после малой воды и продолжалась 1 час 15 минут, то есть приливный рост уровня возобновился за 2,5 часа до наступления полной воды. Приостановка хода прилива отразилось на расходах воды: через полтора часа после малой воды расход воды составлял -322 м³/с, затем величина приливного расхода воды уменьшилась до -105 м³/с, и увеличение приливного расхода воды возобновилось за 2,5 часа до полной воды, одновременно с ростом уровней воды. Осредненные по глубине скорости течения в период манихи по всему сечению оставались отрицательными. Максимальный приливный расход (-714 м³/с) со средней по поперечному сечению скоростью течения -0,26 м/с были измерены за час до наступления уровня полной воды. На стрежне, расположенном в центральной части створа ближе к правому берегу, скорости течения в верхней и центральной части потока достигали -0,31 м/с.

Разворот течений с обратных на прямые в сторону моря произошел через 50 минут после полной воды. Как и на приливе, в первую очередь направление течения сменилось у левого берега. Максимальный отливный расход воды составил 804 м³/с, а максимальная средняя скорость течения 0,33 м/с, они были измерены через 4 часа 20 минут после полной воды. Стрежень был расположен в 90 – 190 м от левого берега, скорости течения достигали 0,43 м/с. В следующие часы отлива сохранялась скоростная структура потока с максимальными скоростями течения в центральной части русла и более спокойными зонами у берегов.

Выводы

Устья Мезени и Северной Двины существенно различаются по величине прилива, по морфологическому строению. Каждое обладает специфическими особенностями скоростного поля, формируемого в условиях взаимодействия речного стока и приливных вод. Например, максимальные приливные расходы воды и скорости течения в обоих створах были измерены примерно за час до полной воды, при этом максимальные отливные значения в Мезени зафиксированы почти на три часа раньше, чем в Кузнечихе (1,6 ч и 4,3 ч после полной воды соответственно).

Анализ только осредненных по поперечному сечению скоростей течения воды занижает представления об экстремальных значениях. Так, максимальная осредненная скорость течения на приливе в Мезени составила -1,52 м/с, в то время как локально в отдельных частях поперечного сечения скорости течения достигали 2,5 м/с.

Зона с максимальными скоростями в течение приливного цикла перемещается по всему поперечному сечению потока. Иногда поток может иметь несколько стрежней (до трех в исследованном створе на р. Мезень).

Детальная информация о скоростных полях в потоке может использоваться для исследования сложной гидродинамики реверсивных потоков, калибровки гидродинамических моделей.

Работы выполнялись при поддержке РФФИ (проекты №№ 18-35-00531, 18-05-60021 и 19-35-90032).

Литература

1. Лебедева С.В., Алабян А.М., Попрядухин А.А. Верификация гидродинамической модели устья реки Северной Двины по полевым данным 2016-2017 гг / Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)", Москва, 2017, с. 670-673.
2. Алабян А.М., Панченко Е.Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен «отрицательного трения» в речной гидравлике / Инженерные изыскания, 2017, № 3, с. 24-32.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД ГИДРОСИСТЕМЫ ДУДЕРГОФСКИХ ОЗЕР
Н.А. Панютин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

ASSESSMENT OF QUALITY OF NATURAL WATERS OF THE HYDRAULIC SYSTEM
OF THE DUDERHOF LAKES

N.A. Paniutin

St. Petersburg State university, St. Petersburg, Russia

Рассматривается биолого-химический состав воды Дудергофского озера по 19 параметрам. Дается сравнение их с величинами ПДК. Основное внимание уделено содержанию фосфора в воде. Даны рекомендации по улучшению состояния водоема.

Considers 19 chemical and biological properties of water of Duderhof lake. They are compared with the TLV values. The focus is on the phosphorus contenting the water. Advices on improving the condition of the lake are given.

Дудергофское озеро, относящееся к гидросистеме Дудергофских озер, к которым относятся три озера: Безымянное, Долгое и Дудергофское, демонстрируют востребованность оценки качества воды водоема. До 2016 года городской пляж на озере Безымянное в городе Красное Село был единственным на территории Санкт-Петербурга с разрешенным использованием для купания. Но в настоящий момент выездная комиссия по проверке территории рекреационной зоны не рекомендует к использованию озера в данных целях из-за несоответствия воды озера требованиям СанПиН по микробиологическим показателям. Кроме того, данные водные объекты используются в водоснабжении города Красное Село и городского поселка Виллози.

В данной работе оценка качества воды Дудергофского озера выполнялось с позиции антропоцентризма. Для этого использовались санитарно-гигиенические предельно-допустимые концентрации (ПДК) по фосфору, марганцу, меди, кальцию, магнию, сульфату. Была дана оценка водородного показателя, исходя из общих требований. Был взят индекс загрязнения воды (ИЗВ), оценённый по содержанию в воде кислорода (O_2), биохимическое его потребление в течение пяти суток (БПК₅), меди (Cu), марганца (Mn), нитритов NO_2 и нитратов (NO_3) и концентрация хлорофилла «а».

В ходе проведенных лабораторных исследований было определено, что значительная доля питания — подземная. Подземные воды, в свою очередь, отражают минералогический состав горных пород, слагающих окрестную территорию. Жёсткость (N_{Ca+Mg}) в отобранных пробах изменялась от $74,25 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$ непосредственно у западного берега Дудергофского озера до $91,65 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$ непосредственно у самого родника, расположенного на противоположном берегу, что позволяет отнести эти воды к средней жёсткости. Это является следствием того, что местность сложена известняками, для которых характерен карстовый процесс.

Места отбора проб отмечены на космическом снимке (рис. 1).

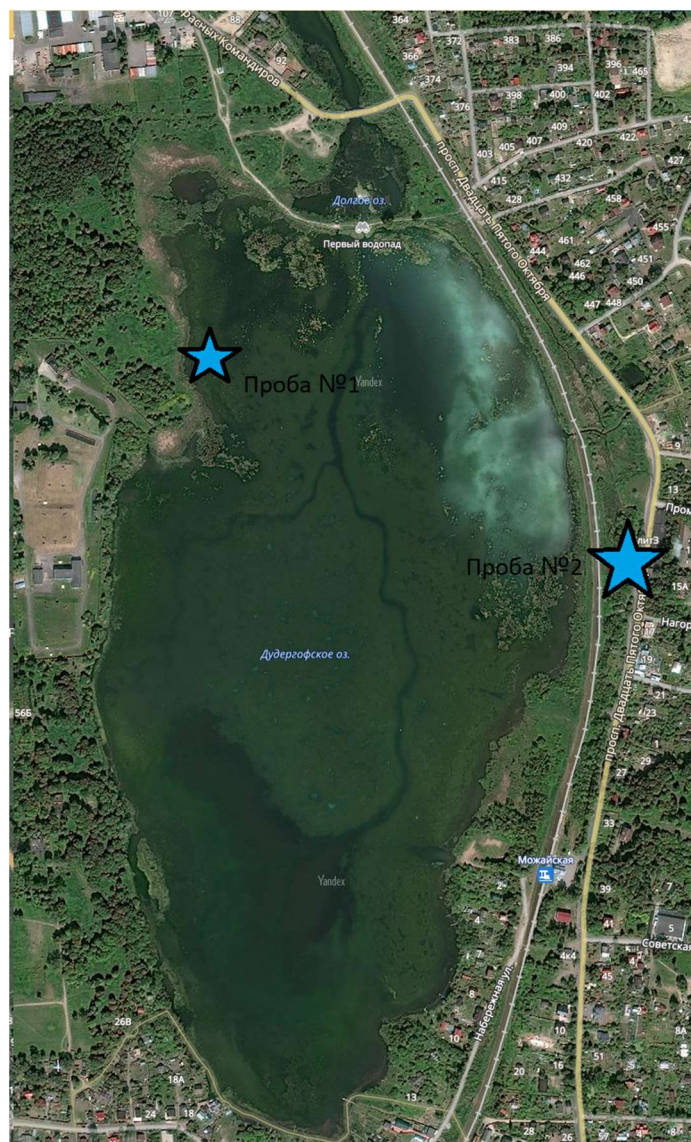


Рис. 1. Космический снимок Дудергофского озера (фотография с интернет-ресурса yandex.ru)

Остальные измеренные и полученные параметры были определены в ходе исследований автора, Государственного Гидрологического Института (ГГИ), Института озероведения Российской Академии Наук и Института инженерных и агроэкологических проблем сельскохозяйственного производства и Территориального отдела Управления Федеральной службы надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу в Кировском, Красносельском, Петродворцовом районах. Они представлены в таблице 1, в ней же приведены предельно-допустимые концентрации (ПДК), если таковые имеются [1]:

Таблица 1. Основные химические характеристики воды Дудергофского озера (для весны 2019 года)

Параметр	Концентрация	ПДК санитарно-гигиенические	Кратность превышения ПДК
Водородный показатель рН	7,8	6,5-8,5	Нет
Окислительно-восстановительный потенциал Eh, мВ	+215	—	—
Гидрокарбонаты HCO_3 , мг · дм ⁻³	494,6	—	—
Сульфаты SO_4 , мг · дм ⁻³	15	500	Нет
Хлориды HCl, мг · дм ⁻³	87,7	—	—
Кальций Ca^{2+} , мг · дм ⁻³	98,4	—	—
Магний Mg^{2+} , мг · дм ⁻³	17	50	Нет
Кислород O_2 , мг · дм ⁻³	13,1	4 \geq	Нет
Насыщение воды кислородом O_2 , %	162,8	75	Нет
Азот N, мг · дм ⁻³	0,5	—	—
Нефтепродукты, мг · дм ⁻³	0,3	0,3	Нет
Марганец Mn, мг · дм ⁻³	0,3	0,1	3
Медь Cu, мг · дм ⁻³	3	1	3
Нитраты NO_3^-	229,5	45	5,1
Хлорофилл «а», мг · дм ⁻³	0,014	—	—
Валовое содержание фосфора P, мг · дм ⁻³	0,12	0,0001	1200
БПК ₅ , мг O_2 · дм ⁻³	29,4	6	4,9
Нитриты NO_2 , мг N · NO_2^{-1}	17,49	3,3	5,3
Индекс загрязнённости вод (ИЗВ) (O_2 , БПК ₅ , Cu, Mn, NO_2 , NO_3), мг · дм ⁻³	4,6	—	—

Согласно исследованию [2] внешняя фосфорная нагрузка на Дудергофское озеро составляет 2,427 т · год⁻¹ (что составляет 92,6% от общей внешней фосфорной нагрузки на Дудергофские озера) на его поверхности в период средней водности. Стоит отметить, что большая часть этой нагрузки обеспечивается сельскохозяйственными территориями, занимающие около 35—38 % общей площади водосбора Дудергофского озера. На этих землях происходит активное использование органического и минерального удобрений. При площади водного зеркала было рассчитано, что в озеро из поверхностных и грунтовых вод поступает каждый год примерно 140 кг фосфора [2].

Дальнейший сброс сточных вод, содержащих фосфор, может привести к цветению воды—вспышке численности микроскопических организмов и цианобактерий, что приведет к невозможности использования водоема в рекреационных целях. Воду из озера нельзя будет использовать в водоснабжение. Рыбный улов будет также затруднен ввиду того, что при

ухудшении кислородного режима, исчезновению редких промысловых видов рыб и замена их на менее ценные виды [1].

Купание населения в таких водоёмах может таить скрытую опасность: среди цианобактерий могут встречаться такие виды, которые содержат токсины.

Борьба с антропогенным эвтрофированием — непростая задача. Введение контроля над сбросами фосфора довольно дорого. Кроме того, изъятие фосфора из стоков в период, когда эвтрофирование озера вошло в высокую стадию, не приведёт к обратному процессу, так как внутренняя нагрузка продолжит действовать.

Поэтому уже на начальном этапе важно провести комплексный анализ химического и биологического состава водоёмов, особенно в весенний период, когда происходит наибольший сток вод с водосборных территорий.

На примере Дудергофского озера рекомендуется существенно ограничить бессистемное использование различных видов удобрений и бесподстилочного навоза. Установить контроль навозных стоков. Рекомендуется использовать удобрения дозированно.

Муниципальные власти должны не оставлять данную проблему без внимания и проводить ежегодный контроль над качеством воды в озере, а также химический анализ крупных стоков и в случае нарушения предприятий санитарно-гигиенических норм накладывать на них санкции.

Литература

1. Дмитриев В.В. Диагностика и прогноз состояния водных экосистем. // Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды. — СПб., 1995.— 419 с.
2. Терехов А.В., Обломкова Н.С., Шмакова М.В., Игнатъева Н.В., Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А. Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на Дудергофские озера // УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ РГТМУ № 54 СПб, 2019.—С. 58–72

ОПЫТ ОЦЕНКИ ВОДООБМЕНА ГОРОДСКИХ ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ СУЗДАЛЬСКИХ ОЗЕР

Т.В.Паршина¹, Т.М. Потапова¹, канд. хим. наук, В.Л.Трушевский¹ канд. техн. наук, А.Г.Федоров¹, Н.А.Панютин¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

EXPERIENCE OF ASSESSING WATER EXCHANGE OF URBAN WATER FACILITIES ON THE EXAMPLE OF SUZDAL LAKES

T.V. Parshina¹, T.M. Potapova¹, candidate of chem. sciences, V.L. Trushevsky¹ candidate of technical sciences, A.G. Fedorov¹, N.A. Panyutin¹

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

В статье выполнено обобщение гидрологического режима Суздальских озер. Приведены материалы собственных гидрометрических изысканий. Работы выполнялись совместно со студентами СПбГУ в 2019 году. Рассмотрены особенности урбанизированного водосбора и роль антропогенных факторов на составляющие водного баланса.

Ключевые слова: водосбор, полевая гидрология, комплексные исследования, измерение водного стока, водный баланс водоема.

The article summarizes the hydrological regime of Suzdal Lakes. The materials of our own hydrometric surveys are given. The work was carried out jointly with students of St. Petersburg State University in 2019.

The features of the urbanized drainagebasin, and the role of anthropogenic factors on the components of the water balance are considered.

Keywords: drainagebasin, field hydrology, integrated studies, measurement of water flow, water balance of a reservoir.

Бассейн Суздальских озер находятся в пределах города Санкт-Петербурга и занимает юго-западную часть Карельского перешейка. Речная сеть представлена двумя реками (Старожиловка и Каменка) и короткой протокой, соединяющими Суздальские озера.

В данной статье использовались информационные материалы, опубликованные в открытой печати и интернет ресурсы; рекогносцировочное обследование береговой зоны (прибрежно – защитной - 50 м), общая длина маршрута - 20 км; рекогносцировочное обследование основного притока Суздальских озер - р. Старожиловка и вытекающей р. Каменка и их водоохранных зон для определения местоположения действующих на момент обследования водозаборов, сбросов сточных вод и других источников загрязнения (ширина водоохранной зоны р. Каменка - 100 м, р. Старожиловки – 50 м), общая длина маршрута 8 км; инструментальное и полуинструментальное измерение режима питания и сброса озер в течении 2019 году.

Система Суздальских озер (Верхнее, Среднее и Нижнее) имеет ледниковое происхождение, Река Старожиловка имеет общую более 8 км, из которых 6,8 км находятся на территории Выборгского района. Площадь водосбора Старожиловки в черте города составляет 23,6 км², а общая площадь ее водосбора равна 33,8 км² [1].

Первое Суздальское (Верхнее) озеро имеет площадь водосбора 0,48 км². Склоны его котловины, наиболее выражены на юго-востоке и востоке, имеют высоту 7-10 м. Береговая линия слабо изрезанная, с плавными очертаниями. Площадь зеркала озера 217 тыс. м², объем воды 1200 тыс. м³, средняя глубина - 5,53 м. Дно озера песчано-илистое. Береговая отмель незначительно зарастает водной растительностью (шириной до 15 м). Водоем слабо проточен, кратность водообмена 1 раз за 4 года [2]. Длина озера 690 м, ширина - 500 м, глубина достигает 12 м (по нашим данным). Источник питания - родники, поверхностные стоки. Форма озера овальная, берега в южной части пологие, в северной части - возвышенные.

Протока, соединяющая озера Верхнее и Среднее, имеет вид канала шириной 8,0 м. Береговые откосы высотой 2-3 м. В межень протока, как правило, пересыхает. При засорении трубы в протоке вода может подниматься выше отметок берегов озера Верхнее.

Второе Суздальское (Среднее) озеро имеет площадь водного зеркала - 850 м² [2]. длина озера 470 м, ширина - 410 м, глубина колеблется от 1 до 6,5 м (по нашим данным). Озеро имеет овальную форму, берега с южной и восточной стороны - возвышенные, с севера и запада - пологие. Вокруг

озера располагаются жилые и общественные постройки. Площадь пляжа, расположенного на границе с 1-м Суздальским озером около 2800 м. [2].

Третье Суздальское (Нижнее) озеро имеет общую площадь 1450 м². Амплитуда колебаний уровня воды в озере изменяется от 0,22 до 0,78 м [2]. Ширина озера - 677 м, длина – 1900 м, глубина достигает 5,2 м (по нашим данным). Кроме сообщения с другими озерами через соединительный канал, третье Суздальское озеро имеет подпитку от родников, ливневых стоков и впадающего в него левобережного притока - р. Старожиловки. Озеро вытянуто с юга на север, южные и восточные берега - возвышенные, северный берег в устье р. Старожиловки - низменный, западный участок - исток р. Каменки незначительно возвышен. На Третьем Суздальском (Нижнем) озере с западной стороны расположен небольшой пляж площадью 100 м². На расстоянии 25 м от берега с юго-западной стороны расположены жилые дома. С восточной стороны также расположены одноэтажные частные дома на расстоянии от береговой линии около 10 м. Часть юго-восточного побережья занимает кладбище, которое расположено как на гористой части в 30 м в удалении от берега, так и на самом берегу в низине, на расстоянии 5 м от воды.

Таблица 1. Характеристики водоемов

Название водоема	Площадь зеркала (га)	Площадь водосбора (га)	Объем воды (10 ⁶ м ³)	Время условного водообмена (мес)	Средняя глубина (м)	Максимальная глубина (м)
Оз. Верхнее Суздальское	22	69,7	1,20	68	5,5	12,0
Оз. Среднее Суздальское	15	97,3	0,65	14	4,4	6,5
Оз. Нижнее Суздальское	97	3624	2,95	2-3	3,0	5,2

В Выборгском районе Санкт-Петербурга действуют 3 метеостанции, принадлежавшие СЗ УГМС Росгидромета. Основной массив данных за весь период наблюдений содержится в регулярных изданиях СЗ УГМС в виде метеорологических ежегодников.

Таблица 2. Метеорологические станции района

Код ВМО	Название	Высота, м	БС	Год начала наблюдений	Расположение
22892	Выборг	14			Ленинградская обл.
22897	Озерки	4		1936	Ленинградская обл.
26063	Санкт-Петербург	2		1834	Санкт-Петербург

Водосборный бассейн Суздальских озер расположен в умеренном климатическом поясе, атлантико-континентальной лесной области, западной подобласти. В таблице 3 приводятся осредненные значения дат начала и конца сезонов и их продолжительность (могут значительно отличаться от года к году).

Таблица 3. Границы климатических сезонов и их продолжительность

Сезон	Начало сезона	Окончание сезона	Продолжительность, дни
Зима	5.XII	16.III	102
Весна	17.III	1.VI	77
Лето	2.VI	11.IX	102
Осень	12.IX	4.XII	84

Самым холодным месяцем на рассматриваемой территории является январь, температура которого составляет -7...-8°C, довольно близка к нему температура февраля. Самым жарким месяцем является июль, с температурой +17...+18°C. Многолетние значения среднемесячной температуры воздуха по данным метеостанций приведены в таблице 1.6.

Таблица 4. Средние многолетние, максимальные и минимальные значения месячной и годовой температуры воздуха (°C) по данным метеостанций

Метеостанция	Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург	среднее	-7.6	-7.6	-3.6	3.0	9.6	15.0	17.8	16.1	11.0	5.1	-0.6	-5.1	4.4
	макс.	-0.5	1.7	3.6	8.3	15.9	20.5	24.4	19.8	14.9	9.1	4.1	3.0	7.6

мин.	-18.7	-19.5	-11.5	-2.4	2.1	11.3	14.1	12.6	7.0	-0.5	-6.2	-15.7	1.2	
------	-------	-------	-------	------	-----	------	------	------	-----	------	------	-------	-----	--

Интенсивная циклоническая деятельность определяет режим осадков в течение года и даже летом, когда она ослабевает, осадки внутримассового характера составляют незначительную часть. В среднем по бассейну выпадает 650-690 мм осадков в год. В годовом ходе минимум наблюдается в феврале-апреле, максимум – в июле-августе.

Таблица 5. Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков

Метеостанции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург	40	32	36	34	42	66	79	79	65	68	57	50	648

Средний годовой слой стока рек Выборгского района колеблется 250 мм до 350 мм. Внутри годовой ход стока воды характеризуется высоким весенним половодьем, низкой летне-осенней меженью. Слой весеннего половодья в рассматриваемом районе составляет 120-140 мм.

Гидрологический режим Суздальских озер определяется их происхождением, морфометрическими параметрами и условиями проточности, которые зависят как от естественных факторов, так и от характера регулирования стока воды гидротехническими сооружениями [2, 3].

Верхнее и Среднее Суздальские - естественные зарегулированные озера и имеют склоновый сток и подземное питание. В Верхнее озеро не впадают водотоки, а канал, соединяющий его с озером Средним, практически засыпан. Для этого озера характерен слабый водообмен. Режим уровня озер зависит от состояния дамб, а также работы водопропускных сооружений, при разрушении или засорении которых могут подтапливаться берега озер, что часто наблюдается на этих озерах. Амплитуда колебания уровня воды этих озер при нормальном функционировании водопропускных отверстий. составляет 30-50 см Среднее Суздальское озеро проточное, Верхнее Суздальское сточное. Питание осуществляется преимущественно за счет поверхностного стока, а также осадков, выпадающих на акваторию озер. Доля подземного притока воды в Верхнем Суздальском озере может достигать 10-15 %.

Нижнее озеро выполняет функцию аккумуляции веществ из верхней гидрографической сети (аккумулирует более 50% веществ из верхней части). Вследствие чего процесс эвтрофикации в этом озере по сравнению с Верхним и Средним носит наиболее ярко выраженный характер.

Анализ составляющих водного баланса Суздальских озер

Суздальские озера находятся в черте города Санкт-Петербурга и их гидрологический режим периодически исследовался и рассмотрен в публикациях. Однако в ландшафтном смысле бассейн озер в основном имеет границы микрорайона. Его границы определяются антропогенными препятствиями. На севере - железная дорога, идущая вдоль Суздальского проспекта. На востоке - проспект Культуры, который одновременно является границей Выборгского и Калининского районов. На юге - Северный проспект и Поклонногорская улица. На западе - железная дорога Зеленогорско-Выборгского направления, которая разделяет Выборгский и Приморский районы.

Поверхностный сток с городской территории мало исследован, однако в литературе имеются различные характеристики источников загрязнения стока в озера:

Река Старожиловка впадает в озеро и служит приемником сточных и коллекторно-дренажных вод, вода реки используется также для полива частных огородов.

Водоёмы района активно используются для рекреации, кроме того озера Большое, Нижнее Суздальское и Финское являются приемниками коллекторно-дренажных вод.

Основные потенциальные источники антропогенного стока: Урбанизированные территории, Полигон транспортно-бытовых отходов, Северное кладбище, Иловые поля северной станции аэрации, Сельскохозяйственные поля.

Таким образом, поступление загрязнений стоком вод в Суздальские озера происходит за счет поверхностного и грунтового стоков с Шувалово - Озерковской террасы. Все объекты являются потенциальными источниками загрязнения озер, т.к. в микрорайоне канализация отсутствует, сбор хозяйственно-бытовых стоков осуществляется в выгреб.

С запада территория бассейна граничит с болотами и промзоной «Каменка», с севера с бассейном реки Старожиловка, с востока с транспортной магистралью на высокой гряде, с юга Финским заливом.

Таким образом можно перечислить и локализовать основные источники антропогенного стока Суздальских озер: 1) Хозяйственно-бытовые стоки с урбанизированных территорий: обуславливают поступление в озера биогенов, в основном, фосфора, а также хозяйственных чистящих и моющих средств; 2) Стоки с сельскохозяйственных полей: обуславливают поступление в озера биогенных веществ, входящих в состав минеральных удобрений; 3) Стоки с кладбища: обуславливают накопление в озерах органики; 4) Полигон твердых бытовых отходов (ТБО): является ядром полиэлементной геохимической аномалии. В аномальных концентрациях в почвах присутствуют: марганец, свинец, ванадий, кобальт, хром. 5) Стоки с иловых полей: основной источник поступления в водоем биогенов, а также солей тяжелых металлов; 6) Выпадение из атмосферных потоков, загрязненных пылегазовыми выбросами промышленных предприятий и энергетических установок: возможно загрязнение водоема серо- и азотсодержащими веществами, тяжелыми металлами; 7) Несанкционированные свалки: основной источник поступления органики, а также высокотоксичных веществ, тяжелых металлов.

Для инструментального определения основных факторов стока в период декабрь 2018 - октябрь 2019 г. нами проводились полевые работы. Были получены данные о ежемесячных расходах воды на реках и некоторых гидрохимических характеристиках на вертикалях озер (4 раза за 2019 год), которые позволили сделать следующие выводы:

Минимальные расходы (летняя межень) за время наших наблюдений были в июне. Максимальные (половодье) – в марте. Они составили соответственно в р. Старожиловка (нижний свор) 25 л/сек и 516 л/сек, в р. Каменке – 29 л/сек и 820 л/с. Расход воды в протоке, впадающей из Среднего озера в Нижнее, как правило, не составлял более 1-5% от расхода реки Старожиловка, за исключением периода спада половодья (май), когда он достиг 26% от стока р. Старожиловка и сток составил 23 л/сек.

Поступление биогенных элементов из Верхнего и Среднего озер в Нижнее Суздальское озеро не превышало 5-10% общего поступления веществ, поэтому при расчете баланса химических веществ вклад протоки не учитывали [5].

Расходы рек в месяцы проведения гидрохимических анализов (март, май, июнь, октябрь) составляли соответственно: в р. Старожиловке, втекающей в Нижнее Суздальское озеро от 76 до 516 л/сек, в р. Каменке в истоке из Нижнего Суздальского озера от 123 до 820 л/сек.

По данным этих работ показано [5], что основную долю загрязняющих веществ приносит в Нижнее Суздальское озеро сток р. Старожиловки – это приходная часть баланса химических веществ, а расходная часть - сток р. Каменка (табл.7)

Таблица 7. Водный баланс Нижнего Суздальского озера за 4 месяца наблюдений 2019 г.

	Месяц	март	май	июнь	июль
Приход	Приток из р. Старожиловка, 10 ³ м ³	1430	234	65	260
Расход	Сток из озера - р. Каменка, 10 ³ м ³	2132	320	75	458
	Невязка баланса 10 ³ м ³	-700	-86	-10	-198
	Грунтовый сток %	49	37	15	43

Согласно полученным данным сток воды из озера значительно превышает приток, а отрицательная невязка баланса соответствует грунтовому притоку в озеро [7].

В заключение отметим, что полученные результаты носят предварительный характер и нуждаются в подтверждении более детальными внутригодовыми исследованиями за многоводные и маловодные годы.

Основная литература

1. Разработка проекта СКИОВО, включая НДС, рек и озёр бассейна Финского залива (от границы Российской Федерации с Финляндией до северной границы бассейна реки Невы) (С-12-03) в 6-и книгах. Книга 1 «Общая характеристика бассейнов рек и озер бассейна Финского залива от границы Российской Федерации с Финляндией до северной границы бассейна р. Невы». ФГБУ ГГИ. Санкт-Петербург, 2012 г.

2. *Водная система Суздальских озер и Лахтинского Разлива. В кн.: «Водные объекты Санкт-Петербурга», изд. Администрации СПб, 233-247. Лемешко Н.А. Гронская Т.П. Изменение гидрологического режима озер и водохранилищ России : последствия для общества. 2005. // в сб. ... -В кн.: Проблемы современной гидрологии. Л. Гидрометеоиздат, 1979, с. 59-75.*
3. *Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) рек и озер бассейна Финского залива (от границы Российской Федерации с Финляндией до северной границы бассейна реки Нева). Книга 1. Общая характеристика бассейнов рек и озер бассейна Финского залива от границы Российской Федерации с Финляндией до северной границы бассейна р. Нева. ФГБУ «ГГИ» от « 23 »_октября_ 2015 г. № 136 НЛБВУ. 135с.*
4. *Вуглинский В.С., Гронская Т.П., Григорьев А.С. 2005. Инвентаризация водных объектов Санкт-Петербурга с оценкой их экологического состояния. В сб.: Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2004 году. – Под редакцией Д.А.Голубева, Н.Д.Сорокина. с.163-185.*
5. *Потапова Т.М., Паршина Т.В., Ладанова В.О., Корнаухов И.О. Водно-солевой баланс озер урбанизированных территорий на примере Суздальских озер Санкт-Петербурга / статья в данном сборнике: III Всероссийская конференция «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», СПб, 2019.*

ТРАНСАРКТИЧЕСКИЙ РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ЛЕВАНИДОВ»: ОСОБЕННОСТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2019 Г.

А.П. Педченко, канд. геогр. наук, В.Л. Зубаревич, К.В. Кодрян, М.Ю. Таптыгин, Ю.Л. Фирсов
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), г. Москва, Россия
app3960@yandex.ru

TRANSARCTIC CRUISE OF R/V "PROFESSOR LEVANIDOV": FEATURES OF OCEANOGRAPHIC CONDITIONS OF ARCTIC SEAS IN AUGUST-SEPTEMBER 2019

A.P. Pedchenko, PhD, V. L. Zubarevich, K. V. Kodryan, M. Yu. Toptygin, Yu. L. Firsov.
Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Russia
app3960@yandex.ru

Представлены результаты океанографических исследований, выполненных в ходе трансарктического рейса НИС «Профессор Леванидов» в Чукотском, Восточно-Сибирском, Лаптевых и Карском морях в августе-сентябре 2019 г. Выявлены особенности океанографических условий на акваториях исследований. Сделано предположение, что изменение характера атмосферной циркуляции в летний период 2019 г. и климата оказали влияние на положение границ атлантических и беринговоморских вод и как следствие на распределения промысловых рыб и краба-стригуна в Арктических морях.

The results of oceanographic studies carried out during the Transarctic cruise of the R/V "Professor Levanidov" in the Chukchi, East Siberian, Laptev and Kara Seas in August-September 2019 are presented. Peculiarities of oceanographic conditions in the research areas are revealed. It is assumed that changes in the nature of atmospheric circulation in the summer of 2019 and the climate had an impact on the position of the boundaries of Atlantic and Bering Sea waters and as a consequence on the distribution of commercial fish and strigun-crab in the Arctic Seas.

В представленных материалах нашли отражение ряд особенностей океанографических условий, обусловленных атмосферной циркуляцией и климатическими факторами, которые были отмечены при выполнении детальных комплексных съемок в Чукотском и Карском морях, а также научно-поисковых рыбохозяйственных исследований в Восточно-Сибирском и море Лаптевых. и, как следствие, оказали влияние на распределения промысловых рыб и краба-стригуна в арктических морях в летний период 2019 г.

В ходе трансарктической экспедиции ВНИРО на НИС «Профессор Леванидов» в августе-сентябре 2019 г. в арктических морях было выполнено 211 CTD станций в реальном времени с дискретностью измерения 1 м по глубине от поверхности до дна зондом SBE-19plus V2 SEACAT plus PROFILER, оснащенного пробоотборником SBE-32 CAROUSEL WATER SAMPLER с кассетой из 12 батометров Нискина. Отбор проб воды выполнен на 164 CTD станциях после профилирования водной толщи на характерных горизонтах для определения содержания растворенного кислорода, силикатов, минеральных форм фосфора и азота.

Известно, что колебания атмосферной циркуляции усиливают или ослабляют прогрев холодных областей Земли. В последнее двадцатилетие в арктических морях регистрировали повышение температуры воздуха и температуры поступающих атлантических вод. Это, по мнению специалистов (Карклин, Карелин, 2009, Алексеев и др. 2010), привело к сокращению площади и толщины арктических льдов, а также отразилось на распределении водных масс и термохалинной структуре вод морей СЛО (Кириллов и др., 2009, Ашик и др., 2010).

Океанографические условия на акватории арктических морей в августе-сентябре 2019 г. формировались аномальными синоптическими процессами в полярных широтах и приполярных областях. Так, высокие среднемесячные июльские аномалии температуры воздуха в приводном слое Чукотского моря и канадского сектора Арктики с максимумом на севере Аляски (более +6

°С) сформировались в результате адвекции теплого воздуха из субтропиков через тёплые сектора циклонов, смещавшихся по более северным траекториям, через Чукотку на арктические моря и север Канады. В западном секторе Арктики постоянно существовавшие полярные и приполярные антициклоны привели к формированию в полярных областях больших положительных аномалий давления от +5 до +14 гПа, которые обусловили активный прогрев приводного слоя атмосферы в Карском море, где положительные средние за июль аномалии температуру составили +2+8 °С [Карты среднемесячных значений ..., 2019].

В августе активная антициклоническая деятельность, в результате которой над Чукотским и Восточно-Сибирским морями положительные аномалии среднего атмосферного давления составляли +2+6 гПа обусловили сохранение положительных аномалий температуры воздуха +2+4 °С над арктическими морями.

Исследования ВНИРО в августе 2019 г. показали, что океанографические условия южной части Чукотского моря (южнее 70°30 с.ш.), характеризовались широким распределением тихоокеанских (берингоморских) вод, поступающих через Берингов пролив. В северной части Чукотского моря доминировали воды арктического происхождения, водные массы Восточно-Сибирского моря, и ниже слоя скачка отчетливо прослеживались воды холодного галоклина, которые характеризовались низкими температурами (до -1,75 °С) при солёности 31,0-32,0. Величина слоя холодного галоклина варьировала от десятков до 150 м. Важно также отметить, что в северной части акватории моря, севернее 73°30 с.ш., на глубинах преимущественно от 180 м до дна отмечали воды атлантического происхождения с характерными значениями температуры более 0 °С и солёности более 34,5.

В поверхностном слое моря к югу от 72° с.ш. доминировали воды тихоокеанского происхождения, температура и солёность которых варьировала от 7,6 до 9,6 °С и 31,0-32,5. Их распространению в западном направлении препятствовали воды Восточно-Сибирского моря, что обусловило формирование отчетливо выраженной фронтальной зоны, разделяющей эти водные массы. В северной части моря, к северу от 73° с.ш., доминировали воды арктического происхождения температура которых изменялась от 0,5 до 4,0 °С при солёности 26,5-29,5.

В придонном слое значительную часть акватории Чукотского моря, к востоку от 176° з.д. и южнее 72°30 с.ш. занимали теплые воды тихоокеанского происхождения, которые формировали температурный фон в пределах от 1 до 4,5 °С при солёности 32,7-32,8. Восточнее 178° з.д. в придонном слое отмечали распресненные воды Восточно-Сибирского моря с температурой ниже 0,5-1,0 °С и солёностью 31,5-32,6.

Сравнение материалов наблюдений 2019 г. и данных съёмок ТИНРО в октябре 2018 г. выявил увеличение глубины нижней границы верхнего квазиоднородного слоя на 5-10 м. При этом было отмечено увеличение температуры и солёности на поверхности моря, которое составило на южных участках 0,5-1,0 °С и 0,2-0,5 соответственно. В северной части акватории моря температура воды увеличилась на 1,5-2,0 °С при понижении солёности на 0,5-1,5. В придонном слое изменение по сравнению с 2018 г. были менее значительны. В южной части моря увеличение температуры не превысило 0,2-0,5°С, при этом солёность понизилась на 0,1-0,25. В северной части моря отмечено понижение температуры в среднем на 0,25°С при увеличении солёности на 0,2-0,25. Это, по-нашему мнению, может указывать на сохранение тенденции поступления атлантических вод в Чукотское море.

Траловая оценка распределения водных биоресурсов в Чукотском море показала значительное увеличение площади распределения, численности и биомассы минтая, сайки, и краба-стригуна по сравнению с данными съёмок начала 2000-х годов, что можно объяснить отмеченными выше изменениями распределения водных масс и их характеристик на акватории моря.

В первой декаде сентября погода в Восточно-Сибирском море формировалась в основном под действием активных западных циклонов, смещавшихся по арктическим морям и по северу

полярного региона. Во второй декаде сентября, в период работы в море Лаптевых, и, особенно, в третьей декаде месяца, когда работы выполнялись в Карском море, антициклоны всё более оттеснялись к югу очень активными и глубокими циклонами. На среднемесячной карте аномалий давления эти процессы отобразились в виде обширной области низкого давления от -3 до -7 гПа на всей территории Сибири с циклоническим центром в районе островов Новой Земли. В результате в приводном слое атмосферы исследованных морей сохранились положительные +2+3 °С аномалии температуры воздуха.

На акватории Восточно-Сибирского моря доминировали водные массы арктического происхождения и воды Восточно-Сибирского моря. На поверхности моря температура воды увеличивалась в направлении от берега и изменялась от минус 0,3 до 5,1 °С. Верхний квазиоднородный слой (ВКС) достигал 5-16 м. Распределение солёности на поверхности моря определялось выносом речного стока и соответственно ее значения увеличивались в северном и северо-восточном направлениях от 16 до 29,7. Слой холодного галоклина регистрировали на глубинах от 22 до 90 м по низким значениям температуры от минус 1,5 до минус 1,7 °С при солёности 30,8-33,7. В придонном слое температура воды изменялась от минус 1,7 до 0,5 °С при солёности 29,2-34,8. На станциях с глубинами более 150 м в слое от 130 м до дна были зарегистрированы воды атлантического происхождения, которые характеризовались высокими значениями солёности 34,5-34,7 и температурой от минус 0,8 до 0,5 °С.

Исследования ВНИРО выполненные в широком диапазоне глубин акватории Восточно-Сибирского моря в сентябре 2019 г. показали, что на глубинах более 180 м, в водах атлантического происхождения, встречаются виды креветки, рыб и скопления краба-стригуна, ранее не отмечавшиеся в этом море [Глебов и др., 2016 а].

Наблюдения на материковом склоне моря Лаптевых выполнены от 110° до 140° в.д. в диапазоне глубин от 60 до 950 м. Важно отметить, что распределение вод атлантического происхождения хорошо прослеживалось в слое от 190-200 м до 900 м ниже слоя холодного галоклина по температуре +0,5-+1,6 °С и солёности 34,6-34,85. К этим водным массам в пределах материкового склона в диапазоне глубин 270-750 м были приурочены скопления черного палтуса и креветки (*Pandalus borealis*). Ранее, в ходе наблюдений ТИНРО в этом районе в 2015 г. [Глебов и др., 2016 б] были обнаружены промысловые скопления сайки и впервые были обнаружены особи неполовозрелого черного палтуса.

В Карском море специалистами ФГБНУ «ВНИРО» были проведены комплексные наблюдения во второй половине сентября 2019 г. между архипелагом Новая Земля и полуостровом Ямал, от Байдарацкой губы до параллели 77° 50' с.ш.

Результаты наблюдений показали, что температура воды на поверхности в сентябре 2019 г. изменялась от 5,3-5,7 °С в юго-западной части акватории съёмки до 1,2-1,8 °С на северо-востоке моря вблизи архипелага Норденшельда. Поток теплых вод, поступающих из Баренцева моря с юга на север над Новоземельским желобом, достигал параллели 75° с.ш., прослеживался по изотерме 5 °С. Температура поверхностного слоя моря превышала в среднем на 2-4 °С значения таковых на акватории съёмки ПИНРО в октябре 2013 г. Максимальные положительные отклонения температуры (4,5-5 °С) отмечались севернее параллели 73° с.ш. Так, в 2019 г. значения температуры воды на поверхности у мыса Желания варьировали от 2,6 до 4°С, в то время как в 2013 г. температура изменялась от минус 1,6 до минус 0,7°С.

Солёность вод поверхностного слоя понижалась от 31-32 у берегов архипелага Новая Земля и полуострова Ямал до значений менее 27-28 в центральной части Карского моря. Минимальные значения солёности на поверхности (16-18) наблюдались в области распределения распресненных вод Ямальского и Обь-Енисейского течений. В южной, западной и восточной

частях акватории исследований соленость была на 0,5-2,0 была ниже ее значений в 2013 г., и только в северной части моря она на 2-3 превышала уровень октября 2013 г.

В придонном слое поле температуры было достаточно однородным и практически на всей акватории изменялось в пределах от минус 1,5 до минус 0,1 °С. Положительные значения температуры воды 1,6-3,0 °С были зарегистрированы в южной части моря, в Байдарацкой губе и у западного берега полуострова Ямал. Следует отметить, что значения температуры воды в придонном слое на большей части акватории съемки были близки к уровню октября 2013 г., при этом в западной части акватории температура была в среднем на 0,5 °С ниже, а на востоке моря – превышала значения 2013 г. на 0,5 °С.

Соленость воды в придонном слое варьировала в диапазоне от 31,1 до 34,8. Наибольшие ее значения отмечали в глубоководном Новоземельском желобе и севернее мыса Желания на участке поступления баренцевоморских вод, минимальные значения солености регистрировали к северу от Обь-Енисейской губы в области распределения распресненных вод Ямальского и Обь-Енисейского течений. Соленость воды в придонном слое в целом соответствовала значениям октября 2013 г.

Данные гидрохимических наблюдений в четырёх арктических морях в августе-сентябре 2019 г. показали, что исследования перекрыли три биологических сезона. Весенний период отмечен в Чукотском море, где насыщение поверхностных вод кислородом достигало 158%, лето - в Восточно-Сибирском и море Лаптевых, где насыщение вод кислородом составляло около 100% и начало осени - в Карском море, где насыщение вод поверхностном слоя кислородом было менее 100%. Во всех морях лето наступало в момент исчерпания запасов азота, который является элементом, лимитирующим фотосинтез.

Концентрация кремния является универсальным трассером вод различного происхождения. Так в Чукотском и Восточно-Сибирском море по высокому содержанию кремния, достигавшему 120 мкМ в придонном слое, прослеживались трансформированные воды тихоокеанского происхождения, холодный галоклин, который располагался на горизонтах от 20 до 170 м. На границе Восточно-Сибирского и Чукотского морей в придонном слое на глубине 43 м нами обнаружены мизерные концентрации кислорода 1.5 мл/л, 12% насыщения. По нашему мнению, столь низкое насыщение нельзя объяснить только процессами деструкции органического вещества и возможно они являются следами метановых сипов [Глянцев, 2019].

В Карском море высокие концентрации силикатов хорошо идентифицировали воды речного стока, а по низким показателям содержания кремния в придонном слое отчетливо выделялись баренцевоморские воды атлантического происхождения.

Содержание растворенного кислорода в водах Карского моря было высоким. В поверхностных водах оно изменялось от 6,9 мл/л в районе пролива Карские Ворота и Байдарацкой губы, что обуславливалось влиянием стокового поверхностного течения более теплых трансформированных вод Печорского моря до 8,5 мл/л в более холодной северо-восточной части моря у пролива Вилькицкого. Насыщенность водных масс кислородом в поверхностных водах составляла 92-106 %.

Содержание растворенного кислорода на нижней границе ВКС изменялось от 4,0 до 6,1 мл/л в центральной части моря, до 8,4 - 9,1 мл/л в восточной части Новой Земли, зоне влияния Новоземельского течения, несущего баренцевоморские воды, и в северо-восточной части моря у пролива Вилькицкого. Локальные пониженные значения растворенного кислорода в центральной части моря объясняются образованием стоковой линзы обнаруженной на горизонтах 24-38 м [Международная высокоширотная экспедиция..., 1994; Экология и биоресурсы ..., 1989]. Ямальское течение, усиленное стоковым Обь-Енисейским течением, способствовало переносу линзы трансформированных холодных вод (-1,0 С°) на север. С глубиной насыщенность водных масс кислородом увеличивалась и на нижней границе ВКС составляла до 111 % западнее полуострова Ямал.

В придонном слое содержание кислорода менялось от 4,1 мл/л (в стоковой линзе центральной части моря), до 7,7 мл/л к северо-западу от полуострова Ямал и северо-восточной части моря. В Новоземельском желобе, в восточной части Новой Земли содержание кислорода в воде было низким от 5,1 мл/л до 5,9 мл/л. Насыщенность водных масс кислородом менялось от 49 % (в стоковой линзе центральной части моря), до 96 % в северо-восточной части моря. В Новоземельском желобе, в восточной части Новой Земли насыщенность водных масс кислородом в воде было пониженным и составляло от 61-72%.

Исследования ВНИРО в Карском море в сентябре 2019 г. выявили широкое распределение краба-стригуна, сайки и ее молоди. Промысловые концентрации краба-стригуна и рыбы отметили в юго-западной части моря и в районе мыса Желания, что подтвердило высказанные предположения [Сентябов, Смирнов, 2010; Баканев, 2015], о том, что в условиях климатических изменений отмечается расширение ареала и увеличение численности этих гидробионтов.

Литература

Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Балакин А.А. 2010. Изменения климата в морской Арктике в начале XXI века // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. No 3 (86). С.22–34.

Ашик И.М., Кириллов С.А., Макштас А.П., Смирнов В.Н., Соколов В.Т., Тимохов Л.А. 2010. Основные результаты морских исследований Арктики в XXI веке // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. No 1 (84). С. 100-115.

Баканев С. В. Расселение и оценка возможного ареала краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) в Баренцевом море // Принципы экологии. 2015 № 3 С. 27–39.

Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б. и др. 2016 а. Результаты комплексных исследований в Восточно-Сибирском море в августе 2015 г. // Известия ТИНРО. т.186. 2016. – с. 81-92.

Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б., Слабинский А.М., Борилко О.Ю., Чутьчиков Д.Н., Соколов А.С. 2016 б. Результаты комплексных биологических исследований в море Лаптевых в августе-сентябре 2015 г. // Известия ТИНРО. т.187. 2016. – с. 72-88.

Глянцев А. 2019. В Восточно-Сибирском море зафиксирован невиданный выброс метана // Электронный ресурс 09.10.2019 - <https://nauka.vesti.ru/article/1234634>

Карклин В.П., Карелин И.Д. 2009. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. – С. 187-207.

Карты среднемесячных значений и аномалий метеовеличин по Северному полушарию за июль, август, сентябрь 2019 // Гидрометцентр России, 2019. Электронный ресурс - <https://meteoinfo.ru/anomalii-tabl3>

Кириллов С.А., Махотин М.С., Дмитренко И.А. 2009. Климатическая изменчивость термохалинной структуры вод морей сибирского шельфа и ее причины // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. – М.: МГУ, 2009. – С. 173–186.

Международная высокоширотная экспедиция в Карское море (49-й рейс НИС "Дмитрий Менделеев") // Океанология. Том 34, номер 5. М.: Наука, 1994.

Сентябов Е.В., Смирнов О.В. 2010. Распределение и условия обитания чёрного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* в северо-западной части Карского моря // "Вопросы рыболовства", № 2(42), 2010, том 11 (с.225-406), с.300-312

Экология и биоресурсы Карского моря. Кольский научный центр АН СССР, Апатиты, 1989. – 183 с.

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ВОДЕ ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Т.Н. Петрова, М.А. Гусева
ИНОЗ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

LONG-TERM MONITORING OF THE PHOSPHORUS CONTENT IN THE WATER OF LAKE LADOGA TRIBUTARIES

T.N. Petrova, M.A. Guseva
Institute of Limnology RAS, St-Petersburg, Russia

В работе рассматриваются межгодовые и сезонные изменения содержания фосфора в воде 16 притоков озера, отличающихся по природным условиям и степени антропогенного воздействия, что определяет величину концентрации фосфора в их воде.

The work considers annual and seasonal changes in the phosphorus content in the water of 16 tributaries of the lake, differing in natural conditions and the degree of anthropogenic impact, which determines the amount of phosphorus in their water.

Основная роль в формировании химического состава воды Ладожского озера принадлежит речному стоку, который дает почти 85% приходной части водного и свыше 95% химического баланса озера [1]. Вынос химических веществ в озеро с водой рек является интегральным показателем природных условий и хозяйственной деятельности на водосборе. Поверхностные воды бассейна Ладожского озера в силу природных условий в своем естественном состоянии содержат небольшое количество фосфора. Северная часть бассейна сложена кристаллическими породами, поэтому в воде рек, протекающих по этой территории, его концентрация особенно низка. Она постепенно увеличивается по мере продвижения к югу, и наиболее высокие значения наблюдаются в воде южных рек. Хозяйственная деятельность на территории водосбора озера вносит свой вклад в содержание фосфора в воде рек и часто приводит к росту его концентрации.

В работе использованы данные о содержании общего (TP - total phosphorus) и неорганического (IP - inorganic phosphorus) фосфора полученные за период 2011-2018 гг. Пробы воды отбирались в нижнем течении 16 притоков озера в ходе сезонных объездов - весной (конец мая - начало июня), летом (июль - август) и осенью (октябрь). Среди обследованных рек три главных притока, рр. Свирь, Вуокса (в нижнем течении река Бурная) и Волхов, на долю которых приходится более 80% суммарного речного притока в озеро, их водосборы составляют более 80% площади водосборного бассейна [2]. К числу основных притоков с площадями водосборов свыше 2 тыс. км² относятся рр. Олонка, Оять, Сясь, Паша и Янис. Несмотря на то, что рр. Паша и Оять являются притоками р. Свирь и впадают в нее в ее нижнем течении, по особенностям бассейнов и гидрологическому режиму они близки рекам собственного водосбора озера. Еще три обследованных реки, Тулема, Видлица и Тулокса, имеют площади водосборов от 1 до 2 тыс. км². Кроме того, в озеро впадает более двух десятков более мелких рек, среди которых обследовались четыре южных притока – рр. Морье, Авлога, Лава и Назия, подверженные значительному антропогенному воздействию. Концентрации форм фосфора в воде определялись в соответствии с методиками, разработанными Союзом стандартизации Финляндии (SFS): IP – спектрофотометрическим модифицированным молибдатным методом Мерфи и Райли с использованием аскорбиновой кислоты в качестве окислителя (SFS 3025); TP – окислением органических соединений фосфора персульфатом калия в присутствии серной кислоты с последующим определением фосфатов (SFS 3026).

В силу природных условий, наименьшим содержанием фосфора характеризуется реки с большой зарегулированностью стока и высокой озерностью водосборов, к которым относятся два главных притока озера – р. Свирь и р. Бурная (северный рукав – р. Вуокса), а также реки северной (р. Янис) и северо-восточной (рр. Тулема и Видлица) частей бассейна. Концентрация TP в этих реках невелика и обычно не превышает 50-60 мкг P л⁻¹, а чаще бывает ниже 30-40 мкг P л⁻¹ [3], обычно несколько выше она в реках Видлица и Тулема. В 2001-2008 гг. концентрация

ТР в рр. Бурная, Янис и Тулема составляла 14-31 мкг Р л⁻¹, в р. Свирь – 14-60 мкг Р л⁻¹, в р. Видлица – 35-97 мкг Р л⁻¹ [3, 4]. Как видно из рисунка 1 на протяжении 2011-2018 гг. в большинстве случаев содержание ТР оставалось в пределах многолетних значений, самая низкая концентрация обычно стабильно сохраняется в воде р. Янис. В 2011-2013 гг. в воде рек этой группы содержание ТР изменялось в широком диапазоне, и в двух случаях, в реках Вуокса (86 мкг Р л⁻¹) и Тулема (99 мкг Р л⁻¹), присутствовали концентрации значительно превышающие средние. С конца 2013 г. диапазон значений становится значительно уже, особенно для рек Вуокса и Янис, ТР практически никогда не превышает максимальные для данной группы рек показатели, а в чаще всего, особенно в 2017-2018 гг., концентрации колеблются около нижнего предела значений.

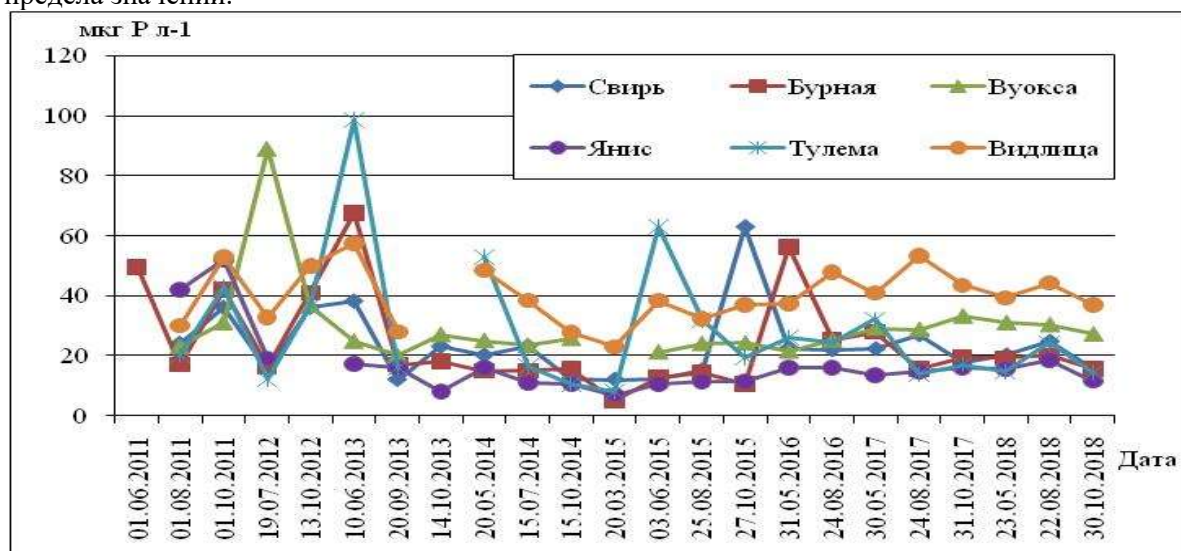


Рис. 1. Межгодовые и сезонные изменения концентрации общего фосфора в воде двух главных притоков и рек северной и северо-восточной частей бассейна Ладожского озера.

Доля IP от общего содержания изменяется в водах рек в широких пределах от 5-20 % до 70-80 % и более. Содержание IP в воде рассмотренных выше рек в 2014-2018 гг. было наиболее низким по сравнению с остальными притоками и изменялось от <0,5 до 35 мкг Р л⁻¹. Особенно мало его содержалось в воде рр. Бурная, Вуокса, Янис и Тулема, более высокие концентрации присущи воде р. Видлица.

Третий главный приток Ладожского озера – р. Волхов, впадающая в озеро в юго-восточной части бассейна, всегда отличалась повышенным содержанием фосфора в воде по сравнению с двумя другими главными притоками, что обусловлено особенностями природных условий и поступлением фосфора от антропогенных источников. Значительный объем водного стока делает Волхов главным источником поступления фосфора в озеро с водосбора, при этом концентрация его в воде реки за многолетний период претерпевала значительные колебания. В 2001-2004 гг. содержание ТР в воде Волхова составляло 28-123 мкг Р л⁻¹, осенью 2005 г. и летом 2006 г. деятельность ОАО «Волховский алюминий» привела к повышению содержания общего фосфора в воде Волхова до 335-380 мкг Р л⁻¹ [3]. В дальнейшем содержание ТР в сточных водах ОАО «Волховский алюминий» сократилось, в результате в воде Волхова в 2007-2008 гг. концентрация уменьшилась до 58-76 мкг Р л⁻¹ [4]. В 2011-2014 гг. содержание ТР в р. Волхов составляло 38-112 мкг Р л⁻¹, оставаясь на уровне 2001-2004 и 2007-2008 гг. Как видно на рисунке 2 в июне 2015 г. произошло очередное резкое повышение концентрации фосфора до 553 мкг Р л⁻¹, которое в 1,5 раза превысило высокое содержание, отмеченное в 2005-2006 гг. Содержание минерального фосфора в июне 2015 г. также было очень значительным (364 мкг Р л⁻¹). Вероятнее всего, это результат разового сброса загрязненных вод и, как и предыдущее резкое повышение концентрации, связано с деятельностью ОАО «Волховский алюминий» или другого антропогенного источника. В 2016 г. содержание ТР в Волхове составляло 90-131 мкг Р л⁻¹ и было близко к его содержанию в августе 2015 г., оставаясь выше концентраций 2011-2014 гг. В мае и августе 2017 г. концентрация ТР в воде Волхова оставалась на уровне 2016 г., а в октябре происходит очередное повышение до 222 мкг Р л⁻¹. Весной и летом 2018 г. концентрация ТР в воде

этой реки вновь снизилась до 84 мкг Р л⁻¹. Таким образом, за период 2011-2018 гг. содержание ТР в р. Волхов в основном оставалось в пределах 38-131 мкг Р л⁻¹, при этом наблюдалось два периода с высокой концентрацией - в июне 2015 г. и в октябре 2017 г. Содержание ТР в 2014, 2015 и 2018 гг. изменялось от 15 до 52 мкг Р л⁻¹, за исключением июня 2015 г., о чем было сказано выше, и было ниже концентраций 2016 и 2017 гг., которые составляли 60-99 мкг Р л⁻¹.

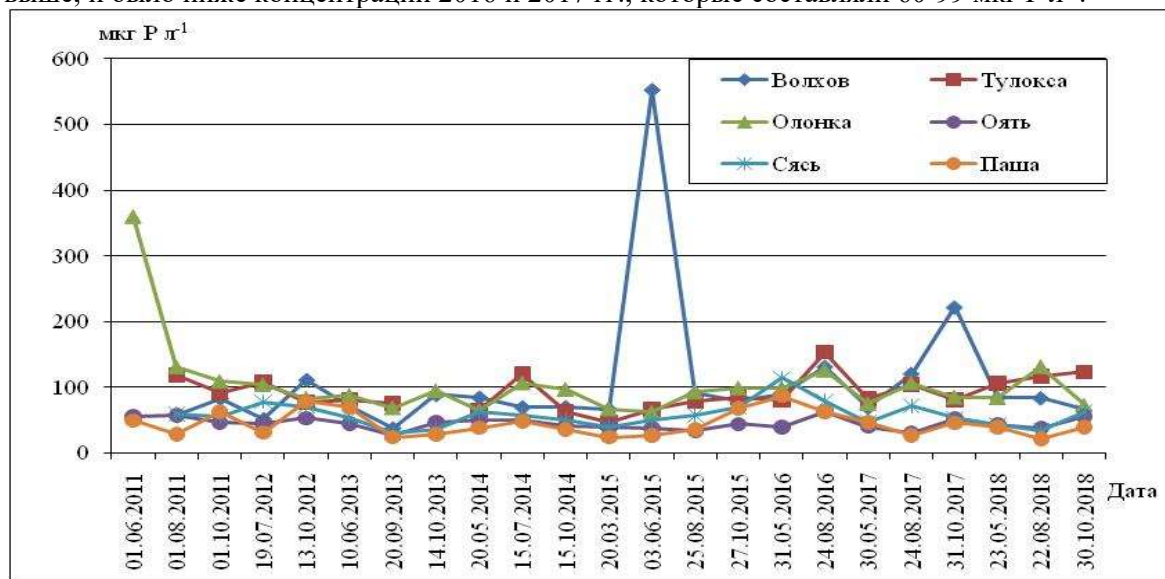


Рис. 2. Межгодовые и сезонные изменения концентрации общего фосфора в воде рек восточной и юго-восточной частей бассейна Ладожского озера.

Остальные рассматриваемые реки восточной (рр. Тулокса и Олонка) и юго-восточной частей бассейна (рр. Паша, Оять, Сясь) составляют группу рек, содержание ТР в воде которых находится преимущественно в диапазоне 80-140 мкг Р л⁻¹, в то же время, минимальная концентрация может составлять 15-40 мкг Р л⁻¹ [3]. Их водосборы находятся в зоне распространения осадочных пород, а также значительной сельскохозяйственной освоенности территории, что обуславливает более высокие концентрации ТР по сравнению с реками северной части бассейна. В особенности это относится к рекам Олонка и Тулокса, в связи с чем концентрация ТР здесь выше, чем в реках юго-восточного побережья. За период 2001-2008 гг. она изменялась в широких пределах: в рр. Олонка и Тулокса – от 38 до 144 мкг Р л⁻¹, в рр. Паша, Оять, Сясь - от 16 до 101 мкг Р л⁻¹ [3,4]. Как показано на рисунке 2 содержание ТР в воде рр. Тулокса и Олонка в 2013-2018 гг. изменялось в небольшом диапазоне (62-154 мкг Р л⁻¹) характерном для этих рек. При этом, концентрация в воде р. Тулокса оставалась на уровне 2011-2012 гг., в то время как в р. Олонка она значительно снизилась по сравнению с весной 2011 г. Содержание ТР в реках Оять, Паша и Сясь в 2013-2018 гг. также оставалось на уровне значений 2011-2012 гг. и соответствовало многолетнему диапазону. Наиболее высокие значения присущи воде р. Сясь (34-114 мкг Р л⁻¹), в двух других реках концентрация ТР ниже и изменялась в пределах 33-64 мкг Р л⁻¹ в воде р. Оять и 22-87 мкг Р л⁻¹ – в р. Паша. Как и в случае с содержанием ТР, более низкие концентрации ТР в реках Паша (5-44 мкг Р л⁻¹), Сясь (8-69 мкг Р л⁻¹) и Оять (17-57 мкг Р л⁻¹), немного более высокие – в реках Тулокса (33-118 мкг Р л⁻¹) и Олонка (31-104 мкг Р л⁻¹). Повышенные значения, связанные с обильными дождевыми осадками, в воде всех рек наблюдались в августе 2016 г., напротив, в августе 2018 г. в реках Сясь и Паша было наиболее низкое за период 2014-2018 гг. содержание минерального фосфора.

Небольшие реки южного и юго-западного побережья Ладожского озера (рр. Лава, Назия, Морье и Авлога) испытывают наибольшее антропогенное влияние. Содержание как общего, так и неорганического фосфора в воде этих рек наиболее высокое среди других рассмотренных притоков. В результате сбросов хозяйственно-бытовых сточных вод р. Авлога отличается самыми высокими концентрациями фосфора в воде среди всех притоков озера и очень широким диапазоном изменения их величин. Также для воды р. Авлога характерна высокая доля ТР (в основном больше 80%). Особенно высокое содержание ТР наблюдалось осенью 2001г. (3250 мкг Р л⁻¹) и летом 2003г. (1700 мкг Р л⁻¹) [3], в дальнейшем его концентрация значительно снизилась,

в 2007 она составляла 380–480 мкг Р л⁻¹. Изменение содержания ТР в воде р. Авлога в последние годы представлено на рисунке 3. В 2011–2012 гг. его концентрация остается на том же уровне, что и в 2007 г. (258–482 мкг Р л⁻¹), в 2013–2015 гг. она не превышала 300 мкг Р л⁻¹, при содержании IP - 240 мкг Р л⁻¹. В мае 2016 г. содержание ТР в воде Авлоги оставалось на уровне значений 2013–2015 гг., в августе 2016 г., вероятно в результате увеличения поступления от антропогенного источника, содержание ТР в этой реке резко увеличилось до 557 мкг Р л⁻¹, а IP - до 550 мкг Р л⁻¹. Весной и летом 2017 г. концентрация ТР в р. Авлога составляла соответственно 313 и 415 мкг Р л⁻¹, а осенью снизилась до 276 мкг Р л⁻¹, содержание IP составляло весной 264 мкг Р л⁻¹, летом - 400 мкг Р л⁻¹. Весной 2018 г. концентрация ТР составила 349 мкг Р л⁻¹, IP - 313 мкг Р л⁻¹, летом наблюдалось дальнейшее снижение до 217 мкг Р л⁻¹ ТР и 161 мкг Р л⁻¹ IP, а осенью наблюдалось наименьшее за период с 2011 г. значение ТР - 159 мкг Р л⁻¹.

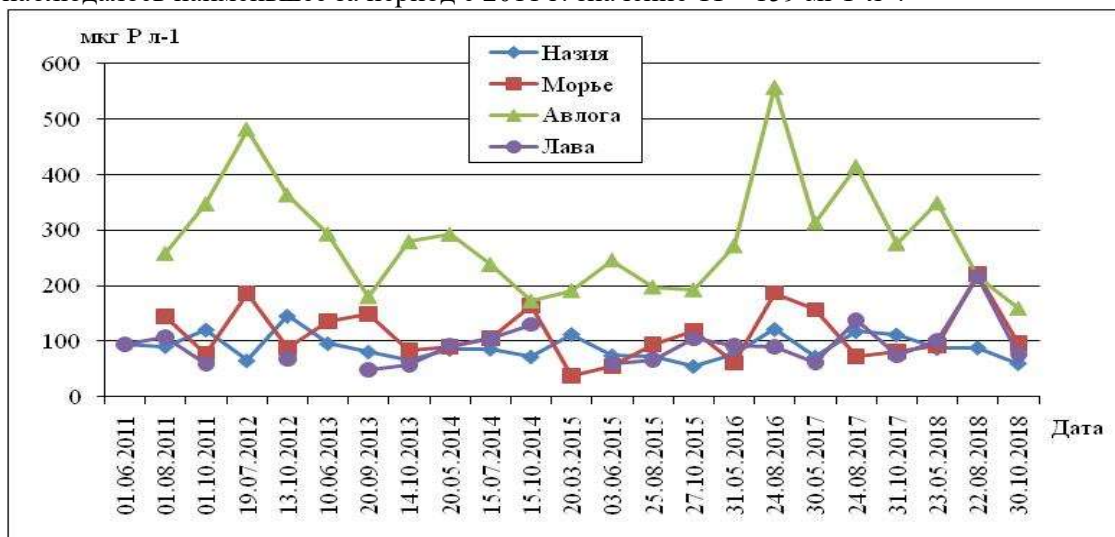


Рис. 3. Межгодовые и сезонные изменения концентрации общего фосфора в воде малых притоков южной части бассейна Ладожского озера.

На рисунке 3 видно, что содержание ТР в реках Лава, Назия и Морье намного ниже, чем в р. Авлога. В 2001–2005 гг. оно иногда достигало 200 – 275 мкг Р л⁻¹, в 2007–2008 гг. снизилось до 108 мкг Р л⁻¹ [3, 4], в 2011–2012 гг. изменялось от 60 до 186 мкг Р л⁻¹. В 2013–2018 гг. его концентрации составляли 57–217 мкг Р л⁻¹ в воде р. Лава, 55–122 мкг Р л⁻¹ в р. Назия и 56–187 мкг Р л⁻¹ в р. Морье, оставаясь в границах значений предыдущих лет. Концентрация IP в эти годы в основном изменялась от 29 до 80 мкг Р л⁻¹ в воде Лавы, от 20 до 88 мкг Р л⁻¹ в воде Назии и от 24 до 72 мкг Р л⁻¹ в воде Морьи, хотя в отдельных случаях значения возрастали до 106–168 мкг Р л⁻¹. Доля минерального фосфора в воде этих рек, как и в р. Авлога, высока и составляет около 80–90 %. Содержание общего и минерального фосфора в этих реках в 2013–2018 гг. полностью укладывалось в диапазон многолетних значений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме №0154-2019-0001.

Литература

1. Соловьева Н.Ф. Гидрохимия притоков Ладожского озера и Невы // Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера. Л., 1967. С. 5 – 59.
2. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Гидрометеиздат, Л., 1953. 443 с.
3. Расплетина Г.Ф., Кулиш Т.П., Петрова Т.Н. Гидрохимическая характеристика рек – притоков Ладожского озера и р. Невы // Оценка экологического состояния рек бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям и структуре гидробиоценозов / Под ред. Трифионовой И.С. СПб.: Изд-во «Лема». 2006. С.11 – 35.
4. Петрова Т.Н. Игнатъева Н.В. Биогенные элементы // Ладога. СПб. 2013. С.187 – 201.

МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Н.Л. Плинка¹, М.Н. Кузнецова¹

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

MODELS OF INTEGRATED MANAGEMENT OF MARITIME ACTIVITIES

N.L. Plink¹, M.N. Kuznetsova¹

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Рассматриваются возможности использования интегральных подходов в управлении морской деятельностью. Предлагается иерархия взаимосвязанных моделей комплексного управления морской деятельностью, направленных на повышение эффективности использования морских и прибрежных пространств, улучшение природопользования, увеличение вклада морской деятельности в социально-экономическое развитие приморских регионов.

Possibilities of maritime integrated management approaches are considered. The hierarchy of interfacing maritime integrated management models aimed to increasing of efficiency of marine and coastal space use, improving of marine and coastal resources management, as well as increasing of input of maritime activities in sustainable coastal development is proposed.

Развитие интегральных методов управления в сфере морепользования является достаточно новым направлением развития управленческой деятельности, история которого насчитывает около 50 лет. Практической реализацией этой методологии, направленной на устойчивое развитие морского и прибрежного природопользования, сохранение окружающей среды стала модель, получившая название «комплексное управление прибрежными зонами» (КУПЗ). При этом термин «прибрежная зона» применяется для определения сложной природно-социально-экономической системы, в основе управления которой лежит эффективное использование и развитие потенциала морской деятельности с учетом специфики морских природных процессов, ресурсных возможностей, охраны и сохранения качества окружающей среды.

Масштаб и глубина противоречий между интересами различных категорий пользователей по мере роста населения и увеличения использования мировых запасов природных ресурсов будет увеличиваться, поэтому существует настоятельная необходимость регулирования процесса развития прибрежных зон. При этом возникает необходимость в разработке общей методологии построения системы управления с учетом сложного взаимодействия происходящих морских и береговых процессов, разномасштабности этих процессов, их влияния на окружающую среду, морские и прибрежные экосистемы.

Развитие интегральных подходов к управлению морским природопользованием можно представить как непрерывный процесс формирования взаимосвязанных подсистем управления, основанных на использовании иерархии управленческих моделей. Каждая модель направлена на решение конкретной функциональной задачи. Целостность всей системы управления морской деятельностью и прибрежными зонами определяется общими принципами построения управленческих моделей, такими как:

- целостность морской деятельности;
- комплексность развития приморских территорий и прибрежных акваторий;
- использование экосистемного подхода;
- активное вовлечение всех субъектов морской деятельности в процесс управления морской деятельностью;
- непрерывность (цикличность) процесса внедрения интегральных подходов

Модель комплексного управления прибрежными зонами следует рассматривать как инновационную технологию управления морехозяйственным комплексом. Практическая реализация КУПЗ направлена на социально-экономическое развитие приморских территорий и государства, в целом, за счет более эффективного использования потенциала морской деятельности. Включая в единый объект управления береговую часть суши и примыкающую к

ней морскую акваторию, КУПЗ учитывает мультипликативное воздействие морской деятельности, гармонизирует интересы пользователей различными видами ресурсов, создает оптимальные условия для развития морехозяйственного комплекса, а также развивает человеческие возможности за счет повышения уровня знаний и информированности заинтересованных пользователей. Создание кадрового потенциала в сфере КУПЗ предполагает подготовку менеджеров нового поколения, навыки и компетенции которых основываются на междисциплинарном и комплексном подходах.

Постепенно КУПЗ распространилось не только на сравнительно узкую прибрежную полосу, но и на обширную область морских вод вплоть до внешней границы континентального шельфа, т.е. до границ юрисдикции стран, превратившись в инструментарий комплексного управления океанскими (морскими) и прибрежными акваториями и приморскими территориями [1]. К настоящему времени интерес к методологии КУПЗ приобрел глобальный характер. Около ста различных по уровню экономического развития стран реализуют или разрабатывают ориентированные на КУПЗ программы. Например, в США реализация программ КУПЗ на местах охватывает 99 % побережья страны [1].

Усиление интереса к размещению объектов морской деятельности на акватории, а также развитие экосистемного подхода привели к появлению нового направления в системе управления прибрежными зонами, получившее название *морского пространственного планирования* (МПП). Морское пространственное планирование рассматривается как процесс оценки, анализа и функционального зонирования человеческой активности на морских пространствах с учетом текущего и планируемого развития морской деятельности. Внедрение инструментов морского пространственного планирования позволяет не только обеспечить рациональное использование морских пространств, но и ускорить процесс принятия решений в сфере морепользования, избежать потенциальных конфликтов между различными участниками морской деятельности, уменьшить транзакционные издержки при реализации проектов, улучшить инвестиционный климат. Одним из триггеров, способствующих развитию МПП в Европе, стали планы развития возобновляемых источников энергии и, в первую очередь, ветровой энергетики.

Учитывая накопленный опыт внедрения интегральных подходов в управлении развитием прибрежных зон около 40 стран Западной Европы, Северной Америки, Юго-восточной Азии и Океании активно начали процессы разработки и внедрения *планов управления макро-регионами*. Девять стран разработали планы управления морскими ресурсами, а шесть стран уже ввели их в действие. Некоторые страны разбили находящиеся под своей юрисдикцией акватории на макро-регионы и разработали такие планы для каждого макро-региона отдельно. Китай, например, ввел в действие 11 провинциальных планов управления в пределах своего территориального моря. В 2012г. Австралия закончила разработку пяти региональных планов управления, которые покрывают всю акваторию ее исключительной экономической зоны. Положительным примером создания планов управления морскими макро-регионами является опыт Королевства Норвегия по разработке и внедрению плана комплексного управления Баренцевым морем и Лафонтенскими островами («Integrated Management of the Marine Environment of the Barents Sea and the Sea Areas off the Lofoten Islands»).

Морская деятельность в открытом море, занимающем около 60% общей площади Мирового океана, также требует регулирования и согласования правил использования морских пространств, освоения различных видов морских ресурсов. Поэтому в последнее время, активно развивается модель «*океанического со-управления*» (Ocean Governance). Модель океанического со-управления применяется для реализации комплексного подхода к регулированию морской деятельности в открытом море. Эта модель основана на сотрудничестве, консультациях с морскими природопользователями, их привлечении к проведению экспертизы руководящих документов. Адекватное участие морских природопользователей не может быть обеспечено без предоставления всем заинтересованным лицам широкой информации о состоянии и проблемах Мирового океана. Реализация модели океанического со-управления предполагает создание организационного оформления объединений морских природопользователей в виде различных международных институтов, выполняющих определенные координационные функции.

На рис.1 представлена «идеализированная» схема внедрения интегральных методов управления морехозяйственной деятельностью. На кафедре КУПЗ РГГМУ разработано функциональное и организационное содержание сформулированных моделей. Взаимодействие этих моделей и их функциональное содержание кратко можно представить в следующем виде.

На первом этапе формируется модель управления, основанная на *методологии КУПЗ*, направленная на объединение приморских территорий и прибрежных акваторий в единый отдельный объект планирования, что позволяет увязать развитие морской деятельности с развитием береговой инфраструктуры. Одним из возможных путей практической реализации модели КУПЗ в России является разработка самостоятельного морского компонента Стратегий социально-экономического развития приморских субъектов Российской Федерации [2],[3],[4].



Рис. 1. Конкретные функции управления, реализующие интегральный подход к управлению морской деятельностью и прибрежными зонами

В ходе реализации *модели МПП* могут быть решены такие задачи как оценка природной ценности отдельных участков морской акватории, проведение стратегической экологической оценки и ряд других задач по рациональному использованию морских акваторий. Реализация модели МПП позволяет оптимизировать сценарии и прогнозы развития морской деятельности с учетом не только условий на берегу, но и возможности рационального использования морской акватории.

Следующим этапом развития комплексного подхода является реализация *модели управления морским макро-регионом*, которую можно назвать как модель комплексного управления морским природопользованием (КУМП), которая может быть реализована в виде плана управления крупным водным объектом (или его части). Реализация этой модели опирается на планы мероприятий по реализации программы комплексного развития прибрежной зоны. Для обеспечения эффективности и прозрачности реализации модели КУМП, план управления должен включать набор целевых индикаторов, предложения по проведению комплексного мониторинга, методики оценки экологического ущерба, платы за ресурсы и другие нормативные материалы, определяющие условия морского природопользования.

Наконец, разработка планов управления конкретными макро-регионами, находящимися в национальной юрисдикции, позволит повысить эффективность международного сотрудничества в области рационального использования и охраны Мирового океана через механизмы со-управления, включая перспективы межгосударственной координации мероприятий по выполнению планов управления соседними морскими макро-регионами в рамках трансграничного сотрудничества на основе концепции, получившей название Большие морские экосистемы.

Среди основных тенденций, которые будут определять развитие интегральных методов управления морской и прибрежной деятельностью в будущем следует отметить:

- Увеличение вклада морской и прибрежной деятельности в экономику приморских государств;
- Совершенствование национальной морской политики и системы управления морской и прибрежной деятельностью;
- Расширение границ управления в сторону открытого моря;
- Развитие международного сотрудничества в области управления морскими ресурсами и охраны Мирового океана, в том числе через механизмы со-управления;
- Развитие экосистемного подхода, в том числе на основе концепции Больших морских экосистем;
- Внедрение адаптивного (гибкого) менеджмента, в том числе при реализации планов управления морскими макро-регионами.

Однако, несмотря на имеющийся международный опыт, наличие руководящих документов национальной морской политики, определяющих необходимость внедрения интегральных методов управления, темпы развития интегрального (комплексного) подхода в России в значительной степени отстают от мировых. К основным причинам отставания можно отнести:

- силу традиций отраслевого управления, основанного на фрагментарном подходе к управлению морской деятельностью;
- отсутствие государственного исполнительного органа, отвечающего за развитие морской деятельности, в целом.
- ограниченное участие в управлении морской деятельностью органов исполнительной власти приморских регионов;
- отсутствие достаточной политической и административной поддержки процессу развития КУПЗ на федеральном уровне;
- отставание в формировании необходимой нормативно-правовой базы;
- слабое знакомство специалистов в области управления морской деятельностью с методологией интегрального подхода.

К основным проблемам, которые могут возникнуть при разработке программ комплексного управления приморскими территориями и прибрежными акваториями, необходимость создания которых определена в «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации № 1930-р от 30 августа 2019 года, можно отнести:

- Слабое знакомство и отсутствие опыта использования методологии КУПЗ;
- Пробелы в нормативно – правовом и методическом обеспечении практики разработки и реализации программ комплексного развития прибрежных зон (КУПЗ - программ);
- Проблемы статистического учета экономических показателей морской деятельности;
- Отсутствие установившейся терминологии.

В заключение краткого обзора возможностей использования интегральных подходов в управлении морской деятельности следует отметить, что пренебрежение преемственностью и наличием иерархии управленческих моделей может привести к стихийному характеру развития комплексного подхода в сфере управления морской деятельностью. Методом проб и ошибок система в итоге настроится на необходимый режим управления, однако достигнет этого за счет неэффективных затрат и отставания в инновационном развитии морской деятельности.

Литература

1. А.Н. Качур, Ю.Г. Михайличенко, С.И. Масленников, А.В. Серeda Опыт и перспективы комплексного (интегрированного) управления морским природопользованием на Дальнем Востоке России.- Вестник ДВО РАН. 2019. № 1. с.75-89

2. Плинк Н.Л. О разработке и реализации программ комплексного развития приморских территорий и прибрежных акваторий (программ комплексного управления прибрежными зонами)- Стратегическое планирование в регионах и городах России: обновление стратегий, обновление смыслов. Доклады участников XIII Общероссийского форума лидеров стратегического планирования / Под. Ред. Б.С. Жихаревича.- СПб.: МЦСЭИ «Леонтьевский центр, 2015. с. 70-72
3. Методические рекомендации по разработке и корректировке социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации, утверждены приказом Минэкономразвития России, 23 марта 2017 года.
4. Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года», утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1930-р от 30 августа 2019 года

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОБЕРЕЖИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ГРАНУЛЯТОМ ПЛАСТИКА

Поляков А.Д., Ершова А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

POLLUTION OF THE COASTS OF THE EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND WITH PLASTIC GRANULES

Poliakov A.D., Ershova A.A.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Исследовано распределение пластиковых гранул в акватории Финского залива, представляющих один из самых распространенных типов микропластика в водах Мирового океана. Проведен анализ данных летнего мониторинга в 2018 г. согласно международным методикам и классификациям. Определены некоторые закономерности распределения гранулята пластика на пляжах Невской губы и на пляжах Курортной зоны Финского залива.

The distribution of plastic granules in the waters of the Gulf of Finland is investigated representing one of the most common types of microplastics in marine waters. The analysis of summer monitoring data in 2018 was carried out in accordance with international methods and classifications. Some regularities of the distribution of plastic granules on the beaches of the Neva Bay and on the beaches of the Kurortny District of the Gulf of Finland are determined.

Финский залив представляет собой сравнительно узкий водный бассейн, вытянутый с запада на восток на 410 км. Российская, или восточная часть Финского залива при общей площади 11 тыс. км² состоит из открытой акватории протяжённостью примерно 140 км и наибольшей ширине 130 км [1]. Проблема загрязнения вод Финского залива различными загрязняющими веществами, к числу которых относятся биогенные вещества, нефть, тяжелые металлы, фенолы и органические вещества с каждым годом вызывает все большее беспокойство. В последние годы внимание приковано также к загрязнению Финского залива морским пластиковым мусором.

Морской мусор - это мусор, выброшенный людьми намеренно или попавший в водную среду или на берега случайно. Морской мусор может состоять из множества различных материалов, включая пластик, стекло, резину, дерево, металл и бумагу. Морской мусор классифицируется в зависимости от размера: макромусор – частицы размером более 25 мм; мезомусор – от 5 до 25 мм. Особый интерес представляет микромусор, частицы которого составляют менее 5 мм, среди которого выделяют микропластик, являющийся большей частью всего пластика, попадающего в водные экосистемы и циркулирующий в Мировом океане до тех пор, пока не осядет на дно [2].

Микропластик – это твердые частицы синтетических полимеров, размером менее 5 мм [2]; его разделяют на первичный и вторичный в зависимости от происхождения. Первичный микропластик — это специально произведённые и/или добавленные в различную продукцию микрогранулы пластика (например, микрошарики в косметике или в пескоструйных машинах в строительстве). Вторичный микропластик возникает, когда крупные пластиковые отходы под воздействием агрессивных факторов среды (УФ-излучение, солёность и др.) распадаются в природной среде на микроскопические частицы.

Одним из самых распространенных видов первичного микропластика является гранулят пластика или гранулы (пеллеты, «mermaid tears» - «русалочьи слёзы») [3]. Создание гранул осуществляется в прессах – экструдерах. Измельчённые, промытые и отсортированные пластиковые отходы поступают в зону разогрева, где приобретают пластичное состояние. Размячённая масса перемещается шнековыми транспортёрами. Расплавленные полимеры под давлением, создаваемым шнеками, пропускаются через круглые отверстия в стальной матрице – фильтре. На выходе матрицы образуются жгуты, внешне напоминающие фарш из мясорубки. Далее происходит воздушное или водяное охлаждение жгутов и их нарезка на гранулы. Полученный гранулят дает возможность производить по низкой себестоимости целый ряд полимерных изделий, востребованных в промышленности, медицине и быту [4].

Основным предполагаемым источником гранулята пластика в воде является кораблекрушение или потери при разгрузки контейнеров (чаще всего из-за не герметичной упаковки). Гранулят пластика перевозят морским транспортом, чтобы уже в стране производителе выплавить необходимое количество изделий, тогда как производство гранулята может находиться в другой точке мира [2, 3].

Гранулят пластика является одним из основных типов морского мусора, который можно найти даже на самых отдалённых пляжах Тихого океана - он преодолевает огромные расстояния. Опасность нахождения гранулята пластика в воде связана с прямым причинением вреда животным, а также пластиковые изделия впитывают из воды органические загрязнители, включая ПХБ, ДДТ и ПАУ, некоторые из которых не только токсичны — их структура сходна с гормоном эстрадиолом, что приводит к гормональному сбою у отравленного животного [3, 5]. Кроме того, поступление ПХБ в организм провоцирует развитие рака, поражений печени, почек, нервной системы, кожи. Попадая в организм плода и ребенка, ПХБ способствуют развитию врожденного уродства и детской патологии (отставание в развитии, снижение иммунитета) [5].

Мониторинг морского мусора на пляжах европейских морей проводится начиная с 1998 года. Родоначальником стала конвенция по региональным морям OSPAR (Северо-Восточная Атлантика); спустя 9 лет в 2007 г. ХЕЛКОМ представила отчет о морском мусоре в Балтийском море и пришла к выводу, что «отсутствие сопоставимых и надежных данных является серьезным пробелом в морском мусоре и проблемой в Балтийском море». Мероприятия по предотвращению, сокращению и контролю морского мусора в Балтийском море были недостаточными, основанными на различных методах оценки, которые дали несравненные результаты по годам или между странами и без каких-либо известных сокращений в морском мусоре [6, 7].

Актуальность данной работы связана с глобальным увеличением количества морского мусора антропогенного происхождения в мировом океане, и отсутствием оценок загрязнений во многих его частях, в частности в Финском заливе Балтийского моря. В связи с этим, целью работы было проведение исследование распределения пластикового морского мусора, в частности пластиковых гранул, на берегах Невской губы и восточной части Финского залива с применением международных методик мониторинга. Для достижения цели были проведены полевые исследования летом 2018 года, когда было обследовано 13 пляжей на территории Санкт-Петербурга и в его окрестностях с использованием двух международных методик мониторинга морского мусора на побережьях, которые были адаптированы для Балтийского побережья Институтом Лейбница Исследования Балтийского моря [8, 9]. Анализ результатов полевых исследований был проведен с использованием классификации морского мусора OSPAR для определения общих закономерностей распространения морского пластикового мусора на побережьях Невской губы и Финского залива.

Для полевых исследований использовались два метода отбора проб [8, 9]: Фрейм метод (метод рамки), когда исследуется фиксированная часть пляжа от уреза воды до конца зоны заплеска, и Рейк метод (метод граблей), при котором песчаный пляж обследуется по всей ширине между линией воды и линией растительности. Обе методики предполагают просеивание песка с использованием размера ячейки сита до 2 мм [8].

Лабораторный анализ проб согласно принятой классификации [8] показал наличие 18 позиций пластикового мусора по классификатору категорий морского пластикового мусора (Master List of Categories of Litter Items), одной из которых был гранулят пластика.

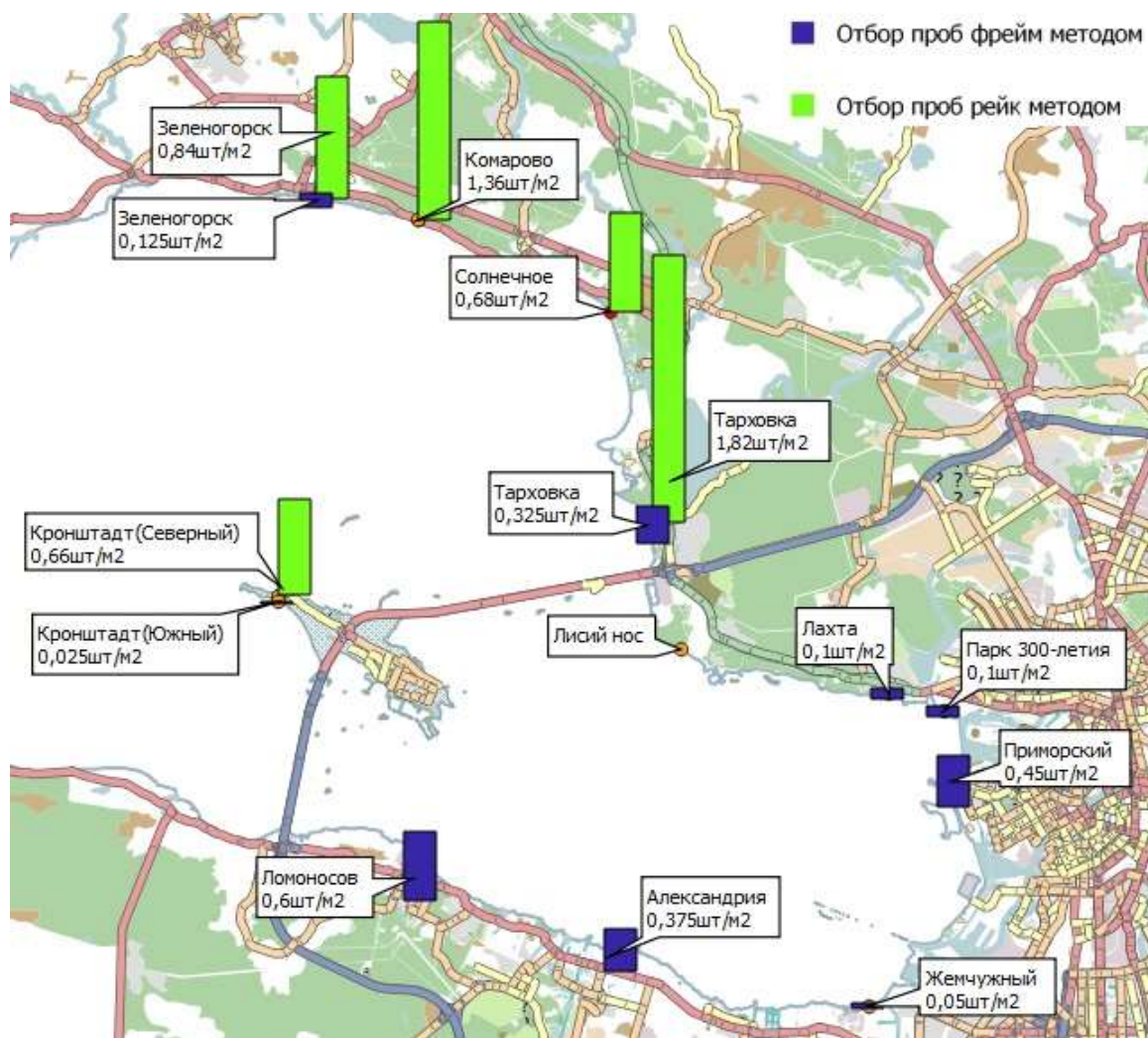


Рис. 1. Результаты мониторинга пластикового мусора летом 2018 года: концентрации гранулята пластика на пляжах Финского залива и Невской губы, шт/м²

Фрейм-методом на побережьях Финского залива и Невской губы было найдено всего 86 гранул, Рейк-методом на побережье Финского залива было найдено 268 гранул, но стоит отметить, что все пробы, отобранные Рейк-методом, были взяты за пределами Невской губы. В Невской губе загрязнение пластиковыми гранулами выражено менее ярко, чем во внешней части эстуария. В первую очередь это связано с методом отбора проб: гранулят пластика почти не обнаруживается в зоне заплеска, а аккумулируется в более дальней части пляжа. Было обнаружена определенная закономерность в распределении пластиковых гранул и другого пластикового мусора в целом при отборе проб Рейк-методом во внешней части эстуария: наибольшее скопление пластиковых частиц было обнаружено не у уреза воды, а примерно в середине пляжа на значительном отдалении от уреза воды, в так называемой «сухой» зоне пляжа. Это может быть связано с волновым воздействием в Финском заливе, когда нагонная волна переносит легкие пластиковые частицы как можно дальше на берег, и спустя время морской пластиковый мусор можно найти в самом начале пляжа, даже у линии растительности. Другой возможной причиной большего скопления пластиковых гранул на пляжах внешней части эстуария может быть воздействие дамбы, которая не позволяет морскому мусору доплыть до берегов Невской губы, после чего благодаря течениям пластиковый мусор, приносимый из Балтийского моря, попадает на береговую линию Финского залива. Самое большое скопление пластиковых гранул наблюдается в Тарховке. Вообще не было найдено гранулята пластика на пляже Лисий нос.

Оценка загрязнения побережья Невской губы показала, что больше всего пластикового мусора, в частности гранул, обнаружено на южном побережье (пляжи Ломоносова и Александрии). Данное увеличение пластикового мусора возможно связано с действием течения воды, в которой присутствует пластиковый мусор, выносимый со стоком р. Нева. С подходом к острову Котлин большая часть воды уходит в Северные ворота и выносится за пределы Невской губы, при этом оставшаяся часть невоской воды, которая осталась в Невской губе, встречает на своем пути преграду в виде Ораниенбаумской отмели, и по причине этого отклоняется в южном, а затем и восточном направлениях, вынося пластиковый мусор на южные побережья.

Данные мониторинга 2018 года послужили основой для определения станций дальнейшего мониторинга пластикового мусора в акватории Финского залива; в 2019 году для отбора проб было выбрано четыре пляжа с ежемесячным отбором проб для определения сезонной динамики скопления гранулята пластика в данном регионе.

Литература

1. Спиридонов М.А., Рябчук Д.В. и др. Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов // Региональная геология и металлогения - № 41 - 2010 - С.107-118
2. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? // *Science*, 304(5672), 838-838.
3. Karlsson T.M., L. Arneborg, G. Broström, B. C. Almroth, L. Gipperth, M. Hassellöv. The unaccountability case of plastic pellet pollution. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 129/1, 2018, P. 52-60, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.041.
4. Технология производства вторичных гранул пластика: переработка полимеров и описание метода грануляции. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rcycle.net/plastmassy/tehnologiya-proizvodstva-вторичных-гранул-пластика#> (Дата обращения 16.10.2019 г.)
5. Фрумин Г.Т. Экологическая токсикология (экоотксикология). Курс лекций. – СПб.: РГГМУ, 2013. – 34-с
6. March 2007 OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter Steering Group Britt Aniansson (Sweden), Gill Bell (United Kingdom), Fátima Brito (Portugal), Jeroen Dagevos (The Netherlands), Brian Elliott (United Kingdom).
7. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. jrescientificandpolicyreports Luxembourg: Publications Office of the European Union 2013 – 128 pp. doi:10.2788/99475 (pdf)
8. Haseler, M., Schernewski, G., Balciunas, A. et al. (2018). Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // *J Coast Conserv* 22: 27.
9. Eremina T., Ershova A., Martin G., Shilin M. (2018). Marine litter monitoring: review for the Gulf of Finland coast. // *IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC)*, 8 p. DOI: 10.1109/BALTIC.2018.8634860

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЛЕДНИКОВ

С.В. Попов^{1,2}, Г.В. Пряхина², М.П. Кашкевич², С.Д. Григорьева^{3,2}, А.А. Суханова², А.С. Боронина²

¹ АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», г. С.-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. С.-Петербург, Россия

³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. С.-Петербург, Россия

APPLICATION OF RADIO-ECHO SOUNDING FOR STUDYING OF HYDROLOGICAL AND GLACIAL OBJECTS

S.V. Popov^{1,2}, G.V. Pryakhina², M.P. Kashkevich², S.D. Grigoreva^{3,2}, A.A. Sukhanova², A.S. Boronina²

¹ Polar Marine Geosurvey Expedition, St. Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Современные электромагнитные методы показали свою эффективность при изучении гидросферы, гляциосферы, и приповерхностной части литосферы, включая выявление основных черт строения ледников и подледниковых водоёмов.

Electromagnetic methods have demonstrated effectivity in the study of the hydrosphere, glaciopause, and the near-surface of the lithosphere, including the revealing of the main features of glaciers and subglacial reservoirs.

Несмотря на бурное развитие науки и техники последних десятилетий, имеется весьма ограниченный комплекс геофизических методов для выявления особенностей строения приповерхностной части литосферы, гидросферы и гляциосферы нашей планеты. При этом лишь два из них *радиолокационный* и *сейсмический*, позволяют получить представление об изучаемой среде, базируясь на анализе отражений от физических границ, а не посредством математического моделирования геофизических полей. Эти два метода, в определённом смысле схожи, поскольку в том и в другом анализируется результат отражения сферических волн от пространственных неоднородностей. В тоже время они различны, поскольку первый из них основан на распространении электромагнитных волн, а второй – упругих. В этом смысле они дополняют друг друга, ввиду того, что реагируют на изменение различных характеристик: диэлектрических и механических соответственно. Первый отличается большей эффективностью и простотой использования, при этом второй более глубинный. В настоящей работе обсуждается применение радиолокационных методов для изучения гидрологических и гляциологических объектов.

Изучение ледников – это комплексная задача, обусловленная не только с фундаментальными научными исследованиями, но и сугубо прикладными. Первые из них традиционно связаны с изучением Южной полярной области, Антарктиды. Этот континент перекрыт ледниками примерно на 98% [1], причём их мощность составляет несколько километров [2]. В силу значительной территории, изучение строения ледника и подлёдного рельефа континента возможно исключительно аэрогеофизическими методами с помощью специальной аппаратуры. Метод радиолокационных зондирований был разработан в нашей стране в начале 60-х годов прошлого века в ААНИИ [3,4], и с тех пор с успехом применяется для изучения Антарктиды. После первых экспериментов и успехов, начиная с 1980 г. он начал активно применяться в практике планомерных отечественных аэрогеофизических исследований [5,6]. К настоящему времени съёмками покрыта территория около 5,5 млн. кв. км, что составляет более трети площади Антарктиды. В ходе проведённых работ выявлены особенности строения ледникового покрова и подлёдного рельефа обширной территории Восточной Антарктиды, включая самый большой на планете выводной ледник Ламберта, к которому приурочена одна из наиболее масштабных рифтовых зон континента, и подлёдные горы Гамбурцева [5,7-9].

В конце 90-х годов прошлого века в рамках международного проекта Vedmar были собраны в общую базу разрозненные данные по мощности ледникового покрова и высотам подлёдного рельефа, с последующим составлением сводных гридов и соответствующих карт. В основу базы были положены материалы аэроадиолокационных исследований. Данные, полученные в ходе

отечественных радиолокационных исследований признаны уникальными, в том числе и потому, что выполнялись в районах, где никакие зарубежные исследования не проводились. По результатам проекта были опубликованы первые электронные карты [10], детальность и качество которых были несопоставимо выше, чем изданные ранее. Успехи проекта Bedmap дали толчок к следующей его генерации Bedmap2, результаты которого представлены в работе [2]. В 2019 г., спустя шесть лет после его завершения и накопления новых радиолокационных данных, организована следующая генерация проекта Bedmap3. Наша страна активно и достойно участвовала в первых двух генерациях, заслужив уважение качеством представленных материалов. Планируется участие и в Bedmap3.

Поскольку существуют различия в отражениях электромагнитного импульса, сформированного от сухих и влажных горных пород, а также от водной толщи, метод радиолокации успешно применяется для изучения субгляциальных гидрологических процессов. В ходе аэро радиолокационных исследований 1970-х годов во внутренних районах Антарктиды были выявлены небольшие подледниковые водоёмы [11,12]. Однако лишь после открытия обширного подледникового водоёма, расположенного к северу от станции Восток, названного *озером Восток* [13,14], изучение субгляциальных гидрологических процессов превратилось в одно из приоритетных направлений современной науки о Земле. Практически сразу после открытия озера Восток, наша страна приступила к изучению этого уникального природного феномена. На протяжении более десяти лет оно изучалось сейсмическими и наземными радиолокационными методами [15-17]. Большой вклад в понимание строения района озера Восток внесли американские и итальянские специалисты, выполнив комплексную аэрогеофизическую съёмку также с применением радиолокации [18,19]. В результате многолетних исследований этот район был закартирован. Радиолокационные и сейсмические материалы позволили выявить основные черты строения подлёдного рельефа и придонной части озера [15-17]. Они были положены в основу первой комплексной геоморфологической интерпретации данных по этому району [20]. Радиолокационные материалы, помимо прочего, позволили закартировать слоистость ледникового покрова, представляющая собой изохронные поверхности, сформированные при изменении химического состава, или структуры льда [21,22]. Их деформация, в процессе растекания ледника, позволила выявить особенности его динамики в районе озера [23,24].

Радиолокационные данные позволили определить положение береговой линии озера Восток. Выяснено, что оно является изолированным водным объектом, полностью располагающимся в каменных берегах [25]. Важность этого вывода невозможно переоценить, поскольку на протяжении длительного времени обсуждались вопросы, связанные с методиками проникновения в него и опасностью загрязнения всей подлёдной гидрологической системы Антарктиды, в случае аварийной ситуации.

Необходимость выяснения изолированности озера Восток тесно связана с открытием катастрофических подледниковых паводков [26-31]. Это явление представляет интерес не только с позиций фундаментальной науки, но также имеет большое прикладное значение, поскольку связано с обеспечением безопасности людей, капитальных строений и транспортной инфраструктуры. Прорыв подледникового озера в Исландии разрушил мост на единственной дороге, идущей вокруг всего острова, а также размыл один из её фрагментов [27].

Аналогичные события происходили и в Антарктиде. В частности, 30-го января 2017 года в западной части ледника Долк (Dalk Glacier, Восточная Антарктида) в результате прорыва внутриледникового (или подледникового) водоёма образовался провал грандиозных размеров. Согласно материалам аэрофотосъёмки, он представлял собой обширную депрессию размером 183×220 м глубиной, достигающей 43 м [32]. Провал полностью разрушил участок трассы, соединяющей отечественную станцию Прогресс с аэродромом и пунктом формирования санно-гусеничных походов во на станцию Восток. К счастью, это происшествие обошлось без человеческих жертв, однако транспортное сообщение между важнейшими пунктами инфраструктуры Российской антарктической экспедиции было нарушено. Изучение этого феномена осуществлялось посредством комплексных георадарных, гидрологических, геодезических и гляциологических исследований. Проведённые работы позволили не только выяснить каким образом он сформировался, но и найти путь вокруг него и восстановить

прерванное сообщение [33]. В частности, георадарная съёмка позволила выявить подледниковый канал, по которому поступала вода одного из озёр в полость будущего провала [34].

Поиск пути вокруг образовавшегося провала был весьма непростой задачей, поскольку ледник вокруг него изобиловал трещинами, ширина которых достигала полуметра и более. При этом они были замечены снежными мостами, что препятствовало их визуальному выявлению, и делало передвижение по леднику чрезвычайно опасным. Георадарная съёмка позволила выявить положение трещин, и определить их морфометрические характеристики, а также найти место относительно безопасное место для организации новой трассы.

Инженерные георадарные изыскания по праву считаются наиболее эффективными для выявления и изучения полостей в теле ледника [35,36]. Этот метод с успехом применялся в частности для выбора места под строительство аэродрома на станции Мирный (Восточная Антарктида). Результатом работ двух полевых сезонов стала подготовка посадочной площадки, которая начала функционировать в феврале 2016 г., возобновив тем самым авиационное сообщение, прерванное два десятилетия назад [37].

Кроме того, георадарные исследования показали свою эффективность при изучении пресноводных гидрологических объектов. Они позволяют не только измерять их глубину, но также изучать строение придонной части. Эти работы особенно эффективны в зимний период, когда акватория водоёмов покрыта льдом, что не позволяет использовать эхолоты. Кроме того, георадарные зондирования позволяют определять мощность морского льда [38], что, наряду с возможностью выявления трещин, позволяет использовать этот метод в прикладных задачах строительства ледовых аэродромов и перевалки морских грузов через припай [39].

Электромагнитные зондирования показали свою исключительную эффективность для решения широкого круга научных и прикладных задач гидрологии и гляциологии, по праву заняв достойное место в арсенале инженеров и учёных различных специальностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-12003 ННИО).

Литература

1. Williams R.S. Jr., Ferrigno J.G. (eds.) Satellite image atlas of glaciers of the world. State of the Earth's cryosphere at the beginning of the 21st century – Glaciers. U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-A-2. 2012. 254 p.
2. Fretwell P., Pritchard H.D., Vaughan D.G., and 57 others. Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica // *The Cryosphere*, 2013, V. 7, P. 375–393. doi:10.5194/tc-7-375-2013.
3. Богородский В.В., Рудаков В.Н., Тюльпин В.А. Электромагнитное зондирование антарктического ледника // *ЖТФ*, 1965, Т. XXXV, вып. 6, С. 1150–1153.
4. Богородский В.В., Федоров Б.А. Радиолокационное зондирование ледников // *Бюлл. САЭ*, 1967, вып. 65, С. 105–114.
5. Попов С.В., Поздеев В.С. Ледниковый покров и коренной рельеф района гор Принс-Чарльз (Восточная Антарктида) // *Материалы гляциол. исслед.*, 2002, вып. 93, 205–214.
6. Попов С.В., Киселев А.В. Отечественные аэрогеофизические исследования на землях Мак-Робертсона, Принцессы Елизаветы и Вильгельма II, Восточная Антарктида // *Криосфера Земли*, 2018, Т. XXII, №1, С. 3–13. doi: 10.21782/KZ 1560-7496-2018-1(3-13).
7. Равич М.Г., Соловьев Д.С., Федоров Л.В. Геологическое строение Земли Мак-Робертсона. Восточная Антарктида. Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 230 с.
8. Куринин Р.Г., Грикуров Г.Э. Строение рифтовой зоны ледника Ламберта // *Тр. САЭ*, 1980, Т. 70, С. 76–86.
9. Куринин Р.Г., Алешкова Н.Д. Коренной рельеф Земли Эндерби, Земли Мак-Робертсона и Земли принцессы Елизаветы в Восточной Антарктиде // *Антарктика*, 1987, вып. 26, С. 62–65.
10. Lythe M.B., Vaughan D.G. and the BEDMAP Consortium. BEDMAP- bed topography of the Antarctic, 1:10 000 000 scale map. BAS (Misc) 9. Cambridge: British Antarctic Survey, 2000.
11. Oswald G.K.A., Robin G.de Q. Lakes beneath the Antarctic ice sheet // *Nature*, 1973, V. 245, P. 251–254.
12. Oswald G.K.A. Investigation of sub-ice bedrock characteristics by radio-echo sounding // *J. Glaciol.*, 1975, V. 15, No. 73, P. 75–87.
13. Ridley J.K., Cudlip W., Laxon W. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter // *J. Glaciol.*, 1993, V. 73, No 133, P. 625–634.
14. Kapitsa A.P., Ridley J.K., Robin G.D., Siegert M.J., Zotikov I.A. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // *Nature*, 1996, V. 381, No 6584, P. 684–686.
15. Масолов В.Н., Попов С.В., Лукин В.В., Попков А.М. Рельеф дна и водное тело подледникового озера Восток, Восточная Антарктида // *Докл. АН*, 2010, Т. 433, № 5, С. 693–698.

16. Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В., Попков А.М. Результаты отечественных дистанционных исследований подледникового озера Восток в Восточной Антарктиде // Разведка и охрана недр, 2012, №8, С. 46–50.
17. Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В., Попков А.М. Отечественные сейсмические, радиолокационные и сейсмологические исследования подледникового озера Восток // Лёд и снег, 2012, Т. 52, №4, С. 31–38. doi.org/10.15356/2076-6734-2012-4-31-38
18. Tabacco I.E., Bianchi C., Zirizzotti A., Zuccheretti E., Forieri A., Della Vedova A. Airborne radar survey above Vostok region, east Antarctica: ice thickness and VSL geometry // J. Glaciol., 2002, V. 48, P. 62–69.
19. Studinger M., Bell R., Karner G.D., Tikku A.A., Holt J.W., Morse D.L., Richter T.G., Kempf S.D., Peters M.E., Blankenship D.D., Sweeney R.E., Rystrom V.L. Ice cover, landscape setting and geological framework of Lake Vostok, East Antarctica // Earth Planet. Sci. Lett., 2003, V. 205, P. 195–210.
20. Попов С.В., Лунёв П.И. Орография коренного рельефа района подледникового озера Восток (Восточная Антарктида) // Геоморфология, 2012, №1, С. 81–92.
21. Millar D.H.M. Radio-echo layering in polar ice sheets and past volcanic activity // Nature, 1981, V. 292, P. 441–443.
22. Matsuoka K., Furukawa T., Fujita S., Maeno H., Uratsuka S., Naruse R., Watanabe O. Crystal orientation fabrics within the Antarctic ice sheet revealed by a multipolarization plane and dual-frequency radar survey // J. Geophys. Res., 2003, V. 108, No B10, P. 2499. doi: 10.1029/2003JB002425.
23. Bell R.E., Studinger M., Tikku A.A., Clarke G.K.C., Gunter M.M., Meertens C. Origin and fate of Lake Vostok water frozen to the base of the East Antarctic ice sheet // Nature, 2002, V. 416, P. 307–310.
24. Richter A., Fedorov D.V., Fritsche M., Popov S.V., Lipenkov V. Ya., Ekaykin A.A., Lukin V.V., Matveev A. Yu., Grebnev V.P., Rosenau R., Dietrich R. Ice flow velocities over Vostok Subglacial Lake, East Antarctica, determined by 10 years of GNSS observations // J. Glaciol., 2013, V. 59, No. 214, P. 315–326.
25. Попов С.В., Черноглазов Ю.Б. Подледниковое озеро Восток, Восточная Антарктида: береговая линия и окружающие водоёмы // Лёд и снег, 2011, №1(113), С. 13–24.
26. Björnsson H. Jökulhlaups in Iceland: prediction, characteristics and simulation // Ann. Glaciol., 1992, V. 16, P. 95–106. doi:10.3198/1992Aog16-1-95-106.
27. Björnsson H. Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland // Glob. Planet. Change, 2002, V. 35, No 3-4, P. 255–271. doi:10.1016/S0921-8181(02)00130-3.
28. Clarke G.K.C. Hydraulics of subglacial outburst floods: New insights from the Spring-Hutter formulation // J. Glaciol., 2003, V. 49, No 165, P. 299–314. doi:10.3189/172756503781830728.
29. Evatt G.W., Fowler A.C., Clark C.D., Hulton N.R.J. Subglacial floods beneath ice sheets // Philos. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci., 2006, V. 364, No 1844, P. 1769–1794. doi:10.1098/rsta.2006.1798.
30. Wingham D.J., Siegert M.J., Shepherd A., Muir A.S. Rapid discharge connects Antarctic subglacial lakes // Nature, 2006, V. 440, No 7087, P. 1033–1036. doi:10.1038/nature04660
31. Fowler A.C. Dynamics of subglacial floods // Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci., 2009, V. 465, No 2106, P. 1809–1828. doi:10.1098/rspa.2008.0488.
32. Popov S.V., Pryakhin S.S., Bliakharskii D.P., Pryakhina G.V., Tyurin S.V. Vast ice depression in Dâlk Glacier, East Antarctica // Ice and Snow, 2017, V. 57, No 3, P. 427–432.
33. Суханова А.А., Попов С.В., Григорьева С.Д. Инженерные изыскания, направленные на организацию всепогодной трассы в районе российской станции Прогресс, Восточная Антарктида, в сезон 63-й РАЭ (2017/18 г.) // Сборник докладов международной научной конференции «Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии», Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 г. С. 797–800.
34. Попов С.В., Боронина А.С., Пряхина Г.В., Григорьева С.Д., Суханова А.А., Тюрин С.В. Прорывы ледниковых и подледниковых озер в районе холмов Ларсеманн (Восточная Антарктида), в 2017-2018 гг. // Геориск, 2018, Т. XII, №3, С. 56–67.
35. Jol H.M. Ground penetrating radar: Theory and applications. Elsevier, 2009. 543 p.
36. Eder K., Reidler C., Mayer C., Leopold M. Crevasse detection in Alpine areas using ground penetrating radar as a component for a mountain guide system // Intern. Archive Photogrammetry. Remote Sensing Spat. Inf. Sci. Beijing, 2008, V. XXXVII, No B8, P. 837–841.
37. Попов С.В., Поляков С.П. Георадарное лоцирование трещин в районе российских антарктических станций Прогресс и Мирный (Восточная Антарктида) в сезон 2014/15 года // Криосфера Земли, 2016, Т. XX, №1, С. 90–98.
38. Попов С.В., Кузнецов В.Л., Пряхин С.С., Кашкевич М.П. Результаты георадарных исследований морского льда Нелла фиорда (р-н ст. Прогресс, Восточная Антарктида) в сезон 2016/17 года // Криосфера Земли, 2018, Т. XXII, №3, С. 18–26. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2018-3(18-26).
39. Суханова А.А., Попов С.В., Поляков С.П., Кашкевич М.П., Мартыанов В.Л. Георадарные исследования для подготовки взлетно-посадочной полосы на морском льду в районе полевой базы Оазис Бангера, Восточная Антарктида // Пробл. Арктики и Антарктики, 2019, Т. 65, №3, С. 315–327.

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТАМУХ В КАСПИЙСКОМ, ОХОТСКОМ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

В.С. Порубаев¹, канд. техн. наук, Е.У. Миронов¹, д-р геогр. наук, Л.Н. Дымент¹, канд. геогр. наук
¹ФГБУ Арктический и антарктический институт, Санкт-Петербург, Россия

COMPARISON OF PARAMETERS OF STAMUKHAS IN THE CASPIAN, OKHOTSK AND ARCTIC SEAS

V.S. Porubaev¹, cand. sc., E.U. Mironov¹, dr. sc., L.N. Dyment, cand. sc.¹

¹Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute", St. Petersburg, Russian Federation

Показаны значения морфометрических параметров стамух и сделан их сравнительный анализ в различных регионах замерзающих морей России. Отмечены факторы, влияющие на формирование стамух.

The values of the morphometric parameters of the stamukhas are shown and their comparative analysis is made in various regions of the freezing seas of Russia. Factors affecting the formation of stamukhas are noted.

Введение

Стамухи – торосистые ледяные образования, сидящие на мели [1] среди дрейфующего льда или в припае. Ледяные поля дрейфующего льда деформируются при контакте со стамухами, увеличивая геометрические параметры и массу льда стамух. Обладая большой массой, стамухи внедряются грунт дна. Внедрение может достигать нескольких метров. Под воздействием дрейфующего льда и приливных течений стамухи могут незначительно перемещаться, пропахивая дно.

Стамухи локализуются на шельфе морей вдоль прибрежной зоны, в основном до глубины 20-25 м, и представляют опасность для морских инженерных сооружений, прежде всего для подводных трубопроводов. Это необходимо учитывать при проектировании и сооружении трубопроводов по дну замерзающих морей [2, 3]. В конце прошлого века началось активное освоение углеводородных месторождений на шельфе российских замерзающих морей, что активизировало проведение специальных ледоисследовательских работ для получения исходных данных по свойствам и параметрам ледяных объектов, в том числе и по стамухам.

Основными методами определения морфометрических характеристик ледяных образований являются водяное термобурение (ТБ) с записью скорости бурения на компьютер или логгер [4]. На основании полученных экспедиционных данных были рассчитаны параметры стамух, исследованных в морях Каспийском, Охотском, Баренцевом, Карском и Лаптевых. По результатам исследований, проведенных ААНИИ и другими организациями, появились статьи в открытой печати, в которых рассмотрены параметры стамух [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Результаты расчетов и сведения из публикаций позволяют сравнить параметры стамух в различных регионах морей.

Морфометрические параметры стамух

Обычно в литературе приводятся средние параметры торосистых образований для конкретного региона, однако, чтобы наиболее полно оценить размеры исследованных стамух нужно, кроме средних, знать их максимальные значения.

В северной части Каспийского моря, кроме инструментально измеренных параметров стамух, дополнительно, определялась визуально с вертолета длина и ширина других стамух в регионе. Для повышения точности производились контрольные измерения при посадке с вертолета возле отдельных стамух. В Байдарацкой губе таким же образом была дополнительно измерена длина стамух на акватории всей губы. Использование данных визуальных наблюдений дает возможность учесть весь спектр длины и ширины стамух конкретного региона.

В Каспийском море стамухи были исследованы на всей акватории где в годы экспедиций (2001-20013гг.) образовывался ледяной покров. В других морях были исследованы стамухи только в локальных районах морей, что не дает возможности говорить о параметрах стамух всего моря. Рассчитанные и заимствованные из литературных источников характеристики стамух приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Морфометрические параметры стамух в морях Каспийском, Карском и Лаптевых по данным зимних экспедиций ААНИИ, в Баренцевом и Охотском морях по литературным источникам

Регион	Север Каспийского моря	Байдарацкая губа Карского моря	Хатангский залив моря Лаптевых	Юго-восток Баренцева моря [10]	Северо-вост. шельф Сахалина [5]
Средняя длина стамух, м	155*	111*	117	89	67
Максимальная длина стамух, м	400*	205*	280	1200	-
Средняя ширина паруса, м	62*	33	35	32	36
Максимальная ширина паруса, м	120*	60	99	550	-
Средняя ширина кия у поверхности, м	70	65	66	45	39
Макс. ширина кия у поверхности, м	111	89	129	-	-
Средняя ширина кия у дна, м	48	36	24	-	-
Максимальная ширина кия у дна, м	90	76	71	-	-
Средняя из максимальных высота паруса, м	5,2	4,6	6,1	8,1	6,4
Максимальная высота паруса, м	10,0	6,5	14,5	16,0	10,6
Средняя из максимальных глубина кия, м	4,0	6,9	8,2	10,5	10,8
Максимальная глубина кия, м	6,6	8,7	10,3	16,3	15,9
Средняя из максимальных толщина стамух, м	8,4	11,3	13,5	16,1	-
Максимальная толщина стамух, м	14,2	14,2	24,4	22,1	-
Отношение киль/парус	0,9	1,6	1,7	1,3	1,6
Среднее значение консолидированного слоя, м	0,35	2,07	2,49	2,2	1,54

Регион	Север Каспийского моря	Байдарацкая губа Карского моря	Хатангский залив моря Лаптевых	Юго-восток Баренцева моря [10]	Северо-вост. шельф Сахалина [5]
Средняя пористость, %	10	6	11	15*	13

* – в расчетах учитывались данные визуальных наблюдений.

- прочерк в таблице свидетельствует об отсутствии данных.

Как видно из табл. 1, геометрические параметры стамух в различных морях имеют существенные отличия. Средняя длина стамух в юго-восточной части Баренцева моря и на северо-восточном шельфе Сахалина существенно меньше чем на Северном Каспии. Небольшие средние значения горизонтальных размеров стамух в этих двух регионах во многом определяются особенностями рельефа дна, который характеризуется относительно большими глубинами 8-15 м и, сравнительно, непротяженными отмелями, хотя это не исключает появление здесь отдельных стамух с протяженностью более 1000 м (см. табл. 1). При попадании килей торосов на малые глубины ледяные образования становятся стационарными, на которые происходит нагромождение льда, что приводит к формированию стамух. В дальнейшем дрейфующий лед обтекает стамухи или вокруг них образуется припай, размеры стамух при этом не увеличиваются.

Формирование стамух в различных регионах имеет свои особенности в зависимости от таких факторов, как глубина и рельеф дна, характеристики дрейфа, толщина льда, время становления припая и некоторых других. Высота парусов, глубина килей, соотношение между ними и толщина стамух, как и длина, имеют существенные отличия (см. табл. 1).

Для описания стамух используется отношение максимальных глубины киля к высоте паруса. Данные табл. 1 показывают, что в акватории Каспийского моря это отношение, в среднем, равно 0,9, в других регионах отношение находится в диапазоне 1,3-1,7. Небольшие значения отношения глубины киля к высоте паруса характеризуют стамуху, так как у гряд торосов оно находится в диапазоне 3,0-6,0.

Степень воздействия стамухи на инженерные сооружения можно оценить по ее толщине, которая в какой-то степени является интегральным показателем ее мощности. Чем больше средняя толщина стамух, тем большее воздействие, при одной и той же глубине, она окажет на инженерные сооружения. Такую оценку можно сделать по средней толщине, рассчитанной по всем точкам, включая и точки, расположенные на склонах стамух. Расчетные значения средней толщины приведены в табл. 2. В этой же таблице приведены средние значения толщины стамух, рассчитанные по точкам гребня и толщина консолидированного слоя.

Таблица 2. Средние значения толщины стамух и их консолидированного слоя

Регион	Север Каспийского моря	Байдарацкая губа Карского моря	Хатангский залив моря Лаптевых
Средняя толщина по всем точкам бурения, м	4,5	6,2	7,4
Средняя толщина по точкам гребня, м	7,4	10,1	12,7
Толщина консолидированного слоя, м	0,4	1,9	2,5

Консолидированный слой представляет собой монолит льда из сmerzшихся ледяных блоков в основном ниже уровня воды. Толщина консолидированного слоя является важной характеристикой, так как она показывает степень устойчивости стамухи к разрушению.

Средняя толщина консолидированного слоя зависит от температурного режима региона в холодное время года. Поэтому небольшое значение его толщины на Северном Каспии и сравнительно большое в Хатангском заливе моря Лаптевых вполне объяснимо. На формирование толщины консолидированного слоя могут оказывать и другие факторы такие как колебания уровня и периодическое таяние в весенний период. Процесс консолидации стамух по мере таяния впервые был описан в работе [12].

Заключение

На основе данных инструментальных измерений и проведенных расчетов, а также по данным публикаций проведен сравнительный анализ параметров стамух. Это позволило сделать вывод, что основной причиной различий в морфометрии стамух являются региональные особенности: глубина моря, рельеф дна, толщина льда, а также условия формирования ледяных образований, т.е. температурный режим, близость припая или берега, характеристики дрейфа льда.

Различия в значениях параметров стамух указывают на необходимость детализировать сведения об особенностях пространственной изменчивости различных параметров ледяных образований в локальных районах конкретного моря при проектировании инженерных сооружений.

Литература

1. WMO Sea Ice Nomenclature // WMO. 1989-2017. Geneva, No. 259. 142 p.
2. Алексеев Ю.Н., Афанасьев В.П., Литонов О.Е., Мансуров М.Н., Панов В.В., Трусков П.А. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа // СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 360 с.
3. Blanchet D. Ice loads from first-year ice ridges and rubble fields // Canadian Journal of Civil Engineering. 1998. V.25. No.2. P. 206-219.
4. Харитонов В.В., Морев В.А. Метод исследования внутреннего строения торосов и стамух с помощью технологии термобурения // Метеорология и гидрология. 2011. №7. С. 49-58.
5. Астафьев В.Н., Сурков Г.А., Трусков П.А. Торосы и стамухи Охотского моря // СПб.: Изд. «Прогресс-Погода», 1997. 185 с.
6. Бухарицын П.И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы, 1984, №6. С. 115-123.
7. Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Стамухи // В кн. «Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике» / Под ред. Е.У. Миронова. — СПб. ААНИИ. 2010. С. 186—234.
8. Миронов Е.У., Порубаев В.С. Морфометрические параметры торосов и стамух по данным экспедиционных исследований в северо-западной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология, № 5, 2011, с. 68—76.
9. Yevgeny U. Mironov, Roman B. Guzenko, Viktor S. Porubaeв, Victor V. Kharitonov, Stepan V. Khotchenkov, Aleksander V. Nesterov, Konstantin A. Kornishin, Yaroslav O. Efimov. Morphometric Parameters of Stamukhas in the Laptev Sea // Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference Honolulu, Hawaii, USA, June 16-21, 2019. Copyright © 2019 by the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) ISBN 978-1 880653 85-2; ISSN 1098-6189 pp. 663–670.
10. Наумов А.К. Морфометрические характеристики ледяных образований Баренцева моря / Диссерт. на учен. ст. канд. геогр. наук. СПб.: 2010, Госфонд ААНИИ. 175 с.

11. Surkov G.A., Zemlyuk S.V., Khlebnikov P.A., Truskov P.A., Polomoshnov A.M. Stamukha morphometry // Proc. 17th Int. Symp. On Okhotsk Sea & Sea Ice. 2002, Mombetsu, p. 312—316.
12. Зубов Н.Н. Льды Арктики // М.: Изд. Главсевморпути, 1944. 360 с.

ВОДНО-СОЛЕВОЙ БАЛАНС ОЗЕР УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ СУЗДАЛЬСКИХ ОЗЕР САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Т.М. Потапова¹, канд. хим. наук, Т.В. Паршина¹, В.О. Ладанова¹, И.О. Корнаухов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

LAKE'S WATER-SALT BALANCE OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF SUZDAL LAKES, S. PETERSBURG T.M. Potapova¹, Ph.D. Chem. Sciences, T.V. Potapova¹, Ph.D. Chem. Sciences, T.V. Parshina¹, V.O. Ladanova¹, I.O. Kornaukhov¹

¹Saint Petersburg state university, Saint Petersburg, Russia

На основе метода водного баланса определены факторы перераспределения биогенных веществ в Нижнем Суздальском озере. Показано, что вынос солей из озера в весенне-летний период составляет 15-87%, а депонирование общего фосфора – от 70% до 93%, общего азота 33% до 70%.

Based on the water balance method, the factors of redistribution of nutrients in the Lower Suzdal Lake are determined. It is shown that the salt removal from the lake in the spring-summer period is 15-87%, and the deposition of total phosphorus is from 70% to 93%, total nitrogen 33% to 70%.

В данной статье рассматривается система наиболее крупных естественных водоемов Санкт-Петербурга – Суздальские озера. Она включает три озера - Верхнее, Среднее и Нижнее с их главным притоком – р. Старожиловка и вытекающей р. Каменкой.

В результате полевых и лабораторных исследований изучены особенности формирования химического состава вод городской озерно-речной системы Суздальских озер Санкт-Петербурга. Исследования проводились в различные фазы водного режима: периоды пика (в марте) и спада (в мае) весеннего половодья и в период летних паводков 2019 года.

На основе предварительных рекогносцировочных исследований были выбраны 6 станций на озерах и 4 четыре гидрологических створа на реках. В том числе 4 станции на Нижнем Суздальском озере (две фоновые и две станции в наиболее загрязненных частях озера). На Среднем и Верхнем Суздальских озерах были назначены по одной станции в наиболее глубоководных частях озер. На каждой станции пробы отбирались с двух или трех горизонтов (в зависимости от глубины). Гидрографическая сеть территории представлена реками Старожиловкой и Каменкой, на которых были организованы 4 створа: три створа на р. Старожиловка - в верхнем, среднем и нижнем течении и створ на р. Каменке – в истоке из Нижнего Суздальского озера.

Площади зеркал Суздальских озер (Верхнее, Среднее и Нижнее) соответственно: 22, 15 и 97 га; средние глубины : 5,5,4,4 и 3,0 м. За период наших наблюдений (декабрь 2018 - октябрь 2019 г.) расходы рек составляли соответственно: в р. Старожиловке, втекающей в Нижнее Суздальское озеро 76- 516 л/сек, в р. Каменке в истоке из Нижнее Суздальского озера -123-820 л/сек.

Основными источниками поступления загрязняющих веществ в исследованную систему являются сточные воды, спускаемые в р. Старожиловку, а также многочисленные несанкционированные свалки в районе бывших торфоразработок в бассейне р. Старожиловки. Немаловажную роль играют и частные жилые массивы, в бассейне Суздальских озер, а также сток грунтовых вод кладбища, примыкающего к береговой зоне южной части Нижнего Суздальского озера. В связи с прохождением по водосборной территории крупных автомагистралей Приморского и Выборгского шоссе определенную роль в формировании антропогенной нагрузки могут играть и атмосферные выпадения как на сами озера, так и на их водосбор.

Несмотря на высокую антропогенную нагрузку на Суздальские озера по органолептическим характеристикам и по содержанию растворенного кислорода они не относятся к загрязненным. Все исследованные воды были прозрачны с содержанием взвешенных веществ на уровне следовых значений (<3 мг/л) при содержаниях кислорода в подледный период не ниже ПДК кислорода в зимний период для вод рыбохозяйственного использования (р/х) - 4 мг/л; в период открытой воды были хорошо аэрированы – от 80 до 120% насыщения. По величине

минерализации, рассчитанной по сумме ионов, все воды относятся к водам средней минерализации (250-350 мг/л) преимущественно к хлоридно-натриевым с относительно высокими содержаниями ионов натрия до 100 мг/л, что не характерно для вод нашего региона и свидетельствует об интенсивной антропогенной нагрузке, которую испытывают городские озера [1]. Для Суздальских озер характерно высокое содержание органических веществ по величине химического потребления кислорода ХПК до 100-130 мг/л при низких значениях биохимического потребления кислорода БПК₅ (<2 мг О₂/л) для большинства станций за исключением южной части Нижнего Суздальского озера в районе кладбища, в которых БПК₅ составляет 2-4 ПДК р/х.

Отсутствие превышения ПДК по величине БПК₅ на фоне повышенных значений ХПК свидетельствует о присутствии органического вещества за счет природных факторов - высокой заболоченности водосборов и формирования донных илов (сапропелей) болотного происхождения. Несмотря на прохождение крупных автомагистралей в прибрежных зонах в озерных водах не выявлено загрязнения нефтепродуктами (С<0,05 мг/л – ниже ПДК) и тяжелыми металлами (ртути, мышьяка, кадмия, свинца, хрома, цинка) также ниже ПДК. Повышенные концентрации по железу и марганцу (> 3 ПДК) также обусловлены природными факторами, связанными как с болотным влиянием, так и с геохимическими особенностями водосборных территорий, принадлежащих к железо-марганцевой провинции [2].

В наибольшей степени антропогенное влияние на Суздальские озера проявляется в интенсификации процессов эвтрофирования озер, особенно резко выраженная на мелководном Нижнем Суздальском озере, наиболее сильно зарастающим по берегам тростником и водорослями по всей акватории прибрежной зоны. Для большинства станций этого озера в летний период регистрировались содержания общего фосфора >0,05 мг/л, что соответствует переходу озера от мезотрофной к эвтрофной стадии. Средние содержания общего азота составляет 1,5-2,5 мг/л при экстремальных концентрациях >8 мг/л. При этом превышения ПДК по нитритному азоту достигают значений 20-30 ПДК, по аммонийному азоту – до 4-5 ПДК.

В связи с этим основной задачей нашего исследования являлось установления как основных факторов формирования биогенного состава вод Нижнего Суздальского озера, обусловленных как внешней (фосфорной и азотной), так и внутренней нагрузкой за счет внутриводоемных процессов, приводящих к вторичному загрязнению озера.

С целью определения современного уровня внешних нагрузок на исследованные водоемы проведены специальные исследования по оценке загрязнения атмосферных выпадений и временных водотоков береговой зоны озер. Как показали наши исследования, снеговые атмосферные осадки, отобранные с поверхности Нижнего Суздальского озера и его береговой зоны, содержат тяжелые металлы (цинк, свинец, медь) в концентрациях на уровне от 1-5 мкг/л, нитритный азот и фосфор фосфатов – 0,005-0,01 мг/л, что значительно ниже ПДК по определяемым компонентам; общая минерализация составляет от 2 до 7 мг/л. Химический анализ вод пересыхающих ручьев и водотоков ливневого стока также не выявил загрязнения с превышением ПДК по основным загрязняющим веществам, тогда как в р. Старожиловке, в особенности ее среднем течении, содержания нитритного азота достигали значений свыше 1мг/л превышением ПДК в 20-50 раз. Поступление биогенных элементов из Верхнего и Среднего озер в Нижнее Суздальское озеро через трубу, вытекающую из соединяющего их канала, составляет не более 5-10% общего поступления.

В результате этих работ был сделан вывод о том, что основную долю загрязняющих веществ привносит в Нижнее Суздальское озеро сток р. Старожиловки, что позволило применить упрощенный вариант метода водного баланса для решения поставленной задачи по определению внешней и внутренней биогенных нагрузок на Нижнее Суздальское озеро [3]. При этом было принято, что приходную часть баланса химических веществ в Нижнее Суздальское озеро составляет сток реки Старожиловки, а расходную часть - сток р. Каменка (табл.1).

Таблица 1. Водный баланс Нижнего Суздальского озера за отдельные месяцы наблюдений 2019 г

Месяц	Приход воды		Расход воды		
	Приток из р.Старожиловка 10 ³ м ³	Сток из озера - р.Каменка, 10 ³ м ³	Невязка баланса 10 ³ м ³	Грунтовый сток %	
март	1430	2132	-700	49	
май	234	320	-86	37	
июнь	65	75	-10	15	
июль	260	458	-198	43	

Согласно полученным данным сток воды из озера значительно превышает приток, а отрицательная невязка баланса соответствует грунтовому притоку в озеро [2], что коррелирует с гидрохимическими данными по определению общей минерализации воды в зимний (февраль) подледный период и в период открытой воды (май-июль). По нашим данным общая минерализация воды Нижнего Суздальского озера в зимний период составляла 450 мг/л, а в летний снижалась до 315 мг/л, что соответствует грунтовому стоку около 33%.

Результаты расчетов солевого баланса Нижнего Суздальского озера по величинам минерализации (по сумме ионов) и общему железу показали, что расход солей превышает их приток при значительных колебаниях в зависимости от расходов воды в разные месяцы года (табл.2). При этом вынос солей из озера варьирует в широком интервале от 15 до 87%, а вынос общего железа – от 0 до 100%.

Таблица 2. Солевой баланс Нижнего Суздальского озера за отдельные месяцы наблюдений 2019 г.

Месяц	Приход солей		Расход солей		Вынос солей из озера	
	тонн	г/м ²	тонн	г/м ²	тонн	%
Март	395	407	593	617	200	52
Май	91,8	94,5	113	116	21	23
Июнь	19,5	21,4	23	23	3	15
Июль	77	79,6	165	170	65	87
	Приход общего железа		Расход общего железа		Вынос общего железа из озера	
	кг	мг/м ²	кг	мг/м ²	кг	%
Март	530	538	1312	1345	782	>100
Май	65	68	102	112	37	55
Июнь	33	33,7	32	33	отс	-
Июль	55	56	23	24	32	42

Наиболее интересные выводы о перераспределении биогенных элементов в озере можно сделать по результатам расчетов баланса общего фосфора и общего азота в Нижнем Суздальском озере (табл.3).

Таблица 3. Баланс общего фосфора и общего азота Нижнего Суздальского озера

Месяц	Приход общего фосфора		Расход общего фосфора		Депонирование фосфора в озере	
	кг	мг/м ²	кг	мг/м ²	кг	%
март	28,6	29	2,1	2,2	26,5	93
май	20,9	22,3	6,5	6,7	14,4	69
июнь	49	50	10,6	10,9	38,4	78
июль	117	120	27	28	90	77
	Приход общего азота		Расход общего азота		Депонирование азота в озере	
	кг	мг/м ²	кг	мг/м ²	кг	%
март	3718	3833	4264	4396	-678	-
май	807	832	560	577	247	33
июль	951	980	284	292	659	69

Согласно представленным данным, основная часть (69-93%) общего фосфора депонируется, т.е. осаждается на дне озера, являясь потенциальным источником обратного поступления в придонную воду, что может приводить к вторичному загрязнению озера. Распределение общего азота в озере носит несколько иной характер: во время пика половодья (в марте) происходит вынос соединений азота, в остальные месяцы – депонирование в озере – от 33 до 69%.

В заключение отметим, что полученные результаты носят предварительный характер и нуждаются в подтверждении более детальными внутригодовыми исследованиями за многоводные и маловодные годы.

Литература

1. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды – М.: Наука, 2010. - 268с.
2. Водные объекты Санкт-Петербурга/ Под редакцией С.А. Кондратьева – СПб., 2002. -348 с.
3. Мартынова М.В. Донные отложения как источник поступления азота и фосфора в водную массу / Водные ресурсы № 1, 1981, с.164-183.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОКА МАЛОИЗУЧЕННЫХ ГОРНЫХ БАССЕЙНОВ ЮГА СИБИРИ

Г.В. Пряхина¹, Е.С. Зелепукина², С.А. Гаврилкина¹, В.А. Соловьев³

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Эксперт ГАЗ», Санкт-Петербург, Россия

AN APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELLING TO ASSESS THE RUNOFF FORMING FROM UNDER-EXPLORED MOUNTAINS OF SOUTHERN SIBERIA

Pryakhina G.V.¹, Zelepukina E. S.², Gavrilkina S.A.¹, Solovyev V.A.³

¹Federal state institution of higher education Saint-Petersburg state university, Institute of Earth Sciences; Russia

² Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications; Russia

³ LLC «Expert GAZ»; Russia

В работе приведены оценки стока с отдельных пространственных структурных частей водосборов, рассмотрена их роль в формировании интегрального стока с речных бассейнов северного макросклона Западного Саяна. Целесообразность применения обобщенной базы параметров почвенно-растительного покрова стокоформирующих комплексов обоснована хорошими результатами сходимости моделируемых и наблюдаемых гидрографов суточных расходов воды. Показано, что на процессы формирования стока в различных типах леса оказывают влияние состав доминирующих пород, сомкнутость древостоя, характер напочвенного покрова, выраженность уклонов. Преобладающие по площади таежные комплексы обеспечивают основной объем стока. Оценка вклада отдельных частей речных бассейнов в сток в замыкающем створе показала, что в пересчете на единицу площади наибольшие модули и коэффициенты стока характерны для гольцовых и тундровых комплексов.

An estimation of runoff of different spatial structural parts of drainage basin is presented in the research. The hydrological role of runoff-forming complexes is considered in the northern macroslope of the West Sayan ridge case study. The aggregate database of vegetation, soil and slope characteristics (hydrological parameters for modelling) was received in the course of analysis of the region investigated. Applicability of the base is justified by high results of convergence of calculated and obtained hydrographs of daily water discharge. An effect of different forest types characteristics (species composition, tree crown cover, slope steepness, soil, vegetation and other) in the runoff forming was quantitative confirmed. Water discharge is mainly provided by taiga geosystems which are prevail in water catchment areas investigated. According to assessment of the contribution of different parts of drainage basins to runoff the largest runoff modules and rates per unit of area are observed in nival geosystems and mountain tundras.

Введение

Исследования, рассматривающие закономерности протекающих процессов в пределах горных водосборов, в целом не многочисленны вследствие труднодоступности горных территорий и недостаточности сети гидрометеорологических постов и станций. На сегодняшний день математическое моделирование представляется наиболее эффективным методом изучения процессов и факторов формирования стока, в том числе и стока с отдельных частей водосборов. Результаты моделирования стока с горных водосборов во многом зависят от качества входных данных и достоверности принимаемых значений параметров модели.

Созданная информационная база обобщенных параметров стокоформирующих комплексов (далее – СФК) с учетом данных о характеристиках почвенно-растительного покрова, собранных авторами в ходе многолетних экспедиционных работ на территории Алтае-Саянской горной страны была использована для моделирования. Целью представленной работы стала оценка стока с отдельных частей речных бассейнов среднегорий юга Сибири на основе математического моделирования стока.

В качестве модельных водосборов, характеризующих гидрологический режим рек Западного Саяна, были выбраны бассейны рек Амыл (левый приток р. Туба), Оя и Ус (правые притоки Енисея) в связи с наличием на этих водотоках не менее двух действующих гидрологических постов, что позволило рассмотреть отдельные части водосборов с точки зрения их вклада в формирование стока. Период моделирования для каждого водосбора определялся наличием данных наблюдений на метеорологических станциях и гидрологических постах.

Материалы и методы

В исследовании использовалась детерминированная модель процессов формирования стока «Гидрограф» с распределенными параметрами [1], которая показала свое успешное применение для бассейнов разной величины и расположения [2,3].

Выделение СФК в горных условиях сводится к дифференциации территории по величине уклона, составу подстилающих пород, степени дренированности, наличию почвенно-растительного покрова, типу растительных сообществ и характеристикам ярусам, наличию других водных объектов.

Обобщение порядка 300 полевых ландшафтных описаний позволило для каждого СФК уточнить диапазоны значений ряда параметров модели (например, максимальная / минимальная емкость перехвата осадков всеми ярусами растительности назначалась с учетом видового состава и проективного покрытия каждого яруса; параметры для каждого расчетного слоя почвы глубиной 0.1 м задавались в соответствии с полевыми описаниями почвенных разрезов и данными непосредственных измерений фильтрационной способности почв). Значения параметров в ходе моделирования не корректировались. Результаты моделирования оценивались путем сравнения критериев эффективности Нэша-Сатклиффа [4].

Результаты и обсуждение

В связи с малой эффективностью использования мелкомасштабных карт из-за высокой степени генерализации информации выделение СФК проводилось основе ландшафтной карты (М 1:500 000), составленной авторами.

Наличие значительного объема полевых описаний позволило для каждого СФК более корректно назначить значения параметров растительного и почвенного покровов, существенно сузить диапазон изменения многих параметров (в частности, коэффициента фильтрации), что заметно повысило сходимость рассчитанных и наблюдаемых значений расходов воды [5]. Среднее значение критерия эффективности Нэша-Сатклиффа для исследуемых бассейнов составило 0.74, максимальное – 0.91. Результаты моделирования позволяют с высокой степенью достоверности оценить сток с отдельных стокоформирующих комплексов водосбора за расчетный период и выполнить оценку их вклада в формирование стока в замыкающем створе.

Наибольшие объемы стока в исследуемом регионе характерны для преобладающих по площади лесопокрываемых территорий, при этом гидрологическая роль разных типов леса отличается. Водорегулирующая функция темнохвойных лесов на склонах проявляется в продолжительности периода водоотдачи с территории СФК (задержание атмосферной влаги в мощной моховой подстилке, низкое испарение под пологом, перевод влаги в почвенный сток и др.). Рассчитанные коэффициенты стока лиственных лесов на склонах (0.37-0.42) заметно ниже, чем темнохвойных, что соотносится с данными [6].

Наименьшие модули стока (8 л/с·км²) характерны для мелколиственно- хвойных лесов на равнинах в связи с незначительными уклонами, более высокой теплообеспеченностью низких гипсометрических уровней, и наличием обширных территорий с длительным застойным увлажнением.

В целом наибольшие коэффициенты и модули годового стока характерны для верхних частей водосборов с широким распространением выходов скальных пород, маломощным покровом поверхностных отложений с низкими фильтрационными свойствами, что приводит к быстрому стоку талых и дождевых вод в русла дренирующих водотоков. Коэффициент стока тундрово-луговых среднегорий, гольцовых комплексов вершин и среднекрутых склонов достигает 0.81. Сопоставление объемов стока с отдельных СФК выявило приоритетное значение в

формировании годового стока безлесных участков, занимающих второстепенное положение по площади.

Заключение

Высокая сходимости рассчитанных и наблюдаемых гидрографов суточных расходов воды позволила оценить среднемноголетние величины стока с различных стокоформирующих комплексов и рассчитать их вклад в формирование стока горных рек. Доминирующие в исследуемом регионе таежные комплексы обеспечивают основной объем стока. Темнохвойные и светлохвойные леса в основном переводят выпадающие осадки в почвенный и подземный сток, не формируя поверхностного стока. Результаты модельных расчетов продемонстрировали отличия таких гидрологических характеристик, как модуль и коэффициент стока для лесов, отличающихся по составу доминирующих пород, сомкнутости древостоя, характеру почвенного покрова, выраженностью и крутизной уклонов.

Оценка вклада отдельных частей речных бассейнов в сток в замыкающем створе показала, что в пересчете на единицу площади наибольшие модули и коэффициенты стока характерны для гольцовых и тундровых комплексов. Наиболее значимую долю в общий сток (до 60 %) вносят верхние части водосборов (как правило, выше 900 м), выполняя, таким образом, основную стокоформирующую роль.

Адекватность обобщенной базы параметров почвенно-растительного покрова для СФК водосборов горной части Западного Саяна (за счет уточнения диапазонов значений по данным полевых наблюдений) подтверждена хорошими результатами моделирования и, соответственно, может быть применена для моделирования стока с неизученных бассейнов, располагающихся в схожих условиях.

Литература

1. *Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А.* Математическое моделирование в гидрологии. Сер. Высшее профессиональное образование. Естественные науки М.: Издательский центр «Академия», 2010. 298 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018619084 «Комплексная программа распределенной гидрологической модели «Гидрограф»», правообладатель О.М. Макарьева, дата регистрации 30.07.2018.
3. *Shamseldin A.Y., O'Connor K.M.* A Non-Linear Neural Network Technique for Updating of River Flow Forecasts // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2001. V. 5. № 4. P. 577- 597.
4. *Nash J.E., Sutcliffe J.V.* River flow forecasting through conceptual models: A discussion of principles. 1970. V. 10. № 3. P. 282–290.
5. *Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Журавлев С.А., Осипова Т.Н., Амбурцева Н.И., Виноградова Т.А.* Оценка стока с малых горных водосборов методами гидрологического моделирования // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2017. № 1. С. 29-37...
6. *Гагаринова О.В.* Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // *География и природные ресурсы*. 2012. №3. С.55-60.

ЭЛЕМЕНТЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОЗЕРА БАЙКАЛ: АВАНДЕЛЬТА РЕКИ СЕЛЕНГА

С.А. Резников, Н.Б. Тезикова, О.В. Якунина, Р.А. Аджиев
ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, Россия

ELEMENTS OF AN INTEGRATED MONITORING OF LAKE BAIKAL: THE DELTA FRONT OF THE SELENGA RIVER

S. A. Reznikov, N. B. Tezikova, O. V. Yakunina, R. A. Adzhiev
"Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don, Russia

В работе приводятся результаты комплексного мониторинга авандельты реки Селенга, которые включают в себя данные по уровню загрязненности бенз(а)пиреном донных отложений в 2011 – 2018 гг. и макрозообентоса в 2011 г, 2014 г.

The paper presents the results of a comprehensive monitoring of the avandelta of the Selenga river, which include data on the level of contamination of benz(a)pyrene sediments in 2011 – 2018 and macrozoobenthos in 2011, 2014.

Река Селенга - трансграничный с Монголией водный объект и главный, первый по водности, приток Байкала несет в озеро около половины речного водного стока и является поставщиком основной массы веществ - минеральных, взвешенных, органических, биогенных, загрязняющих. Ее водный поток вбирает в себя большие объемы химических веществ, поступающих в реку, в том числе от хозяйственно-промышленных источников сброса на территориях сопредельных государств - Монголии и России.

Дельта р. Селенга представляет собой уникальное природное образование планетарной значимости – внесена в список водно-болотных угодий России, находящихся под юрисдикцией Международной Рамсарской Конвенции, и входит в Центральную охранную зону Байкала. Совершенствование и развитие системы мониторинга экологически опасных загрязняющих веществ, в том числе нефтепродуктов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в природных средах главного притока озера, является важнейшей задачей сохранения уникальной экосистемы Байкала – объекта Всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

Авандельта р. Селенга (Селенгинское мелководье) - один из участков Байкала, где Росгидромет регулярно осуществляет комплексный мониторинг водной среды и донных отложений.

Донные отложения Селенгинского мелководья – это интегральный показатель ландшафтно-геохимической обстановки на речном водосборном бассейне, отражающий результаты механической, физико-химической, гидрохимической и биогенной миграции веществ.

Полигон, исследуемый на Селенгинском мелководье, расположен в пределах от о. Карга-Бабыя (западная часть авандельты) до юго-восточной ее части - устья р. Селенга между протоками Кривая и Дологан. В литолого-геохимической трактовке, как часть авандельты,

данный полигон является маргинальным фильтром, местом смешения речной и озерной воды, способствуя снижению выноса химических, в том числе загрязняющих веществ в котловину озера.

Основной твердый сток р. Селенга аккумулируется в юго-западной части полигона. Результаты химико-аналитического анализа показали, что в барьерной зоне на глубинах в пределах 10-25 м отмечаются максимальные содержания бенз(а)пирена и далее концентрация арена уменьшается. Поэтому исходя из этого литолого-геохимического критерия в дальнейшем отбор проб донных отложений проводился в основном в пределах 25 - метровой изобаты и протокой Усть-Харауз [1]

По вещественному составу в донных отложениях Селенгинского мелководья выделяются основные литологические типы - мелкоалевритовые илы и реже глинистые илы, образующиеся в основном во впадинах донного рельефа. Указанные литотипы формируются под влиянием речного водного стока, вносящего значительные объемы терригенного взвешенного материала пелитовой фракции, последняя обладает способностью аккумулировать стойкие органические загрязнители.

Динамика выноса взвешенных веществ, нефтяных углеводородов (в составе нефтепродуктов) через замыкающий створ р. Селенга – с. Кабанск в 2011-2018 гг. представлена в Таблице 1.

Полученные результаты восьмилетних наблюдений за водностью р. Селенга позволяют отметить: в замыкающем створе реки годовые величины водного стока изменялись в пределах 15,4-31,0 км³.

В четырехлетние периоды значения среднего годового стока реки оказались достаточно близкими и соответствовали – 22,8 км³ (2011-2014 гг.) и 21,9 км³ (2015-2018 гг.).

Таблица 1. Величины поступлений (тыс. т) взвешенных веществ и нефтепродуктов с водным стоком р. Селенга в замыкающем створе с. Кабанск в 2011-2018 гг.

Показатели	Годы наблюдений							
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Водный сток, км ³	17,3	26,3	28,5	19,2	15,4	25,3	15,9	31,0
Взвешенные вещества, тыс. т	590	931	1250	953	151	260	132	159
Нефтяные углеводороды (НУ), тыс. т	0,39	0,32	0,58	0,45	0,30	0,61	0,60	1,21

При сравнении двух выделенных периодов, относительно стабильных по среднегодовой водности, следует отметить снижение величин выноса взвешенных веществ в интервалах от 590-1250 тыс. т (2011-2014 гг.) до 151-260 тыс. т (2015-2018 гг.), прежде всего обусловленное снижением уровня концентраций взвесей в речной воде.

Величины выноса нефтяных углеводородов (НУ) через замыкающий створ р. Селенга варьировали в широких пределах – от 0,30 тыс. т (2015 г.) до 1,21 тыс. т (2018 г.). Отмечено

повышение величин выноса в интервалах от 0,30-0,58 тыс. т (2011-2015 гг.) до 0,60-1,21 тыс. т (2016-2018 гг.). Средний годовой вынос НУ повысился в 2 раза - от 0,41 тыс. т (2011-2015 гг.) до 0,81 тыс. т (2016-2018 гг.). Значения годовых средневзвешенных концентраций повышались от уровня 12,2-23,4 мкг/л (2011-2015 гг.) до 24,1-39,0 мкг/л (2016-2018 гг.).

Динамика средневзвешенных концентраций взвешенных веществ и нефтяных углеводородов в замыкающем створе реки в 2011-2018 гг. представлена на Рисунке 1.



Рис. 1. Динамика средневзвешенных концентраций взвешенных веществ и нефтяных углеводородов в замыкающем створе р. Селенга – с. Кабанск в 2011 – 2018 гг.

По представленным результатам можно отметить, что в воде р. Селенга при снижении уровня концентраций взвешенных веществ прослеживается повышение содержания нефтяных углеводородов, с большой вероятностью обусловленное снижением интенсивности оседания последних на взвесьях.

Таким образом, повышенный вынос через замыкающий створ р. Селенга нефтяных углеводородов в 2016-2018 гг. в сравнении с 2011-2015 гг. имеет обратную связь с динамикой поступления взвешенных веществ в речное русло.

По результатам наблюдений 2011-2018 гг., представленным в таблице 2, в донных отложениях авандельты р. Селенга максимальные концентрации бенз(а)пирена были отмечены в годы пониженной водности и достигали следующих значений: 7,8 нг/г с.о. (2011 г.), 7,9 нг/г с.о. (2015 г.), 5,8 нг/г с.о. (2017 г.). Водный сток реки в указанные годы находился на отметках - 15,4-17,3 км³ (табл. 1).

В годы повышенной водности реки – 25,3 км³ (2016 г.) и 31,0 км³ (2018 г.) уровень максимальных концентраций бенз(а)пирена в донных отложениях авандельты был почти в 2 раза ниже, соответственно составляя 4,5 нг/г с.о. и 4,2 нг/г с.о. (табл. 2).

Следовательно, в годы пониженного водного стока реки почти до критической отметки (15,0 км³) наблюдается, по-видимому, связанное с замедленной (постепенной) доставкой взвешенных веществ, и более интенсивное накопление ПАУ/БП в донных отложениях авандельты. Годовой водный сток р. Селенга 25-31 км³, примерно двукратно превышающий минимальное значение, обеспечивает более динамичный транзит химических веществ, в том числе ПАУ/БП в котловину озера через авандельту.

Таблица 2. Среднее содержание бенз(а)пирена в донных отложениях авандельты р. Селенга в 2011-2018 гг., нг/г с.о. (числитель - предельные значения, знаменатель – среднее значение)

Полигоны	Годы наблюдений						
	2011 г.	2013г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Авандельта р.Селенга (весь полигон)	0,1-7,8 1,4	<u>0,2-1,7</u> 1,0	<u>0,0-3,0</u> 1,0	<u>0,1-7,9</u> 2,1	<u>0,5-4,5</u> 2,2	<u>0,3-5,8</u> 4,0	<u>0,6-4,2</u> 1,7
Авандельта р.Селенга (протока Усть-Харауз)	0,5-7,8 3,2	<u>0,8-1,7</u> 1,0	<u>0,8-3,1</u> 1,7	<u>1,2-7,9</u> 3,9	<u>2,4-4,5</u> 3,8	<u>3,3-5,8</u> 4,6	<u>0,6-4,2</u> 1,8

Ранее при химико-аналитическом анализе проб донных отложений авандельты по содержанию в них полиаренов ПАУ были сделаны ряд важных выводов. Так, концентрация бенз(а)пирена в пробах донных отложениях достигала максимума на глубинах 10-25 м, где были развиты мелкоалевритовые илы и далее мористее стала незначительно уменьшаться. [1].

ПАУ/БП и другие загрязняющие вещества мигрируют преимущественно в составе взвешенных веществ речного стока, более 80% которых осаждаются в дельте реки и также в озерной барьерной зоне - авандельте. Большое внимание в геохимическом мониторинге авандельты реки уделено исследованиям бенз(а)пирена, как суперэкоотоксиканта, относящегося к 1 классу опасности.

Оценка загрязненности донных отложений озера бенз(а)пиреном (БП) проводилась согласно разработанной в Институте химии АН Эстонии шкале единственной в своем роде сравнительной оценки загрязненности донных отложений внутриконтинентальных водоемов бенз(а)пиреном разработанной с учетом литологического типа донных отложений :его фоновая концентрация для песков не должна превышать 2 мкг/кг с.о., для глинистых илов – 5 мкг/кг с.о.; умеренная концентрация - 2 - 5 и 5-30 мкг/кг с.о., соответственно; на сильно загрязненных участках – соответственно, более 5 и более 30 мкг/кг с.о.[2].

Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях полигона в районе авандельты р.Селенга. В 2017 г. в донных отложениях на авандельте р.Селенга было отобрано 12 проб (из них 6 проб в районе речных выносов основной протокой Усть-Харауз) по той же сетке наблюдений, как и в предыдущие годы. (табл. 2). Среднее содержание БП в донных отложениях всего полигона в 2018 г. по сравнению с 2017 г значительно изменилось как на основном полигоне, так и в зоне выносов протокой Усть-Харауз, уменьшилось более чем в 2 раза. Проведенные исследования в 1989 г. и 2011 г., показали, что в пробах донных отложений русла р. Селенга концентрация бенз(а)пирена варьировала в пределах от 0,5 до 3,0 нг/г с.о.[3]. Все отобранные пробы донных отложений за анализируемые годы литологически можно отнести к мелкоалевритовым илам.

В содержаниях БП в донных отложениях в 2018 г в районе речных выносов протокой Усть-Харауз по сравнению с 2017 г отмечено снижение содержаниях арена от 4,6 нг/г с.о. до 1,8 нг/г с.о. Также прослежено. снижение содержание БП в 2018 г. по сравнению с 2017 г. в донных

отложениях на самом полигоне в 2,3 раза с 4,0 нг/г с.о. до 1,7 нг/г с.о. Исходя из вышесказанного уровень загрязненности донных отложений БП на авандельте р. Селенга в 2018 г., так же, как и в 2017 г. можно отнести к фоновому (< 5,0 нг/г с.о.) .

В 2011 г. и 2014 г. на авандельте реки было отобрано по 5 проб донных отложений и соответственно макрозообентоса на относительно идентичных станциях отбора проб. Главным выводом комплексных экологических проблем озера является качественное состояние гидробионтов. В пробах макрозообентоса авандельты обнаружены следующие доминирующие группы беспозвоночных олигохеты, амфиподы, единично хирономиды, двустворчатые моллюски. Максимальные содержания бенз(а)пирена в последних было отмечено непосредственно на центральном речном выносе протокой Усть-Харауз (0,10-0,13нг/г с.о., среднее 0,06 нг/г с.о.). По результатам исследований на авандельте реки, а также на двух других полигонах, корреляция между концентрациями бенз(а)пирена в макрозообентосе и донных отложениях полигона отсутствует [4].

Согласно проведенным исследованиям концентрацию бенз(а)пирена в донных отложениях авандельты можно отнести к фоновым значениям. Зона смешения речных и озерных вод является мощным естественным геохимическим барьером (фильтром) для взвешенных веществ, несущих в себе основной набор загрязняющих веществ поступающих в дельту с водным стоком р. Селенга. Основное концентрирование бенз(а)пирена в донных отложениях и макрозообентосе приурочено к основной речной протоке Усть-Харауз.

Литература

1. Резников С.А., Аджиев Р.А. Стойкие органические загрязнители в донных отложениях на авандельте р. Селенга. Вода:химия и Экология. №9.2015 с.41-48.
2. Трапидо М.А. Распределение канцерогенных ПАУ и мониторинг водной среды (на примере водоемов Прибалтийского региона) Автореф. дис. канд. биол. наук. Л.1985. - 20 с.
3. Никаноров А.М., Резников С.А., Матвеев А.А., Аракелян В.С. Мониторинг полициклических ароматических углеводородов в районах сильно антропогенного воздействия. Метеорология и гидрология. 2012, №7, с.66-76..
4. Резников С.А., Якунина О.В., Матвеев А.А., Лукьянова Н.Н., Богущ И.В., Аджиев Р.А. Динамика накопления полициклических ароматических углеводородов в донных биоценозах озера Байкал по результатам биогеохимического мониторинга. Метеорология и гидрология. 2018, №5, с.80-90.

УСТЬЕВАЯ ЭКОСИСТЕМА РЕКИ ЛЕНЫ: МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СОСТОЯНИЯ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ*

Решетняк О.С.^{1,2}

¹)ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета, г. Ростов-на-Дону, Россия

²)Институт наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия

LENA RIVER MOUTH AREA: LONG-TERM TRENDS IN WATER QUALITY AND CONDITION OF HYDROBIOCENOSSES *

Reshetnyak O.S.

¹) FSBI «Hydrochemical Institute» Roshydromet, Rostov-on-Don, Russia

²) Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Аннотация. Представлены тенденции изменчивости качества воды и состояния гидробиоценозов устьевой экосистемы реки Лена. Водная среда характеризуется как «загрязненная и очень загрязненная» по гидрохимическим показателям и «умеренно загрязненная» – по состоянию биоты.

Abstract. The trends of water quality variability and the state of hydrobiocenosis of the estuary ecosystem of the Lena River are presented. The aquatic environment is characterized as “polluted and very polluted” by hydrochemical indicators and “moderately polluted” - by the state of biota.

Введение. Устьевая область р. Лены подвержена влиянию внешнего природного и антропогенного воздействия, в том числе за счет поступления загрязняющих веществ с речным стоком. Река собирает растворенные и взвешенные вещества с огромной водосборной территории и несет их к устью. Речной приток является одним из определяющих факторов изменчивости гидрохимического режима устьевой области, а огромная, хорошо развитая дельта реки Лены является мощным аккумулятором различных химических веществ, в том числе загрязняющих. В устьевой зоне происходит осаждение большого количества взвешенных и влекаемых частиц и, следовательно, всех тех веществ, которые транспортировались по реке вместе с ними. В результате смешения речных и морских вод происходит переход различных химических веществ из растворенного состояния во взвешенное и наоборот [1].

Внешнее антропогенное воздействие на водосборе реки довольно значительно по характеру и длительности. Основными источниками загрязняющих веществ, поступающих в устьевую область р. Лены, являются: перенос загрязняющих веществ в пылевой фазе атмосферными потоками, включая их дальний трансграничный перенос; перенос веществ-загрязнителей морскими течениями; доставка в устьевую область загрязняющих веществ из бассейна Лены речным стоком; деятельность транспорта и эксплуатация инженерных сооружений. Сформировавшийся характер загрязненности устьевой области р. Лены носит комбинированный характер. Происходит наложение промышленного, бытового и нефтяного загрязнений, что оказывает заметное влияние на пространственно-временную изменчивость компонентного состава и качества воды [1].

Ранее было показано, что химический состав воды рек арктического региона в условиях длительного антропогенного воздействия претерпевает определенную трансформацию. Это, в свою очередь, приводит к нарушению экологического состояния речных экосистем вследствие повышения степени загрязнения водной среды и усиления внутрисистемных процессов экологического регресса, при которых увеличивается потенциальная возможность снижения развития отдельных сообществ водных организмов [3-6]. Изменчивость химического состава и качества воды арктических рек зависят от различных факторов (специфических региональных фоновых геохимических, климатических, хозяйственных и других характеристик), что обуславливает актуальность изучения изменчивости качества водной среды и состояния биоты рек в современных условиях антропогенного воздействия и климатических вариаций.

Целью исследования является выявление основных тенденций изменчивости качества речных вод и характеристика состояния сообществ водных организмов в устьевой области реки Лена в сложившихся условиях антропогенного воздействия.

В качестве исходных данных использована многолетняя (1985-2017 гг.) гидрохимическая и гидробиологическая информация государственной системы наблюдений (ГСН) Росгидромета на различных участках устьевой области реки Лена: у с. Кюсюр – замыкающий створ и п.ст. Хабаровова – вершина дельты. Выполнен анализ данных о качестве воды и о состоянии планктонных и бентосных сообществ устьевой экосистемы.

Временная изменчивость качества воды в устьевой области реки Лена представлена в таблице 1. За многолетний период качество воды чаще всего соответствует 3-му классу качества («загрязненная и очень загрязненная») с тенденцией улучшения. Лишь в отдельные годы на замыкающем створе реки качество ухудшалось до 4-го класса разряд «А, Б» («грязная»), а начиная с 2002 г. класс качества воды в устье практически не меняется и вода по степени загрязненности характеризуется как «загрязненная» или «очень загрязненная».

Таблица 1. Многолетняя изменчивость качества воды в устьевой области реки Лена

Пункт наблюдений	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
с. Кюсюр	ЗБ	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗБ	ЗБ	4Б	ЗБ	4А
п. ст. Хабаровова	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗА	ЗБ
Пункт наблюдений	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
с. Кюсюр	ЗБ	ЗБ	ЗБ	4А	4А	4А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗА
п. ст. Хабаровова	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗА	ЗА
Пункт наблюдений	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
с. Кюсюр	ЗБ	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗБ	ЗБ
п. ст. Хабаровова	ЗБ	ЗА	ЗА	ЗБ	ЗБ	ЗА	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
Примечания: Цветовое обозначение ККВ и степени загрязненности воды:											
	3-й ККВ («А» и «Б») – загрязненная и очень загрязненная										
	4-й ККВ (разряды «А» и «Б») – грязная										
	4-й ККВ (разряды «В» и «Г») – очень грязная										

Состояние планктонных сообществ. Большинство видов фитопланктона в устьевой области Лены относится к пресноводному комплексу, что объясняется мощным воздействием стока реки в течение всего года. Морские виды обнаруживаются в периоды осенних нагонов, когда при ослаблении речного стока в дельте могут появиться виды, доставленные сюда придонным компенсационным течением из открытого моря. В составе фитопланктона обнаружено более 100 видов водорослей, из них диатомовых около 60 видов, зеленых – 20, синезеленых – 15, жгутиковых – 6 видов [7, 8].

Характерной особенностью структурной организации фитопланктона дельты р. Лены является полное отсутствие в дельтовых рукавах морских или солоноватых форм [7, 8]. Даже в бухте Тикси, за морским краем дельты планктон имеет 75 % пресноводных, 15 % солоноватых и 10 % морских видов. В составе фитопланктона наиболее часто встречаются: *Aphanizomenon flos-aqua*, *Asterionella gracilima*, виды рода *Anabaena* и *Melosira* (*M. islandica*, *M. granulata*). В дельте наиболее массовыми являются такие пресноводные виды как *Melosira granulata*, *Asterionella formosa*, *Diatoma elongatum*.

Многолетние гидробиологические наблюдения на замыкающем створе реки у с.Кюсюр и в Быковской протоке у п.ст. Хабаровова показали, что по акватории устьевой области уровень развития фитопланктонного сообщества довольно неоднороден. Диапазоны колебания общей численности фитопланктона значительно различаются на участках реки у с. Кюсюр (н.о.- 3,0 тыс. кл/мл) и в Быковской протоке (н.о.-21,0 тыс. кл/мл). Однако значения внутри модальных интервалов более однородны и варьируют в пределах 0,05 – 1,80 тыс. кл/мл у с. Кюсюр и 0,05 – 1,30 тыс. кл/мл в Быковской протоке. Во временной динамике уровень развития фитопланктона снижается и, начиная с 90-х гг., максимальные значения численности этого сообщества не

превышали 2,37 тыс. кл/мл у с. Кюсюр и 1,42 тыс. кл/мл в протоке Быковская [8]. Структура фитопланктонного сообщества в период его максимального развития (в августе) представлена в основном диатомовыми водорослями родов *Melosira*, *Asterionella*.

Состояние бентосных сообществ. В протоках дельты реки Лена формирование бентосных сообществ обусловлено особенностями осадконакопления и скоростями течения водного потока. Накопление в грунтах органических веществ, мерзлотный режим берегов и дна также оказывают воздействие на распределение донных биоценозов. Наиболее сильно заселены мелкие протоки, устья ручьёв и мелких речек, а главное русло отличается крайней бедностью донной фауны [7].

В пункте наблюдений у п.ст. Хабарова плотность поселения бентоса колеблется в течение года от 40 до 520 экз/м², чаще всего в составе донной фауны встречаются личинки и куколки насекомых – поденок, веснянок, ручейников, хирономид и мошек [7]. В отдельные годы численность сообщества возрастала до значений 840 экз/м², при этом доминирующими в составе бентоса группами являлись веснянки в 1990 г. и моллюски в 1992 г. [8]. Для участка основного русла реки в районе замыкающего створа у с. Кюсюр отмечалась аналогичная ситуация.

Динамика развития сообщества в последние годы представлена на рисунке 1. Четких закономерностей в развитии бентосных организмов не выявлено. Плотность поселения бентоса за период с 2005 по 2016 год изменялась от 40 экз./м² до 800 экз./м² в районе с. Кюсюр и до 680 экз./м² в вершине дельты (п.ст. Хабарова). Доминирующими группами в составе донной фауны остаются поденки, веснянки, ручейники и хирономиды, однако в отдельные годы возрастает роль олигохет. Относительная численность олигохет в составе бентоса является одним из важных показателей качества воды и состояния водной экосистемы. Так, например, в последние годы на участке у п.ст. Хабарова в пробах бентоса доминирование олигохет отмечалось в 30 % случаях, что может говорить об усилении локального загрязнения экосистемы [9].

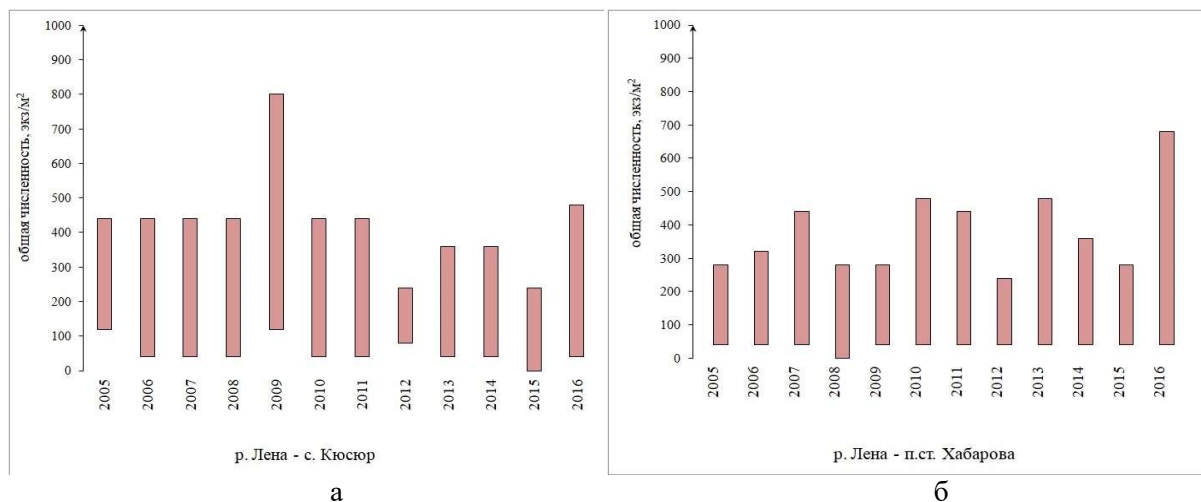


Рисунок 1 – Динамика значений общей численности макрозообентоса устьевой области реки Лена у с. Кюсюр (а) и п.ст. Хабарова (б) [9]

На фоне одинаковых общих диапазонов колебания численности макрозообентоса у с. Кюсюр и п.ст. Хабарова эти участки отличаются заметной межгодовой изменчивостью уровня его развития. Усиление развития сообщества обусловлено на замыкающем створе ростом популяций олигохет, хирономид и веснянок, а в вершине дельты – моллюсков, хирономид, типулид и веснянок. По развитию группы олигохет в составе макрозообентоса степень загрязненности водной среды устьевой экосистемы Лены можно оценить как «умеренно загрязненная» [9].

Заключение. В современных условиях антропогенного воздействия качество воды устьевой экосистемы Лены изменялось за многолетний период от 4-го разряд «А, Б» («грязная») до 3-го («загрязненная и очень загрязненная») класса качества с тенденцией улучшения. Начиная с 2002 г. качество воды практически не меняется и варьирует в пределах 3-го класса.

Структурная организация и состояние фитопланктона и зообентоса устьевой области р. Лены во многом зависит от сложившегося комплекса гидрологических и гидрохимических особенностей. Значительная величина ассимиляционной емкости гидросистемы дельты позволяет говорить о достаточно медленных темпах загрязнения вод и донных осадков, за счет еще достаточной самоочищающей способности реки. В обозримом будущем продолжающееся антропогенное воздействие и, особенно, нефтяное загрязнение, может оказаться губительным для сообществ водных организмов.

Развитие фитопланктонных сообществ в устьевой области реки Лена неоднородно, и в периоды максимального его развития доминируют диатомовые водоросли. В целом зообентос устьевой экосистемы достаточно беден. В последние годы состав доминирующего комплекса сообщества представлен хирономидами, реже поденками, веснянками и олигохетами. Отмечается тенденция усиления роли олигохет в составе донной фауны, что может быть связано со снижением качества среды их обитания.

Полученные результаты имеют большую практическую значимость и приобретают особую актуальность для оценки последствий хозяйственной деятельности на арктических водосборах, совершенствования системы наблюдений в регионе и разработки комплекса природоохранных мероприятий для уязвимых устьевых экосистем, а также в дальнейшем могут быть использованы при решении одной из пяти приоритетных экологических задач в исследованиях арктического пространства – снижение загрязнения окружающей среды и улучшение качества поверхностных вод Российской Арктики.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.*

Литература:

- 1 Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация компонентного состава водной среды устьевой области р. Лены // Водные ресурсы, 2011. Том 38, № 2. – С. 181-192.
- 2 Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация структурной организации гидробиоценоза устьевой области р. Лены // Водные ресурсы, 2011. Том 38, № 3. – С. 306-314.
- 3 Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть I. Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология). – Ростов-на-Дону: Издательство «НОК», 2009. – 200 с.
- 4 Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. - Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2007. – 280 с.
- 5 Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Решетняк О.С. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций. – Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2012. – 310 с.
- 6 Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Решетняк О.С. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России // Вода: химия и экология, № 12. 2013. С.15-21.
- 7 Гуков А.Ю. Гидробиология устьевой области реки Лены. М.: Научный мир, 2001. 288 с.
- 8 Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация структурной организации гидробиоценоза устьевой области р. Лена // Водные ресурсы, Том 38, № 3, 2011. С. 306-311.
- 9 Решетняк В.Н. Решетняк О.С. Состояние донных биоценозов устьевой области реки Лена // Биомониторинг в Арктике: сборник тезисов докладов участников международной конференции (26-27 ноября 2018 года) / отв. Ред. Т.Ю. Сорокина; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2018. – С. 103-105.

РЕКИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ КАЧЕСТВА И СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ ВОД*

Решетняк О.С.^{1,2}, Косменко Л.С.¹, Даниленко А.О.¹, Кондакова М.Ю.¹, Решетняк В.Н.², Коваленко А.А.^{1,2}

¹)ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета, г. Ростов-на-Дону, Россия

²)Институт наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия

RIVERS OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: LONG-TERM TRENDS OF QUALITY AND DEGREE OF RIVER WATERS POLLUTION *

Reshetnyak O.S.^{1,2}, Kosmenko L.S.¹, Danilenko A.O.¹, Kondakova M.Yu.¹, Reshetnyak V.N.², Kovalenko A.A.^{1,2}

¹) FSBI «Hydrochemical Institute» Roshydromet, Rostov-on-Don, Russia

²) Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Аннотация. Представлены тенденции изменчивости качества воды крупных рек Арктического региона. Качество воды рек меняется от 3-го («загрязненная и очень загрязненная») до 5-го классов («экстремально грязная»). В динамике выявлены разнонаправленные тенденции изменения качества воды и степени её загрязненности.

Abstract. The trends of water quality variability of large rivers of the Arctic region are presented. River water quality varies from 3rd (“polluted and very polluted”) to 5th grade (“extremely dirty”). The dynamics revealed multidirectional trends in water quality and the degree of its pollution.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗ РФ) характеризуется значительной протяженностью с запада на восток, что проявляется в неоднородности различных физико-географических характеристик на водосборах рек. На фоне пространственной изменчивости химического состава воды рек различных арктических секторов не меньший интерес представляет изучение многолетних тенденций содержания в них химических веществ.

Как известно, на формирование химического состава и качества речных вод влияют две большие группы факторов – природные и антропогенные, соотношение которых постепенно меняется. Если несколько десятилетий назад основной вклад составляли природные процессы (выветривание, климатические условия на водосборе, испарение, миграция и др.), то в последнее время антропогенный фактор становится всё более значимым и для отдельных речных водосборов превосходит природные геохимические и биологические процессы

Результаты наших многолетних исследований химического состава воды рек на территории Российской Арктики, показали, что в условиях длительного воздействия на речные экосистемы отмечается антропогенная трансформация их экологического состояния вследствие повышения степени загрязненности водной среды и усиления внутрисистемных процессов экологического регресса, при котором увеличивается потенциальная возможность угнетения развития отдельных сообществ водных организмов, а возможно и их гибели [1-3]. Учитывая, что допустимое содержание в водной среде загрязняющих веществ и их влияние на состояние арктических рек зависят от специфических региональных фоновых геохимических, климатических, хозяйственных и других характеристик, вполне обоснована необходимость изучения изменчивости качества водной среды рек в современных условиях антропогенного воздействия и климатических вариаций.

Цель исследования – оценить степень загрязненности воды и выявить основные тенденции изменчивости качества речных вод Арктического региона.

Исходные данные – многолетняя гидрохимическая информация (1980-2017 гг.) государственной системы наблюдений Росгидромета. Объекты исследования – реки или их участки в пределах арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ). Реки рассмотрены в пределах трех частей арктического побережья: Европейской (рр. Поной, Печора, Уса, Колва Адзъва, Сула), Западно-Сибирской (рр. Обь, Полуй, Енисей, Таз, Надым, пур) и Восточно-

Сибирской частей Арктики (рр. Лена, Анабар, Оленёк, Яна, Сартанг, Бытантай, Алазея, Колыма и Индигирка).

Исследуемые реки испытывают разную по характеру и интенсивности антропогенную нагрузку в силу специфики хозяйственной деятельности на водосборах рек АЗРФ. Это, в свою очередь, предопределяет различия в степени загрязненности речных экосистем.

Для рек Европейской части АЗ, особенно, для рек Кольского полуострова, основу промышленности составляют предприятия горнодобывающей, перерабатывающей, металлургической отраслей и основными загрязнителями являются минеральные тонкодисперсные частицы, металлы, соединения серы, флотореагенты [1]. Для рек бассейна Печоры основными источниками техногенного воздействия являются горнодобывающие производства (добыча нефти и угля), нефтепереработка, молевой сплав древесины, аварии на трубопроводах и избыточная химизация сельского хозяйства [4]. В Западно-Сибирской части Арктики специфика загрязнения поверхностных вод определяется в основном предприятиями топливно-энергетического и нефтегазового комплекса (добыча и транспортировка газа и нефти). Значительную долю в загрязнение речных вод вносят судоходство, неорганизованные сбросы сточных вод, лесопромышленная деятельность [2, 5]. Наименее подвержены техногенному воздействию реки Восточно-Сибирской части АЗ РФ. Здесь основными источниками загрязнения являются судоходство, предприятия горнодобывающей промышленности (добыча алмазов, золота, руды угля) и хозяйственно-бытовые стоки населенных пунктов.

Характеристика качества воды и выявление тенденций изменения степени загрязненности арктических рек проведены на основе многолетних данных. Комплексная оценка качества речных вод арктической зоны РФ за многолетний период выполнена с использованием интегрального показателя – удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) [6]. Определенным интервалам значений УКИЗВ соответствует определенный класс качества воды (ККВ). При этом степень загрязненности воды может меняться от «условно чистой» (1-й класс качества) до «грязной» (4-й класс) и «экстремально грязной» (5-й класс).

Качество воды рек Европейской части АЗРФ меняется за исследуемый период в границах 3-го («загрязненная и очень загрязненная» вода) и 4-го («грязная и очень грязная» вода) классов качества, Западно-Сибирской части – 4-го и 5-го классов качества («грязная и очень грязная» и «экстремально грязная» вода, соответственно), а в Восточно-Сибирской части – варьирует, в основном, в градации 3-го класса качества.

В динамике можно отметить следующие основные тенденции изменения качества воды и степени её загрязненности.

1. Улучшение качества воды от «грязной» к «очень загрязненной» и «загрязненной» характерно для участков рек Адзья (д. Харута), Колва (с. Хорей-Вер), Уса (с. Усть-Уса), Енисей (выше и ниже г. Дудинка), Алазея (п. Андрюшкино), Индигирка (п. Чокурдах), Колыма (с. Колымское) и Оленек (п.ст. Тюмети); от «грязной» и «загрязненной» к «слабо загрязненной» – для участка реки Уса (ст. Сейда).

2. Ухудшение качества воды от «очень загрязненной» к «грязной» наблюдается для участков рек Печора (выше г. Нарьян-Мар, д. Оксина) и Сула (д. Коткино).

3. Стабилизация качества воды на уровне:

- «загрязненная» и «очень загрязненная» (3-й класс качества воды) отмечено на участках рек Печора (ниже г. Нарьян-Мар), Поной (с. Краснощелье), Анабар (с. Саскылах), Бытантай (с. Асар), Колыма (выше и ниже г. Среднеколымск, п. Черский), Лена (с. Кюсюр и п. ст. Хабарова), Оленек (п. Таймылыр), Сартанг (с. Бала) и Яна (выше п. Багатай);

- «грязная» и «очень грязная» (4-й класс качества воды) – на участках рек Енисей (ниже г. Игарка), Надым (г. Надым), Ныда (п. Ныда), Обь (п. Горки, с. Полноват), Таз (п. Красноселькуп, пгт Тазовский), Яна (ниже п. Багатай, п. ст. Юбилейная);

Наиболее загрязненные участки рек, степень загрязненности которых менялась от «грязной» в 80-х годах до «очень грязной» и «экстремально грязной» в период с середины 90-х до середины 2000-х и последующим незначительным улучшением ситуации после 2010 года, когда степень загрязненности вновь стала характеризоваться как «грязная», расположены в Западно-Сибирской части АЗРФ. Это участки рек Обь и Полуй в районе г. Салехард, р. Пур (п. Самбург и пгт Уренгой).

Для подтверждения выявленных временных тенденций изменения качества воды рек АЗ

РФ проведен корреляционный анализ значений УКИЗВ за многолетний период. Анализ корреляционной зависимости значения УКИЗВ показал, что для большинства исследуемых речных экосистем АЗРФ характерна тенденция снижения во времени значений УКИЗВ (то есть тренд улучшения качества воды).

Выявленная корреляционная связь показывает лишь тенденцию изменения (тренд). Для количественной оценки трендов временной изменчивости значений УКИЗВ арктических рек был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Кендалла, характеризующий меру линейной связи между годом и значением УКИЗВ для конкретного участка реки (использован ППП Statistica 13.3). Статистическая значимость убывающего тренда была подтверждена менее, чем для половины исследуемых объектов (таблица 1). Анализ выполнен для 34-х участков на 21 крупной реке Арктического региона (длина рек более 300 км). Всего выявлено 16 статистически значимых убывающих тенденции, что составило 47 % случаев и соответственно более, чем для половины исследуемых участков качество воды стабильно и значительно не меняется.

Таблица 1. Значения коэффициента корреляции Кендалла для крупных рек АЗ РФ (при $p < 0,05$; для трендов временной изменчивости значений УКИЗВ)

№ п/п	Река, пункт наблюдений	Коэффициент Кендалла	№ п/п	Река, пункт наблюдений	Коэффициент Кендалла
Европейская часть АЗ РФ					
1	р. Поной, с. Краснощелье	-0,33	18	р. Пур, пгт Уренгой	-0,01
2	р. Печора, г. Нарьян-Мар, выше города	0,18	19	р. Пур, п. Самбург	-0,23
3	р. Печора, г. Нарьян-Мар, ниже города	0,24	Восточно-Сибирская часть АЗРФ		
4	р. Уса, ст. Сейда	-0,55	20	р. Лена, с. Кюсюр	-0,16
5	р. Уса, с. Усть-Уса	-0,31	21	р. Лена, п.ст. Хабарова	-0,13
6	р. Адзья, д. Харута	-0,34	22	р. Анабар, с. Саскылах	-0,26
7	р. Колва, с. Хорей-Вер	-0,47	23	р. Оленек, п.ст. Тюмети	-0,38
8	р. Сула, д. Коткина	-0,12	24	р. Яна, выше п. Батагай	-0,31
Западно-Сибирская часть АЗ РФ			25	р. Яна, ниже п. Батагай	-0,01
9	р. Обь, п. Горки	0,20	26	р. Яна, п.ст. Юбилейная	-0,14
10	р. Обь, г. Салехард к западу от города	-0,23	27	р. Сартанг, с. Бала	-0,24
11	р. Обь, г. Салехард, ниже города	-0,21	28	р. Бытангай, с. Асар	-0,24
12	р. Полуй, г. Салехард	-0,15	29	р. Индигирка, п. Чокурдах	-0,28
13	р. Енисей, г. Игарка	-0,36	30	р. Алазея, п. Андрюшкино	-0,63
14	р. Енисей, г. Дудинка	-0,32	31	р. Колыма, выше г. Среднеколымск	-0,28
15	р. Таз, п. Красноселькуп	-0,03	32	р. Колыма, ниже г. Среднеколымск	-0,19
16	р. Таз, пгт Тазовский	0,01	33	р. Колыма, с. Колымское	-0,19
17	р. Надым, г. Надым	-0,01	34	р. Колыма, п. Черский	-0,34
Примечание: статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p < 0,05$ и выше выделены цветом: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, без цвета – отсутствие тенденции.					

Наибольшая доля речных участков, для которых выявлен статистически значимый убывающий тренд значений УКИЗВ, приурочена к Европейской и Восточно-Сибирской части АЗ РФ (62,5 и 60 % речных участков). В Западно-Сибирской части арктической зоны тенденция улучшения качества воды характерна только для нижнего течения реки Енисей.

Таким образом, качество воды рек Европейской части АЗ РФ меняется в пределах 3-го («загрязненная и очень загрязненная» вода) и 4-го классов качества («грязная и очень грязная» вода), Западно-Сибирской части – 4-го и 5-го классов («грязная и очень грязная» и «экстремально грязная» вода, соответственно), а в Восточно-Сибирской части – варьирует, в основном, в градации 3-го класса качества. В динамике разнонаправленные тенденции изменения качества воды и степени её загрязненности: улучшение качества воды от «грязной» к «очень загрязненной и загрязненной» и от «грязной» и «загрязненной» к «слабо загрязненной» – для части водных объектов; стабилизация качества воды на уровне 3-го или 4-го классов качества воды – для половины исследуемых участков рек; ухудшения качества воды – в единичных случаях. Наиболее загрязненные участки рек расположены в Западно-Сибирской части Арктики (реки Обь, Полуй, Пур). Анализ корреляционной зависимости значения УКИЗВ показал, что для большинства исследуемых рек АЗ РФ характерна тенденция снижения во времени значений УКИЗВ. Наибольшая доля речных участков, для которых выявлен статистически значимый убывающий тренд значений УКИЗВ, приурочена к Европейской и Восточно-Сибирской части АЗ РФ.

Результаты данного исследования могут стать основой для оценки последствий хозяйственной деятельности на арктических водосборах, совершенствования системы наблюдений в регионе и разработке комплекса природоохранных мероприятий для уязвимых водных объектов АЗРФ, а также в дальнейшем могут быть использованы при решении одной из пяти приоритетных экологических проблем Арктики – проблемы загрязнения окружающей среды и ухудшения качества поверхностных и подземных вод Российской Арктики.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.*

Литература:

1. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть I. Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология). – Ростов-на-Дону: Издательство «НОК», 2009. – 200с.
2. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. - Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2007. – 280с.
3. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Решетняк О.С. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций. – Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2012. – 310с.
4. Брызгалов В.А., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Изменчивость экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине р. Печора // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия «Естественные науки», № 3, 2015. С. 5-14.
5. Решетняк О.С., Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Косменко Л.С., Минина Л.И. Пространственно-временная изменчивость степени загрязненности воды и состояния речных экосистем различных широтных зон Сибири // Вода: химия и экология, 2019. № 1. С. 126-137.
6. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 49 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СНИМКОВ СПУТНИКА LANDSAT 8 ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Н.А. Решин¹, А.Р. Баранова¹, С.А. Нагибина², Л.А. Тимофеева¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им Л.С. Берга), Санкт-Петербург, Россия

APPLICATION OF LANDSAT 8 SATELLITE IMAGES FOR EVALUATING WATER QUALITY CHARACTERISTICS OF LADOGA LAKE

N. Reshin¹, A. Baranova¹, S. Kagukina², L. Timofeeva¹

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

²Federal State Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» («GosNIORH»), St. Petersburg, Russia

Представлены результаты оценки прозрачности воды Ладожского озера по снимкам спутника Landsat-8 с использованием формул, включающих отношения яркостей различных каналов.

The paper presents the results of assessing the transparency of Lake Ladoga with the use of Landsat-8 images using formulas including brightness ratios of different channels.

Введение

Ладожское озеро – крупнейшее пресноводное озеро Европы, безальтернативный источник водоснабжения Санкт-Петербурга и ряда городов и населенных пунктов Ленинградской области и Республики Карелия. В связи с важностью водных ресурсов озера осуществляется мониторинг показателей их качества: химический состав, температура воды, мутность, содержание хлорофилла «а», прозрачность и др. (рис. 1, [1]).

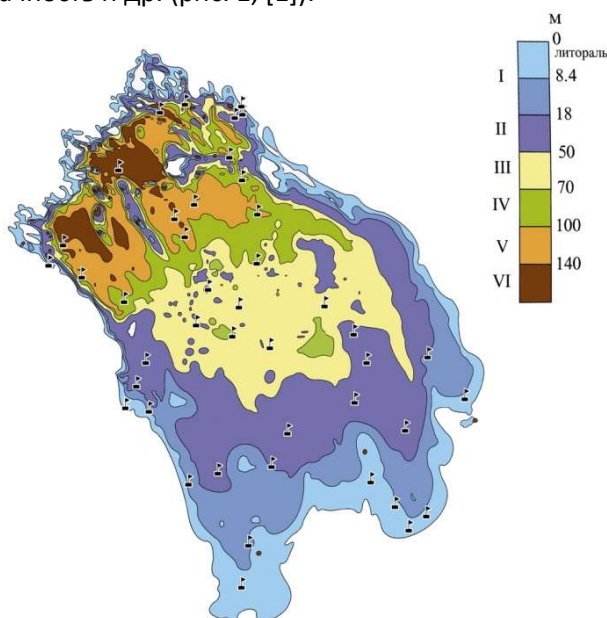


Рис. 1. Ладожское озеро и некоторые станции экспедиций

Прозрачность воды – важный показатель её качества. Традиционно прозрачность определяется с помощью диска Секки. Однако инструментальный мониторинг не позволяет получить представление о мгновенном состоянии всей акватории Ладоги. Кроме того, такой мониторинг – экономически затратный процесс. Преодолеть эти недостатки можно, используя спутниковые данные. Наиболее актуальными являются мультиспектральные снимки. Одним из

факторов прозрачности воды является концентрация живой взвеси, которую можно оценивать по концентрации хлорофилла «а» – показателя состояния фитопланктона. Оценив отношение яркостей нескольких спектральных диапазонов, с помощью специального программного обеспечения можно восстановить значения параметров воды.

Материалы и методы

В исследовании использованы мультиспектральные снимки спутника Landsat-8 (OLI), действующего с 2013 г. Выбор обусловлен оптимальным сочетанием пространственного разрешения снимков и временной дискретности съемки, кроме того, они находятся в свободном доступе.

Из базы данных USGS были отобраны сцены с минимальной облачностью. Затем в ArcGIS скомпонованы сцены, охватывающие всю акваторию озера на даты, наиболее близкие к периоду экспедиций Института озероведения РАН и Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга).

Для восстановления значений прозрачности были использованы две сцены, полученные на 21 июля 2017 г. Прозрачность воды измерена с помощью диска Секки на 43 станциях в период с 27 июля по 04 августа 2017 г. Значения концентрации хлорофилла «а» восстанавливались по снимкам на 27 июля 2016 г. и 23 сентября 2017 г. Экспедиционные измерения концентрации хлорофилла «а» проводились 26-29 июля 2016 г. и 2-7 сентября 2017 г. на 25 станциях. Однако в дальнейшем было выявлено, что снимки за 2016 г. имеют низкую степень надежности из-за наличия высокой облачности, искажающей сигнал, отраженный от водной поверхности.

Для восстановления значений прозрачности воды и концентрации хлорофилла использовались 2, 3, 4 и 5 спектральные каналы спутника Landsat-8 – оценивались значения яркости пикселей в спектральных диапазонах. Далее в тексте каналы обозначаются как B2, B3, B4 и B5. Такой подход успешно применяется для восстановления некоторых показателей качества вод озёр и водохранилищ [2, 3, 4].

Для восстановления значений прозрачности был получен ряд зависимостей, включающих отношения яркостей различных каналов. Самые хорошие результаты получены с помощью формулы (1): $R=0,71$, средняя погрешность 15,7%, минимальная погрешность 0,1%, максимальная – 50,4%. Для увеличения диапазона обрабатываемых значений был использован натуральный логарифм прозрачности по диску Секки ($\ln DC$).

$$\ln DC = 10,6 \times (B3/B4) + 2,6 \times 10^{-3} \times B4 + 7,3 \times 10^{-4} \times B2 - 0,84 \quad (1)$$

По значениям, полученным по этой зависимости, была построена карта пространственного распределения прозрачности воды Ладожского озера (рис. 2). Восстановленные значения, в целом, хорошо соответствуют многолетнему пространственно-временному распределению прозрачности [1, 5].

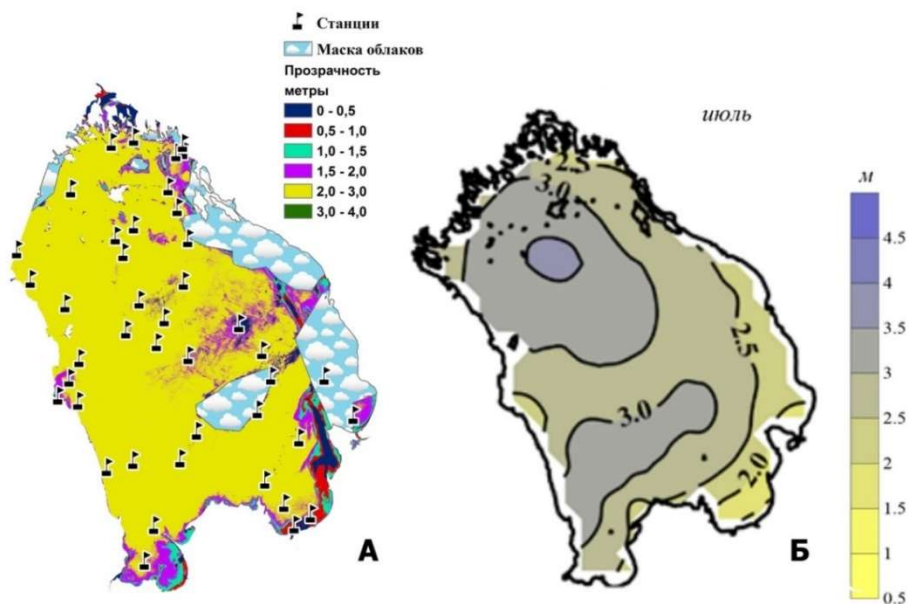


Рис. 2. Пространственное распределение прозрачности воды: (А) – восстановленное по формуле (1), 21.07.2017; (Б) – среднее многолетнее распределение в июле [1]

Для восстановления значений концентрации хлорофилла «а» применялись нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) и нормализованный разностный индекс мутности (NDTI). Расчет индексов выполнен по формулам (2) и (3), а концентрации хлорофилла (Хл) по формулам (4) и (5) соответственно.

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad (2)$$

$$NDTI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \quad (3)$$

$$Хл_{NDVI} = -0,0368 \times NDVI + 0,0961 \quad (4)$$

$$Хл_{NDTI} = -0,0258 \times NDTI + 0,0964 \quad (5)$$

Результаты восстановления значений концентрации хлорофилла «а» за 2017 г. можно считать успешными: по NDVI средняя ошибка 6,0%, минимальная 1,4%, а максимальная 15,0%, по NDTI средняя ошибка 6,1%, минимальная 1,6%, максимальная 14,6%. Пространственное распределение индексов приведено на рисунке 3.

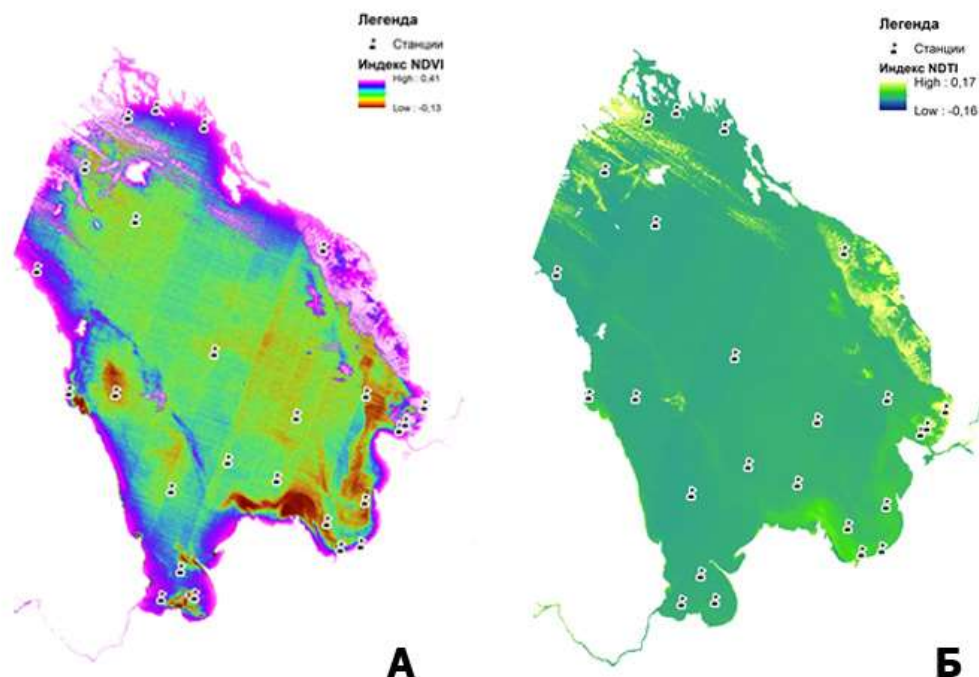


Рис. 3. Пространственное распределение индекса (А) NDVI и (Б) NDTI в июле 2017 г.

Прозрачность воды Ладоги характеризуется пространственно-временными особенностями, которые определяются озерными процессами, в том числе биологическими, а так же поступлением взвешенных веществ со стоком впадающих в озеро рек. Так, в июле минимальная прозрачность (менее одного метра) наблюдается в мелководных южных и восточных частях озера, в местах впадения рек Волхов, Сясь, Свирь. Кроме того, прозрачность незначительна вблизи устья р. Бурная. В глубоководной части, где температура воды низкая и биологические процессы менее интенсивны, прозрачность воды достигает трех метров.

Обсуждение результатов

Степень согласованности измеренных и восстановленных с использованием формулы (1) по снимку Landsat-8 значений прозрачности составила $R=0,71$. Относительные ошибки восстановления изменяются от 50,4% до 0,1%, в среднем составляют 15,7%. Максимальные ошибки получены для станций, расположенных в месте впадения р. Волхов, где прозрачность минимальна (см. рис. 2).

На результаты восстановления могут отрицательно влиять:

- разница во времени между датами *in situ* измерений и получения снимка, поскольку гидрооптическая ситуация за это время может измениться;
- погрешности *in situ* измерений (допустимая погрешность 0,1 м);
- наличие облачности над акваторией озера;
- недостаточная универсальность применяемых расчётных формул.

В целом, восстановленное по спутниковым данным пространственное распределение прозрачности соответствует многолетнему распределению, зависящему от закономерностей лимнических и гидробиологических процессов в озере [1, 6].

Результаты исследования можно считать вполне удовлетворительными. Планируется разработать более универсальные алгоритмы восстановления значений прозрачности, включающие в себя восстановление концентрации хлорофилла «а» по индексам NDVI и NDTI или непосредственный учёт самих индексов при составлении формул.

Применение спутниковых снимков позволит расширить базу данных мониторинга Ладожского озера, что необходимо для лучшего понимания и моделирования его экосистемы.

Авторы выражают признательность заведующему Лабораторией географии и гидрологии ИНОЗ РАН, д.г.н., профессору М.А. Науменко и с.н.с. этой лаборатории, к.г.н. В.В. Гузиватому, а также с.н.с. Лаборатории гидробиологии и оценки воздействия на водные биоресурсы Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга) Ю.А. Зувеву за предоставление данных для исследования.

Литература

- [1] Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. // Атлас / под ред. В.А. Румянцев. СПб.: Нестор-История, 2015, 200 с.
- [2] Тихомиров О.А., Бочаров А.В., Комиссаров А.Б., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Использование данных сенсора LANDSAT 8 (OLI) для оценки показателей мутности, цветности и содержания хлорофилла в воде Иваньковского водохранилища // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». № 2, 2016, С. 230-244.
- [3] Fuller L., Jodoin R. and Minnerick R. Predicting lake trophic state by relating Secchi-disk transparency measurements to Landsat-satellite imagery for Michigan inland lakes, 2003–05 and 2007–08 // USGS Scientific Investigations Report 2011–5007, 2011, P. 36.
- [4] Guan X., Li J., Booty W. Monitoring Lake Simcoe Water Clarity Using Landsat-5 TM Images // Water Resources Management. 25(8), 2011, pp. 2015-2033.
- [5] Летанская Г.И. Современное состояние фитопланктона и тенденция его изменения в период летней стратификации // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее / под ред. В.А. Румянцева, В.Г. Дробковой. СПб.: Наука, 2002, С. 165-175.
- [6] Naumenko M.A. Spatial distribution and long-term trends of water transparency in Lake Ladoga // Russian Meteorology and Hydrology. 32(9), 2007, pp. 604-608.

ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ РЕКИ БРЮДЕ (АРХ. ШПИЦБЕРГЕН) МЕТОДОМ СМЕШЕНИЯ (СПОСОБ ИОННОГО ПАВОДКА)

К.В. Ромашова, И.И. Василевич

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

EXPERIENCE OF MEASURING THE BRUDE RIVER WATER DISCHARGE (ARCH. SPITSBERGEN) MIXING METHOD (ION FLOOD METHOD)

K.V. Romashova, I.I. Vasilevich

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

Представлен опыт измерения расхода воды методом ионного паводка арктической реки Брюде (архипелаг Шпицберген). Дано сравнение результатов измерения расхода воды методом «скорость-площадь» и методом смешения.

The experience of measuring water flow by the ion flood method of the Arctic Brude River (arch. Shpitsbergen) is presented. Comparison of the results of measuring water flow by the method of "speed-area" and the method of mixing.

Способ ионного паводка является более точным и весьма практичным в реках со сложным поперечным сечением русла и большими скоростями течения, какими являются, горные ручьи, типичные для архипелага Шпицберген. Метод актуален для измерения расходов в небольших реках с каменистым дном и сильным турбулентным течением, на которых измерение методом площадь-скорость при помощи вертушки практически невозможно.

Сущность метода заключается в перемешивании вылитого мгновенно в поток концентрированного раствора индикатора (в нашем случае NaCl), который хорошо перемешиваясь в турбулентном потоке, создает в нижнем измерительном створе заметное повышение концентрации ионов, подобное паводку. При повышении концентрации ионов, повышается электропроводность воды, которую фиксируют датчики электропроводности.

Подобные измерения и сравнения их с измерениями расхода воды методом «скорость-площадь» производились в 2018-2019 гг. на реке Брюде (рисунок 1). Река является западным притоком залива Гренфьорд. Имеет длину 4,3 км. Тип питания реки преимущественно снеговой, на водосборе присутствуют 2 небольших ледника. Площадь водосбора составляет 13,4 км², степень его оледенения 5%. Доля ледникового стока в общем составляет 22% [1]. Для реки характерно каменистое дно с многочисленными валунами в русле, течение турбулентное. В русле присутствует немногочисленная растительность в виде водорослей на прибрежных участках, где течение слабее.

Работы по измерению расхода воды методом «скорость-площадь» и последующая обработка полученных полевых материалов производилось в соответствии с Наставлением [2].

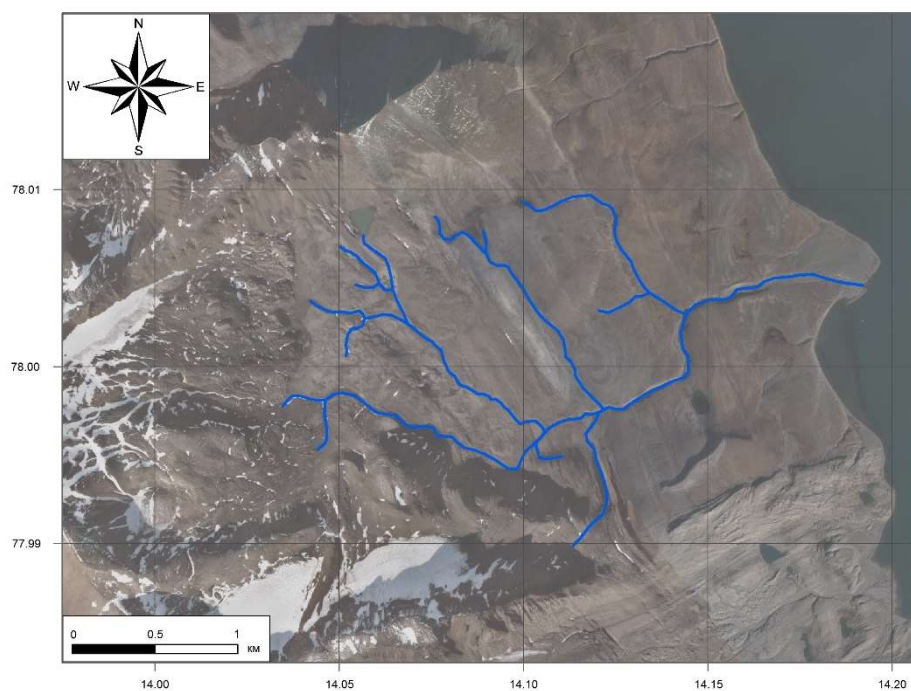


Рис. 1. Карта-схема р.Брюде

Измерение расхода методом ионного паводка выполнялось комплексом «Sommer TQ - S Tracer System». Система представляет собой два электрода, измеряющих мгновенную удельную электропроводность воды, два передатчика, выполняющих также роль источника питания электродов и соединенных с последними пятиметровым кабелем, и вспомогательными инструментами для проведения калибровки электродов в полевых условиях.

Всего осуществлено 6 повторений измерения расхода воды методом ионного паводок (3 в 2018г., 3 в 2019 г.). На рисунке 2 представлено расположение пусковых и контрольных створов измерения расхода воды в разное время. Ширина русла в местах измерения от 5 до 6 м. Средняя глубина 40-50 см при относительно высокой водности, 25-35 см при низкой. Скорости течения до 1,1 м/с.

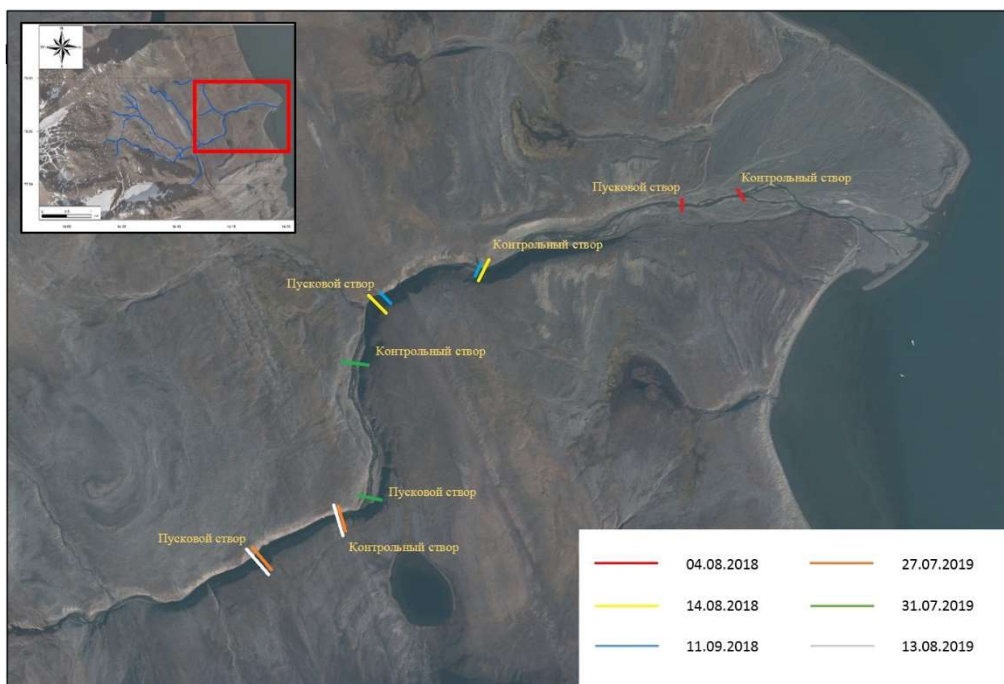


Рис. 2. Схема расположения пусковых и контрольных створов на реке Брюде в 2018-2019 гг.

При первой апробации метода ионного паводки 04.08.2018 произошло недостаточное перемешивание NaCl, повторные измерения были произведены выше по течению реки (рис. 2). В 2019 году предпринята попытка поиска более протяженного прямолинейного участка реки, подходящего для применения метода смешения, а также увеличено количество вводимого индикатора.

Результаты измерений расхода воды методом ионного паводка ($Q_{\text{ип}}$) в 2019 году ближе к результатам измерения методом «скорость-площадь» ($Q_{\text{сп}}$), чем в 2018 году (таблица 1). Рекомендуемая масса соли в 5 кг на 1 м³/с в 2019 году была увеличена, что позволило усовершенствовать результаты измерений. Среднее относительное отклонение расходов воды, измеренных методом смешения, от расходов воды, измеренных традиционным методом, в 2018 году составило 31%, в 2019 – 8%. Как видно из таблицы 1 расстояния между пусковыми и контрольными створами изменялись несильно и составляли 180-220 м, что соответствует рекомендациям производителя прибора измерения.

Таблица 1. Результаты измерений расхода двумя методами на реке Брюде

№	Дата	Расстояние между пусковым и контрольным створами, м	Масса соли, кг	Расход, м ³ /с		$Q_{\text{ип}} - Q_{\text{сп}}$	
				$Q_{\text{ип}}$	$Q_{\text{сп}}$	Δ , м ³ /с	Δ , %
1	04.08.18	180	5	1,06	0,710	0,35	33
2	14.08.18	200	5	0,540	0,380	0,16	30
3	11.09.18	220	5	1,12	0,760	0,36	32
4	27.07.19	180	7	0,719	0,741	-0,022	-3

5	31.07.19	220	7	0,744	0,642	0,102	16
6	13.08.19	180	7	0,354	0,314	0,040	13

Метод ионного паводка считается более точным методом измерения расхода, но имеет свои недостатки. Значительным минусом метода смешения остается проблема транспортировки индикатора при крупных его объемах, требования к руслу и течению реки, а также наличие продолжительного прямолинейного участка [3]. Однако, на небольших ручьях арх. Шпицберген, где нет возможности использования гидрометрической вертушки, точность измерений значительно возрастает. В среднем за 6 попыток совместного измерения расхода воды реки Брюде двумя методами, метод ионного паводка давал значения больше, чем метод смешения, на 15%.

Работы выполнены в рамках сезонных экспедиций «Шпицберген» Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген ААНИИ.

Литература

1. Ромашова К.В., Чернов Р.А., Васильевич И.И. Исследование ледникового стока рек в бассейне залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2019. – Т. 65. – № 1. – С. 34–45.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть II. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеиздат. – 1972. – 266 с.
3. Виноградова Т.А., Пряхина Г.В., Мосолова Г.И. Методические основы полевой гидрологии и организации комплексных экспедиционных работ на горных водосборах // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – Серия 7. – №4. – С. 189-196.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО СТОКА И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ

Е.В. Румянцева¹, канд. геогр. наук, Е.Н. Шестакова^{1,2}, О.В. Муждаба¹

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

TENDENCIES OF WATER RUNOFF AND ICE REGIME OF SIBERIAN ARCTIC ZONE

E.V. Rumiantseva¹, Cand.Sc., E.N. Shestakova^{1,2}, O.V. Muzhdaba¹

¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Показано, что параметры водного и ледового режима рек Сибирской Арктики характеризуются различными тенденциями. Отмечено внутригодовое перераспределение расхода воды и тенденция к смягчению ледового режима.

It is shown that water and ice regimes of the Siberian Arctic rivers are characterized by various trends. An intra-annual redistribution of water runoff and a tendency to mitigation the ice regime were noted.

В современной науке большой интерес приобретают исследования последствий климатических изменений на разные природные системы, в том числе на поверхностные водные объекты и их водные ресурсы. Анализ последствий меняющегося климата особенно актуален для территории Арктической зоны России и важен для социально-экономической деятельности.

Целью данного исследования является анализ многолетней динамики водного стока и ледового режима рек Арктической зоны Сибири с учётом современных условий климатических изменений. Исследованы реки разные по водности (большие, средние), особое внимание уделено средним рекам как отражающим зональные характеристики природных систем. Значимость исследования определяется новым интересом к рекам Российской Арктики, как основным источникам водных ресурсов развивающихся территорий [1].

Исходными данными исследования послужили данные наблюдений на гидрологических постах государственной сети Росгидромета, опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра. Выбор пунктов наблюдений связан с наличием продолжительного периода наблюдений, включающий в себя современный климатический период с 1981 г., определённый согласно докладу [2]. Для исследования созданы массивы данных годового, сезонного стока воды, основных ледовых явлений, в том числе дат начала весеннего ледохода и устойчивых ледовых явлений осенью по 30 гидрологическим постам. Краткие сведения о пунктах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сведения о пунктах наблюдений за стоком воды и ледовыми явлениями рек Арктической зоны Сибири

№ по рис.	Код поста	Река-пост	Площадь водосбора, км ²	Физико-географическая зона водосбора	Период наблюдений	
					за водным стоком	за ледовыми явлениями
Западная Сибирь						
1	1180 1	Обь – г.Салехард	2430000	-	1935-2013	1933-2013
2	1155 5	Сыня – пос.Овгорт	9880	лесная	1964-2013	1962-2013
3	1155 8	Полуй – гмс Полуй	15100	лесотундра лесная	1954-2013	1953-2013
4	1180 5	Надым – г.Надым	48000	лесотундра лесная	1955-2013	1936-2013
5	1180 7	Пур – с.Самбург	95100	-	1939-1991	1936-2013
6	1157 1	Пур – г.Уренгой	80400	лесотундра лесная	1961-2013	1948-2013
7	1157 4	Пяку-Пур – г.Тарко-Сале	31400	лесная	1955-2010	1938-2013
8	1180 9	Таз – пгт Тазовский	128000	-	-	1944-2013
9	1159 0	Таз – с.Красноселькуп	87200	лесная	-	1975-2013
Средняя Сибирь						
10	0981 1	Енисей – г.Игарка	2440000	-	1970-2003	1936-1966, 1970-2016
11	0942 5	Турухан – гмс Янов Стан	10100	лесная	1938-2013	1938-2016
12	0943 2	Хантайка – Исток	12300	лесотундра	1970-2001	1965-2016
13	0918 3	Курейка – гмс Озерная	28100	лесотундра лесная	1976-1990	1976-2016
14	0940 1	Елогуй – пос.Келлог	16300	лесная	1960-2013	1948-2016
15	0981 6	Пясины – тдс Кресты Таймырские	34800	лесотундра	-	1949-2016
16	0945 5	Норилка – пос.Валек	19800	лесотундра	1938-2013	1937-2016
17	0380 2	Хатанга – с.Хатанга	275000	-	1961-1991	1934-2016
Восточная Сибирь						

18	0380 1	Анабар – с.Саскылах	78800	лесотундра лесная	1954- 1992	1935-2016
19	0381 1	Оленёк –7,5 км ниже устья р.Буур	198000	лесотундра	1964- 2016	1961-2016
20	0382 1	Лена – с.Кюсюр	2430000	-	1935- 2006	1934-2016
21	0386 1	Яна – п.ст.Юбилейная	224000	-	1972- 2005	1943-2016
22	0341 4	Яна – г.Верхоянск	45300	лесная	1935- 2016	1926-2016
23	0348 3	Бытантай – пос.Асар	40000	лесная	1937- 2016	1936-2016
24	0343 0	Дулгалаах –Томтор	23900	лесная	1956- 2016	1937-2016
25	0387 2	Индибирка – пос. Чокурдах	322000	-	-	1936-2016
26	0348 9	Индибирка – гп Индибирский	83500	лесная	1944- 2016	1940-2016
27	0350 7	Эльги – 5 км выше устья р.Б.Артык- Юрях	17600	лесная	1945- 2016	1945-2016
28	0342 4	Сартанг – с.Бала	16700	лесная	1957- 2016	1940-2016
29	0388 2	Алазея – с.Андрюшкино	29000	лесотундра лесная	1968- 1971, 1978- 1993	1961-2016
30	0388 1	Алазея – с.Аргахта	17700	лесотундра лесная	1962- 2016	1961-2016

Пространственные границы определялись в соответствии с водноресурсной границей Арктической зоны России, разработанной в ААНИИ [3]. Схема расположения пунктов наблюдений в обозначенных границах показана на рис. 1.

В настоящем исследовании проведен анализ надежности гидрологических данных по расходам воды. По ряду средних рек замыкающих створов больших и данные о расходах воды в гидрологических ежегодниках публикуются без соответствующего обеспечения круглогодичными измерениями расходов воды. Например, на замыкающем створе главной сибирской реки Енисей (г. Игарка) расходы воды не измеряются с 1993 г. (в период ледостава) и с 2003 г. (в период открытого русла). Аналогичная ситуация наблюдается на реках Восточной Сибири: р. Лена – с. Кюсюр, р. Анабар – с. Саскылах, р. Оленёк – гмс Ярольин, р. Оленёк – гмс Сухана, р. Малая Куонапка – с. Джалинда, р. Адыча – гмс Усть-Чаркы. В связи с отсутствием квалифицированных специалистов-гидрологов, труднодоступностью многих постов, а также разрушением гидрометрических створов после прохождения исторических паводков расходы воды не измеряются в течение десятилетий. Тем не менее, расчетные значения ежедневных

расходов воды, необеспеченных инструментальными измерениями, публикуются в изданиях государственного водного кадастра с соответствующими комментариями и в государственном водном реестре (<https://gmvo.skniivh.ru/>) без комментариев.

Таким образом, инженерами и учеными могут быть использованы недостоверные данные о стоке воды за последние десятилетия. Анализ исходной информации показал возможность привлечения для оценок водного стока лишь ограниченного набора данных и только по некоторым большим и средним рекам Сибирской Арктики. Для многолетних оценок последствий климатических изменений на водные ресурсы важно использовать достоверные данные о стоке воды, в противном случае высокую погрешность расчетных значений стока воды (при отсутствии измерений расходов воды) можно ошибочно воспринимать как тренд изменчивости водного стока.



Рис.1. Схема расположения гидрологических постов

Нумерация постов приведена в соответствии с таблицей 1.

Условные обозначения: ■■■■ – административно-территориальная граница Арктической зоны РФ, ——— – водноресурсная граница Арктической зоны РФ

Исходя из анализа достоверности данных о стоке воды, сформулирован вывод о возможности оценки многолетней изменчивости стока на замыкающих створах только по двум крупным рекам Арктической зоны Сибири: Обь – г.Салехард и Оленёк – 7,5 км ниже устья р.Буур. Динамика стока реки Оби (г. Салехард) характеризуется меньшей изменчивостью 0,7 % по годовому стоку, чем динамика стока р. Оленёк 5,5% за современный климатический период. Одновременно отмечается увеличение зимнего стока рек Оби и Оленька.

Для рек Западной Сибири (Пур, Таз, Надым) определено преимущественное несовпадение фаз водности. Динамика стока средних рек Полуя и Сыни описывается незначимыми трендами уменьшения стока. Для р. Пяку-Пур определено статистически значимое увеличение годового стока за многолетний период. Асинхронность колебаний стока Полуй и Пяку-Пур объясняется различной принадлежностью их водосборов к физико-географическим зонам. Аналогично выявлены разнонаправленные тенденции изменчивости годового стока для средних рек Средней Сибири (Норилка, Турухан, Елогуй).

Анализ значимости линейных трендов годового стока воды средних рек Западной и Средней Сибири показал, что в основном тренды не значимы как за весь период наблюдений, так и за современный климатический период. Статистическая значимость тренда подтверждена лишь для стока рек Пяку-Пур, Сыня и Турухана при 5-% уровне значимости за весь период наблюдений.

Норма годового стока средних рек Восточной Сибири (Бытантай, Дулгалаах, Эльги, Сартанг) за современный климатический период увеличилась по сравнению с предыдущим периодом на 2-5 %.

Для рек Арктической зоны Западной, Средней и Восточной Сибири выявлены региональные особенности колебаний водного стока, отличия периодов водности и переломных лет фазовых переходов.

Установлено, что в ответ на климатические изменения, включающие изменения динамики атмосферной циркуляции, температурного режима и режима выпадения осадков, повсеместно увеличилась норма стока зимней межени за счёт увеличения стока в марте-апреле. Наиболее значимые изменения присущи рекам Восточной Сибири, бассейны которых находятся в зоне распространения многолетней мерзлоты.

Полученные результаты подтверждают положение о том, что реки Западной Сибири сильно зарегулированы, поэтому для них характерны тенденции, отличные от рек Средней Сибири. Кроме того, на территорию Западной Сибири оказывают воздействие Атлантические воздушные массы, проникающие с запада. Это обуславливает усиление континентальности с продвижением на восток и различия в водном режиме рек.

Для анализа причин изменчивости стока воды и его внутригодового перераспределения стока необходимо привлечение данных о динамике атмосферных осадков и сезонного протаивания многолетней мерзлоты.

При обработке данных о ледовом режиме выявлено, что весенние ледовые явления на больших реках наступают раньше на 2-3 дня, а ледостав устанавливается позже на 1-4 дня относительно предыдущего периода наблюдений (до 1980 года). Между средними реками отмечаются существенные пространственные различия, связанные с расположением в разных физико-географических зонах.

Многолетние колебания характеристик ледового режима сибирских рек определяются климатическими изменениями на их водосборах, на которые накладываются местные факторы [4]. В связи с этим многолетняя динамика сроков вскрытия и замерзания рек отличается по регионам Арктики, но для большинства рек наблюдается тенденция более ранних сроков вскрытия и поздних сроков замерзания за современный климатический период с 1980-х годов.

Таким образом, в настоящей работе представлены результаты анализа динамики водного стока и ледового режима рек Арктической зоны Сибири. Показано, что для параметров как водного режима, так и ледового характерны различные тенденции. Отмечено внутригодовое перераспределение водного стока и незначительный тренд на смягчение ледового режима.

Литература

1. Брызгалов В.А., Третьяков М.В., Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Реки опорных зон Российской Арктики и их современное состояние // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 4. С. 365–379.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М., 2014. 60 с.

3. Иванов В.В., Третьяков М.В. Проблемы восстановления и развития системы гидрометеорологических наблюдений в устьевых областях рек Арктической зоны как основы государственного мониторинга этих поверхностных водных объектов // *Общество. Среда. Развитие.* 2015. № 4. С. 151–160.
4. *Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв.* / Под ред. доктора географ. наук Б.А. Крутских. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. 200 с.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

О.Г. Савичев¹, д-р геогр. наук, М.Л. Марков², канд. геогр. наук, Т.М. Потапова³, канд. хим. наук, О.В. Задонская²

¹Томский политехнический университет, Томск, Россия

²ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CONDITION OF SURFACES WATER OBJECTS IN THE TAIGA ZONE OF THE WESTERN SIBERIA AND SOME QUESTIONS OF NORMALIZATION OF SEWAGE DUMPS

O.G. Savichev¹, Dr. Sc., M.L. Markov², Cand. Sc., T.M. Potapova³, Cand. Sc., O.V. Zadonskaya²

¹Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia

²Federal State Budgetary Institution «State Hydrological Institute», Saint Petersburg, Russia

³Saint Petersburg state university, Saint Petersburg, Russia

Выполнен анализ данных гидрохимических наблюдений в таежной зоне Западной Сибири. Получена оценка состояния поверхностных вод. Выявлены характерные загрязняющие вещества. Предложен подход к нормированию сбросов сточных вод.

The analysis of hydrochemical observation results in a taiga zone of the Western Siberia is executed. The estimation of a condition of surface waters is received. Characteristic polluting substances are revealed. The approach to normalization of sewage dumps is offered.

Таежная зона Западно-Сибирской равнины занимает площадь около 1.2 млн. км², примерно 90 % которой приходится на бассейн р. Обь. Ключевой особенностью этой территории являются интенсивная нефтегазодобыча, в процессе которой ежедневно сжигается 6–7 млрд. м³ попутного газа, размещается огромное количество отходов бурения и происходит не менее одной аварии с потерей в среднем 2 тонн нефти, причем общие потери углеводородов достигают 7–20 % от суммарной добычи [1–3]. Другая важная особенность – исключительно высокая заболоченность водосборов с продолжающимся приростом торфяной залежи со скоростью примерно 1 мм/год [4]. Все вместе это определяет современное эколого-геохимическое состояние поверхностных водных объектов в таежной зоне Западной Сибири, характеризующееся распространением пресных вод с преобладанием в ионном составе, как правило HCO_3^- и Ca^{2+} , высоким содержанием органических веществ и продуктов их трансформации, в том числе в концентрациях, существенно превышающих установленные предельно допустимые значения для водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения [5, 6].

С учетом указанных особенностей и в целях повышения эффективности экологического мониторинга и планируемых на его результатах природоохранных мероприятий требуется количественная оценка факторов формирования эколого-геохимического состояния поверхностных вод региона и допустимых антропогенных воздействий на водные объекты. Первым этапом решения подобной задачи является комплексная оценка современного эколого-геохимического состояния водных объектов, что и определило содержание рассматриваемой работы. Основное внимание было уделено водным объектам в бассейне р. Оби.

В качестве исходной информации использованы опубликованные данные многолетних наблюдений Росгидромета, материалы экспедиционных исследований Государственного гидрологического института (ГГИ), Томского политехнического университета (ТПУ), ОАО «Томскгеомониторинг», полученные при непосредственном участии и/или под руководством авторов, а также сведения других организаций и авторов [5–7]. Основное условие обобщения информации из разных источников – отбор проб согласно требованиям [8] и определение гидрохимических показателей в аккредитованных лабораториях в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ), ТПУ, АО «Томскгеомониторинг» по аттестованным и сопоставимым между собой методикам.

Речная сеть рассматриваемой территории представлена рекой Обь и ее притоками. Речные воды в среднем характеризуются как пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые (по классификации О.А. Алёкина), по величине рН – от слабокислых (преимущественно воды малых и средних рек в весенний период) до слабощелочных (чаще – в летний период во второй половине), содержат большое количество органических веществ (ОВ) – от 3–4 мгС/дм³ в наименее заболоченных районах на южной границе таежной зоны до 20 мгС/дм³ и более в реках с сильно заболоченными водосборами. В составе ОВ идентифицирован широкий перечень различных соединений, включая углеводороды, фенолы, карбоновые кислоты, фталаты, хлорсодержащие вещества и др. В значительных количествах обнаружены и продукты трансформации ОВ (например, NH_4^+ и NO_2^-), а также ряд металлов, особенно Fe. Содержание растворенного кислорода в зимнюю межень в водах многих малых рек (а в ряде случаев – средних и больших) снижается вплоть до уровня, при котором начинаются заморные явления. Основные закономерности пространственно-временных изменений – наибольшие значения общей минерализации – в зимнюю межень, а по территории – в Обь-Иртышском междуречье, что соответствует наименьшим значениям модуля суммарного водного стока и увеличению их подземной составляющей. В целом, речные воды таежной зоны Западной Сибири с большой вероятностью не соответствуют принятым в России нормативам рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования по величине рН, ПО и БО, содержанию нефтепродуктов, фенолов, NH_4^+ , NO_2^- , фосфатам, Si, Fe, Al, Mn, Cu, Zn (рис. 1).

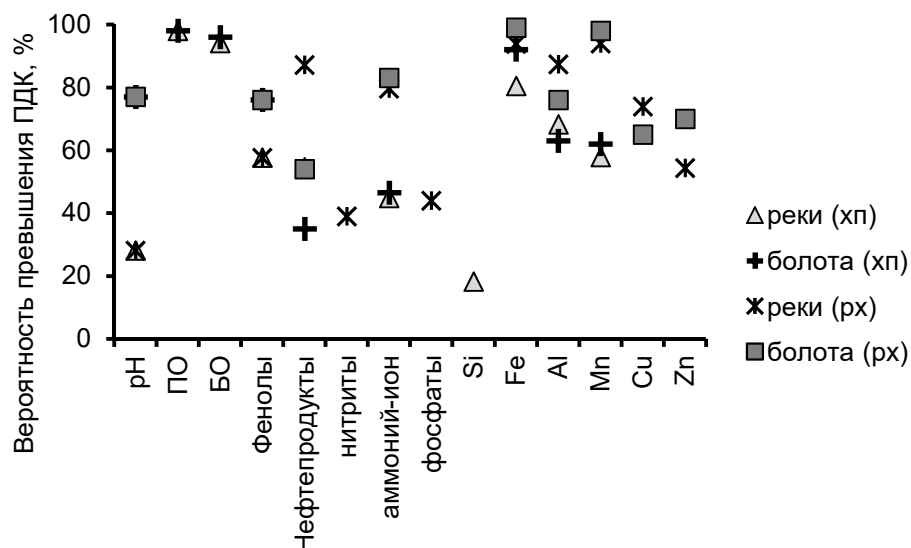


Рис. 1. Вероятность превышения хозяйственно-питьевых (хп) и рыбохозяйственных (рх) нормативов качества в поверхностных водах таежной зоны Западной Сибири

Значительная часть поверхностных вод таежной зоны Западной Сибири сосредоточена в многочисленных водоемах, представленных, в основном, небольшими по объему и площади внутриболотными и пойменными озерами. Их количество в целом возрастает от южной границы таежной зоны к северу по мере увеличения степени увлажнения территории. Озёрные воды в среднем характеризуются как пресные с минерализацией от малой до средней, гидрокарбонатные кальциевые, по величине рН – от кислых до слабощелочных. Минерализация и рН внутриболотных озёр во многих случаях ниже соответствующих показателей воды рек, в водосборах которых они расположены, а минерализация пойменных озёр в межень в ряде случаев, напротив, может быть несколько выше. Закономерно отмечается достаточно высокое содержание ОВ и продуктов их трансформации, что, как и в случае речных вод, определяет очень высокую вероятность превышения нормативов качества примерно по тем же показателям.

Ключевой особенностью региона, как указывалось выше, очень широкое распространение болот разного типа. Болотные воды верховой и переходной торфяной залежи в среднем характеризуются как пресные с очень малой минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые, по рН – кислые. Воды низинной залежи – также пресные, но уже со средней (в ряде случаев – с повышенной) минерализацией, по химическому составу – в целом гидрокарбонатные

кальциевые, по рН – слабокислые и нейтральные. Различия по геохимическим показателям болотных вод выявляются не только для верховых, переходных и низинных болот, но и для болот с разным соотношением лесных и топяных фитоценозов и геоморфологического положения, что, по сути, отражает общую зависимость химического состава болотных вод от времени и площади контакта вод с минеральными частицами. По сравнению с речными и озерными водами, болотные характеризуются более высокими значениями БО и ПО и меньшими значениями рН. Соответственно, уже фоновое эколого-геохимическое состояние водных объектов заболоченных территорий таежной зоны Западной Сибири без признаков явного антропогенного воздействия в основном соответствует категории «загрязненных» и «грязных».

Непосредственно загрязненные поверхностные водные объекты отличаются от прочих еще более высокими содержаниями, причем наиболее характерными показателями загрязнения, по мнению авторов, являются повышенные концентрации не нефтепродуктов, фенолов, NO_2^- , NH_4^+ , Fe, Cu, а иона Cl^- . Природное поступление хлоридов в поверхностные воды в условиях таежной зоны Западной Сибири весьма ограничено [9] и обычно не превышает 15 мг/дм^3 , а антропогенное поступление хлоридов может быть связано либо с их использованием в процессах водоподготовки и водоотведения, либо с поступлением в окружающую среду минерализованных подземных вод, используемых в системах поддержания пластового давления при добыче углеводородного сырья. Соответственно, при организации мониторинга в ряде случаев достаточно ограничиться несколькими характерными гидрохимическими показателями, среди которых обязательно должен присутствовать ион Cl^- .

Необходимо также отметить, что ограничения по некоторым видам деятельности не всегда эффективны. Например, требование по обеспечению ПДК в болотных водах можно выполнить только при ликвидации болота как водного объекта, поскольку по определению болото характеризуется наличием торфа и, следовательно, высоким содержанием ОБ и продуктов его трансформации в болотных водах, а затем и в водах других водных объектах. С большой вероятностью подобное противоречие сохранится и при внедрении в практику подходов на основе использования наилучших доступных технологий. С учетом этого, возможно, целесообразно, применение подхода на основе соблюдения региональных фоновых концентраций и по аналогии с проверкой на однородность по критерию Стьюденту:

$$\frac{|C_p - C_b|}{\sqrt{\frac{\sigma_p^2}{N_p} + \frac{\sigma_b^2}{N_b}}} \leq t_\alpha, \quad (1)$$

где C_b и C_p – концентрации исследуемого вещества в фоновом и контрольном створах приемника сточных вод; t_α – значение критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha=5\%$; σ_b и N_b – среднее квадратическое отклонение и количество наблюдений в фоновом створе; σ_p и N_p – среднее квадратическое отклонение и количество наблюдений в контрольном створе [10].

Предположим, что антропогенная «добавка» в каждый день календарного года ($N_b = N_p = 365$) постоянна, что позволяет предположить $\sigma_b \approx \sigma_p$. Другое предположение заключается в приближении:

$$C_p = C_b + \frac{C_w - C_b}{n}, \quad (2)$$

где C_w – концентрация исследуемого вещества в сточных водах; n – кратность разбавления сточных вод. Расчет величины n сопряжен как с грубостью используемых методов, так и с недостатком достоверной информации о характеристиках потока. По этой причине рассмотрим подход, позволяющий без потери точности уменьшить количество гидрологической информации на основе допущений о пропорциональности изменения концентрации вещества ее отклонению от фонового значения (4), наличии зависимости между концентрацией вещества и расходом воды, то есть:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{dC}{dQ} \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{dC}{dQ} \cdot \mu \cdot Q = \beta \cdot (C_b - C), \quad (3)$$

где μ и β – параметры, характеризующие удельную скорость изменения Q и C . При допущении $\beta/\mu \approx \text{const}$ и использовании не расхода воды, а модуля водного стока M_Q , решением (3) является уравнение:

$$n = \frac{C_w - C_b}{C_p - C_b} = a \cdot M_Q^\beta, \quad (4)$$

где a – параметр, соответствующий модулю водного стока, при котором разбавление практически отсутствует. Апробация этого подхода по данным о сбросе хлоридов в реки Томской области позволила сделать вывод о возможности его применения ($\ln(n)=(6.040\pm 0.520) - (1.046\pm 0.256)\cdot \ln(M_0)$; $R^2=0.65$).

Условие (1) с учетом $t_a \approx 1.66$ может быть приведено к виду, пригодному для практического определения допустимой концентрации исследуемого вещества в сточных водах $C_{w,lim}$:

$$C_{w,lim} = C_b + 2.35 \cdot \delta_A \cdot n. \quad (5)$$

Соответственно, оценка норматива допустимых сбросов загрязняющих веществ сводится к: 1) оценке региональных фоновых концентраций; 2) оценке значений допустимой кратности разбавления с учетом гидрологических условий и количества водопользователей (например, по уравнению (5) при допущении: $a = \sum_{i=1}^m a_i$, $\frac{a_i}{a} = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^m q_i}$, где m – количество водопользователей; q_i – расход сточных вод i -го водопользователя).

Таким образом, химический состав поверхностных вод в таежной зоне Западной Сибири в значительной степени определяется природными процессами заболачивания, вследствие чего с вероятностью более 25% наблюдается нарушение рыбохозяйственных и хозяйственно-питьевых нормативов. Антропогенное влияние приводит к дополнительному увеличению ОБ и продуктов их трансформации и достаточно надежно выявляется по повышению содержания Cl^- (в пределах ПДК, но в 2–3 раза выше фоновых значений). С учетом этого предложен подход к оценке кратности разбавления и допустимых значений загрязняющих веществ в сточных водах на основе сравнения с региональным «фоном». Его определение, а также расчет допустимых значений кратности разбавления (для водохозяйственных участков) целесообразно поручить подразделениям Росгидромета, которые в настоящее время одновременно являются и основным источником информации, и согласующим органом при разработке и утверждении нормативов допустимых сбросов. Технически такие данные могут представлены в виде региональных карт изолиний (для средних рек), однородных районов (для малых рек, болот и озер) или участков больших рек, действующих в течение нескольких лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-55-80015.

Литература

1. Шишов В.А., Шеметов В.Ю., Рябченко В.И., Парфенов В.П. Охрана окружающей среды в территориальном Западно-Сибирском комплексе. М.: ВНИИОЭНГ, 1988.
2. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: МГУ, 1998.
3. Адам А.М. Оценка экологического состояния территории Западной Сибири в целях обеспечения экологической безопасности в контексте устойчивого природопользования // Охрана природы: сборник статей. Томск: НТЛ, 2005. С. 1–12.
4. Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Томск: ИОА СО РАН, 2002. С. 174–186.
5. Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // Intern. Journal of Environ. Studies, 2015, V. 72, N 3, P. 386–396.
6. Гендрин А.Г., Надоховская Г.А., Смирнова Н.К., Середина В.П., Непотребный А.И., Киселев А.Г., Русинова Е.С., Худобец А.М., Серых А.А., Чемерис А.Н. Экологическое сопровождение разработки нефтегазовых месторождений. Вып. 2. Мониторинг природной среды на объектах нефтегазового комплекса: анализ. обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, ОАО ТомскНИПИнефть ВНК, 2006.
7. Потапова Т.М., Марков М.Л., Носаль А.П., Савичев О.Г. Фоновые показатели эколого-геохимического состояния вод верховых болот в таежной зоне на территории Российской Федерации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 9. 83–92.
8. Р 52.24.309-2004. Рекомендации. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета. М.: Росгидромет, 2005. 85 с.
9. Посохов Е.В. Формирование хлоридных вод гидросферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 247 с.
10. Савичев О.Г. Проблемы нормирования сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты // Вода: химия и экология. 2010. N 9. С. 35–39.

ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.Г.Саенко, Т.Е. Симакина

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт Петербург, Российская Федерация

ONLINE TRAINING IN THE AREA OF METEOROLOGICAL MEASURING TECHNIQUE

A. G. Saenko, T.E. Simakina

Russian state hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russian Federation

Представлен опыт создания лаборатории виртуальных средств измерений метеорологических параметров: температуры воздуха, метеорологической дальности видимости и других на базе программной платформы LabView

The description of creating a laboratory of virtual instruments for measuring meteorological parameters: air temperature, meteorological visibility range and others on the basis of the software platform LabView is presented

В современном обществе важными критериями эффективности получения знаний являются стоимость, экономия времени, гибкость. Этим критериям в полной мере соответствует дистанционное обучение, которое уверенно занимает все большую нишу в сфере образования и продолжает стремительно наращивать свой потенциал. И если с электронными лекциями и системами тестирования знаний все в порядке, то с лабораторной практикой ситуация иная. Проведение натурных испытаний, работа с оборудованием, измерительной аппаратурой и приборами, а также обучение современным методам проведения испытаний и обработки результатов эксперимента является основным звеном образовательного процесса технических ВУЗов, которое позволяет, согласно «Пирамиде познания» Дж. Мартина [1], - рис. 1, усваивать объем учебного материала до 70%. Студенты-заочники и студенты, обучающиеся онлайн, лишены возможности полноценной работы в учебных лабораториях, что сокращает эффективность их обучения.

С другой стороны оборудование учебных лабораторий технических ВУЗов, используемых и для очного обучения, изнашивается и морально устаревает. Покупка новой измерительной техники экономически неэффективна в связи с ускоряющейся сменой поколений современных приборов, угнаться за которой учебной лабораторией не под силу. Решение этих проблем сегодня заключается в создании компьютерных моделей средств измерений, измерительных процессов и процедур.



Рис. 1. Эффективность усвоения учебной информации по Дж. Мартину

На кафедре экспериментальной физики атмосферы РГГМУ создаются программно-методические комплексы виртуальных лабораторных установок, имитирующих работу реальных приборов и позволяющих студентам дистанционно приобретать навыки измерений,

исследовать работу таких приборов и влияние различных технических характеристик и параметров окружающей среды на результаты измерений.

Для создания виртуальных лабораторных установок используется платформа LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) [2]. Эта среда программирования разработана фирмой National Instruments (США). Виртуальным прибором (VI - virtual instrument) называется программа, написанная на этой платформе. Внешнее графическое представление и функции виртуального прибора имитируют работу реальных физических приборов. LabVIEW содержит полный набор приборов для сбора, анализа, представления и хранения данных. Источником кода виртуального инструмента служит блок-схема программируемой задачи. Для эмуляции панелей управления традиционными инструментами, создания пользовательских тестовых панелей или визуального представления управления динамикой процессов есть возможность настраивать передние панели виртуальных приборов с помощью ручек, кнопок, циферблатов и графиков.

Далее приведены примеры созданных виртуальных измерительных средств, изучаемых в РГГМУ в рамках различных разделов курса «Методы и средства гидрометеорологических измерений» и «Метрология, стандартизация и сертификация» [3].

На рис. 2(а) представлена реальная установка для исследования термоэлектрического термометра, включающего термопару, гальванометр и соединительные провода, на рис. 2(б) – созданный виртуальный аналог. Виртуальная установка, как и реальная, позволяет задать различные температуры спаев металлических проводников, составляющих термоэлектрический термометр, и измерить возникающий термоток. Кроме этого, виртуальная установка реализует следующие возможности:

- выбор различных металлов для проводников термопары;
- выбор количества термопар термоэлектрического термометра;
- измерение термоэдс;
- задание геометрических параметров как проводников термопары, так и соединительных проводов: длины, диаметра;
- подбор гальванометра с необходимым диапазоном шкалы и классом точности.

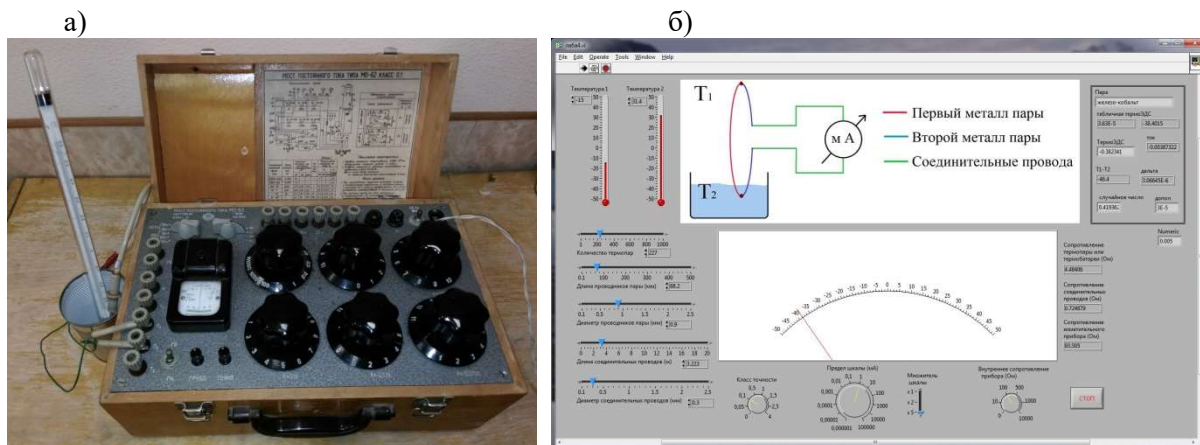


Рис. 2 Вид установки для исследования термоэлектрического термометра (а); лицевая панель виртуального термоэлектрического термометра (б)

Созданный виртуальный гальванометр, имитирующий работу реального магнитоэлектрического прибора с заданной инструментальной погрешностью, используется в других лабораторных работах, где требуется измерение тока.

Изменение температуры окружающей среды приводит к изменению сопротивления проводников термопары и соединительных проводов, а также к изменению сопротивления гальванометра, что вызывает погрешность измерения разности температур. Виртуальный термоэлектрический термометр позволяет исследовать влияние температуры на точность измерения.

Еще один пример создания виртуальной лабораторной работы представлен на рис. 3. Рис. 3(а) иллюстрирует реальный стенд для исследования уравновешенного и неуравновешенного

термометров сопротивления. На рис. 3(б) представлена лицевая панель, созданная для моделирования работы термометров сопротивления с возможностью выбора в качестве датчика терморезистора, полупроводникового термистора и позистора.

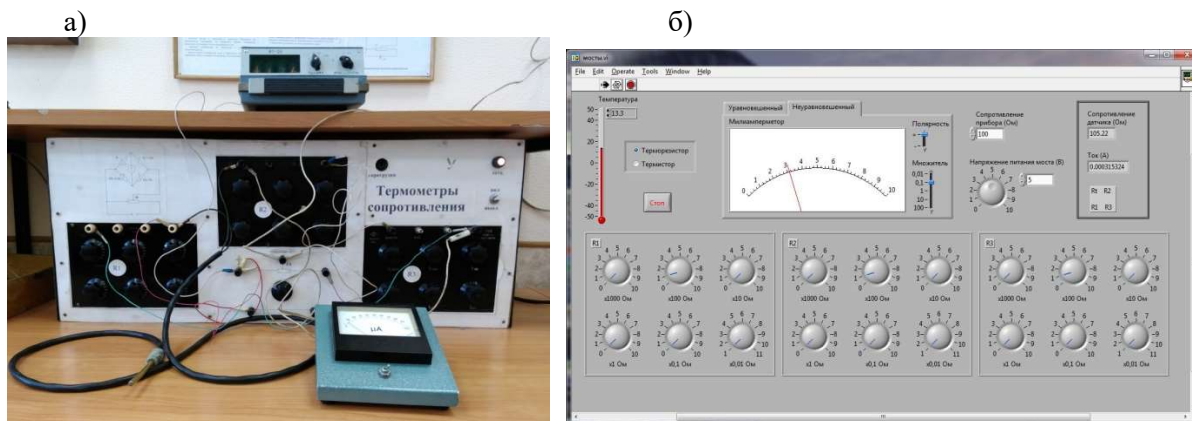


Рис. 3 Вид установки для исследования термометров сопротивления (а); лицевая панель виртуального термометра сопротивления (б)

На рис. 4 представлена модель трансмиссометра по типу фотометра импульсного для измерения метеорологической дальности видимости.

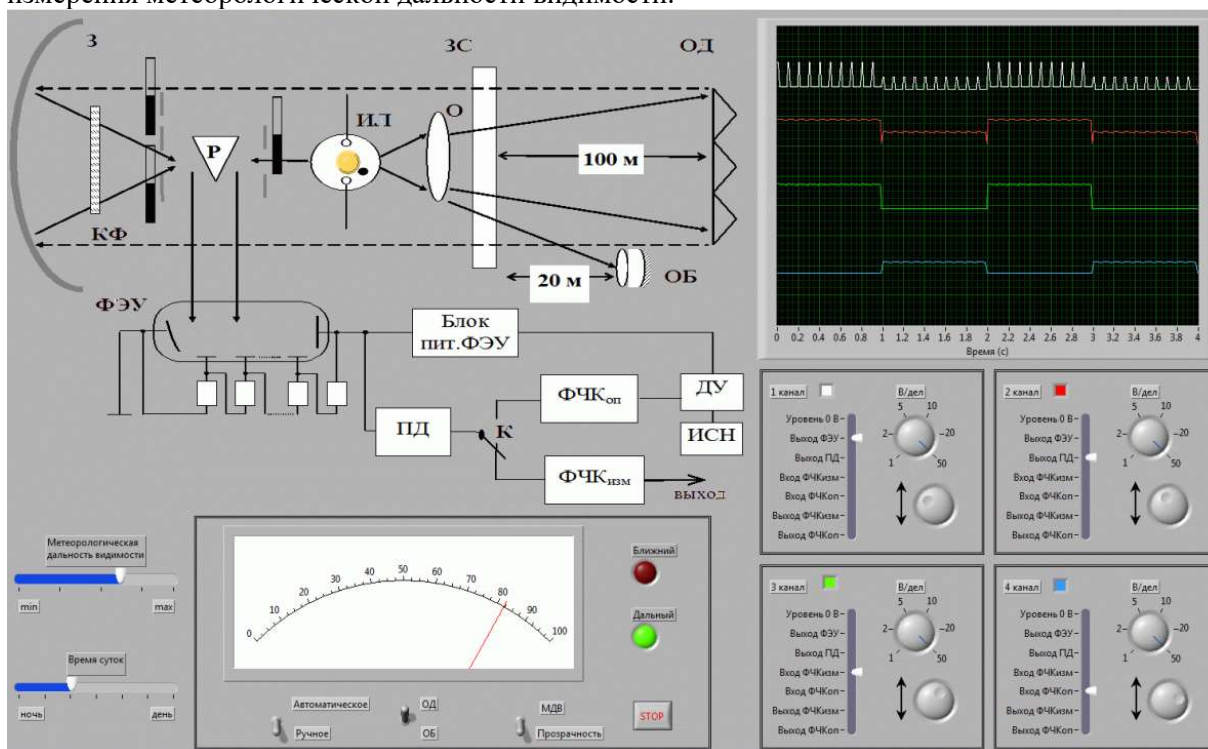


Рис. 4 Модель трансмиссометра «Фотометр импульсный»

Созданная модель позволяет задавать следующие параметры [4]:

- прозрачность атмосферы,
- удаление отражателя от источника света (база прибора) – рис.5,
- уровень освещенности фона.

Модель включает осциллограф, который позволяет исследовать работу всех структурных блоков фотометра.

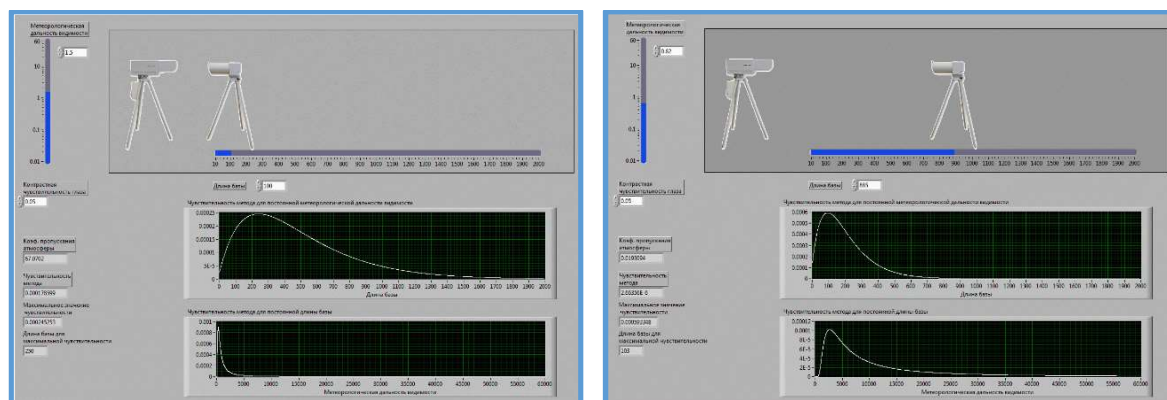


Рис. 5 Исследование чувствительности трансмиссометра при разной базе

Таким образом, созданные виртуальные лабораторные установки дают возможность быстрого проведения множества серий опытов с различными значениями входных параметров, что позволяет определять зависимости выходных параметров от входных. Появляется возможность моделирования процессов, протекание которых принципиально невозможно в лабораторных условиях, например активных воздействий на облака. Наглядная визуализация на экране компьютера делает доступным наблюдение различных переходных процессов, исследование инерционных свойств метеорологических приборов. Виртуальное моделирование позволяет всесторонне изучать такие методы измерений, как радиолокационный, аэрологическое радиозондирование атмосферы, дистанционное зондирование земной поверхности и атмосферы космическими аппаратами, без необходимости приобретения дорогостоящего оборудования.

Литература

1. Активные методы обучения: рекомендации по разработке и применению: учеб.-метод. пособие / Е. В. Зарукина, Н. А. Логинова, М. М. Новик. СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – 59 с.
2. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков.– М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
3. Саенко А.Г., Симакина Т.Е. Дистанционное изучение метеорологической техники на базе технологии виртуальных инструментов. // Ученые записки РГГМУ.- 2017. №47. С.118-125.
4. Саенко А.Г., Симакина Т.Е. Изучение трансмиссометра по его виртуальной модели. В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 150-151.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ Г. МИНСКА)

Е.В. Санец, О.В. Кадацкая, Е.П. Овчарова

Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь

HYDROCHEMICAL DIAGNOSTICS OF THE STATE OF WATER BODIES IN AN URBAN AREA (ON THE EXAMPLE OF MINSK)

E.V. Sanets, O.V. Kadatskaya, A.P. Aucharova

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Рассматриваются гидрохимические показатели состояния малых водных объектов г. Минска. Анализируется содержание основных макрокомпонентов, биогенных элементов, тяжелых металлов и нефтепродуктов. Выявляются водоемы, для которых характерно превышение ассимиляционного потенциала.

The hydrochemical indicators of the state of small water bodies in Minsk are considered. The content of the main macrocomponents, nutrients, heavy metals and oil products is analysed. Water bodies, which are characterized by an excess of assimilation potential are identified.

Водные объекты являются неотъемлемым элементом природной среды многих городов. От состояния водных объектов во многом зависит характер их использования, а также рекреационная привлекательность окружающей территории. Гидрохимические характеристики водных объектов могут служить своеобразными индикаторами происходящих на водосборе процессов, по характеру загрязнения воды можно судить об антропогенных нагрузках на территории города. Это касается не только и не столько крупных и средних рек, на которых расположены города, но и так называемых «малых городских водных объектов» (МГВО), встречающихся на территории многих городов. Под малым городским водным объектом понимается любой водоем или водоток, частично или полностью расположенный на урбанизированной территории, размеры которого сопоставимы с основными элементами городской застройки (зданиями, сооружениями, транспортными магистралями) [1].

Как правило, МГВО не входят в систему мониторинга поверхностных вод, большинство из них не учтены Государственным водным кадастром, а их состояние, использование и уровень благоустройства в значительной степени зависят от ведомственной принадлежности территории, на которой они расположены. При этом именно МГВО чаще всего являются центрами притяжения населения (даже при недостаточной степени их рекреационного благоустройства и неудовлетворительном санитарно-экологическом состоянии), и именно МГВО могут существенно повысить эколого-рекреационную значимость и видеоэкологический потенциал территории при их соответствующем инженерно-экологическом благоустройстве.

МГВО сочетают в себе признаки как природных, так и техногенных систем, как правило, не имеют научно-обоснованного статуса и часто используются стихийно. В результате интенсивного техногенного воздействия МГВО зачастую утрачивают основные свойства природных водных

объектов – естественные условия формирования, питания и самоочищения, и становятся неспособными выполнять свои природно-хозяйственные функции. В то же время нередко в городах встречаются малые водные объекты, которые, даже испытывая серьезную техногенную нагрузку, сохраняют способность к самоочищению и устойчивому функционированию.

Гидрохимическая диагностика состояния водных объектов является одним из элементов понимания механизмов их эволюции в условиях города, функционирования и поддержания устойчивости к антропогенному воздействию, что, в свою очередь, является ключом к созданию и сохранению благоприятной для проживания человека городской среды, формированию социокультурных ландшафтов, оптимальному градостроительному планированию и освоению территории с учетом ее природно-географических особенностей.

Методика исследований

Гидрохимическая диагностика состояния малых водных объектов выполнена для г. Минска с использованием разработанной ранее методики на основании степени их гидрохимической трансформации по первичным индикаторам и дополнительным показателям [2, 3], а также по изменению типа воды.

В качестве первичных индикаторов выступают вещества, гидрохимический режим которых в условиях города нарушается в первую очередь: азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор фосфатный и хлориды. Степень трансформации для каждого из веществ-индикаторов определяется исходя из его концентрации в воде водного объекта, выражается в баллах и имеет качественную характеристику.

Для веществ, для которых в городских условиях наблюдаются превышения ПДК (азот аммонийный, азот нитритный и фосфор фосфатный) предложена следующая шкала:

- слабая трансформация – <0,5 ПДК;
- средняя трансформация – 0,5–1,0 ПДК;
- сильная трансформация – 1,0–2,0 ПДК;
- очень сильная трансформация – >2,0 ПДК.

Для азота нитратного в качестве критерия оценки степени трансформации вместо ПДК используется величина 0,5 мгN/дм³, являющаяся пороговой для начала процессов эвтрофирования, для хлоридов – их природно-антропогенная концентрация – 15,0 мг/дм³.

В таблице 1 приведены шкалы степени гидрохимической трансформации для указанных первичных индикаторов [2].

Таблица 1. Шкала для определения степени гидрохимической трансформации водных объектов

Балл	Степень трансформации	Концентрация, мг/дм ³				
		Азот аммонийный	Азот нитритный	Азот нитратный	Фосфор фосфатный	Хлориды
1	Слабая	<0,195	<0,012	<0,50	<0,033	<15,0
2	Средняя	0,196–0,390	0,013–0,024	0,51–1,00	0,034–0,066	15,1–30,0
3	Сильная	0,391–0,780	0,025–0,048	1,1–2,0	0,067–0,132	30,1–60
4	Очень сильная	>0,781	>0,049	>2,1	>0,133	>60,1

Слабая и средняя степень трансформации водного объекта не нарушает его способность к самоочищению; сильная и очень сильная, как правило, приводит к загрязнению. Если сумма по пяти первичным индикаторам превышает 10 баллов, можно говорить о воздействии урбанизированной территории на водный объект, приводящем к его загрязнению, т.е. о превышении ассимиляционного потенциала водного объекта.

В качестве дополнительных показателей, характеризующих степень гидрохимической трансформации водных объектов, может быть использовано содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов в воде. Заключение о наличии гидрохимической трансформации делается на основе сравнения измеренной концентрации с ее предельно допустимым значением согласно [4].

Как правило, в определенных физико-географических условиях формируются природные воды, химический состав которых соответствует этим условиям, а ионы находятся в определенном соотношении между собой, формируя классы и типы вод [5]. В городах в условиях интенсивного антропогенного воздействия наблюдается поступление в водные объекты дополнительных химических веществ, имеющих техногенное происхождение. Если источник поступления достаточно мощный и действует продолжительный период времени, ионный состав воды может изменяться в сторону увеличения содержания того компонента, который в природных условиях находится в воде в незначительных концентрациях. В этом случае можно говорить о формировании техногенной гидрохимической аномалии [6], а изменение класса или типа вод будет служить показателем техногенной трансформации водного объекта. Так, если природный неизменный состав поверхностных вод на территории Беларуси в основном гидрокарбонатный с преобладанием кальция и магния в катионном составе, то в условиях города при интенсивном техногенном воздействии на тип вод могут влиять такие ионы, как хлориды, сульфаты, натрий, калий.

Тип воды водного объекта определяется с использованием расчета концентраций основных макрокомпонентов и биогенных элементов в %-эквивалентной форме. Те ингредиенты, содержание которых ≥ 25 %-экв, характеризуют тип воды водного объекта.

Всего на территории г. Минска было обследовано 42 водоема, относящихся к МГВО. Среди них водные объекты как естественного (озера, сохранившиеся участки малых рек, водоемы в пределах болотных массивов), так и искусственного (пруды-копани, карьеры, водохранилища) происхождения, разной степени проточности. Наиболее крупными из них являются Лошицкое вдхр, расположенное на малой р. Лошице (нижний плес – 15,2 га), пруд Лебяжий в пределах одноименного биологического заказника (12,5 га) и вдхр Стайки, расположенное на малой р. Тростянке (7,5 га). Площадь остальных 39 водоемов изменяется от 0,01 до 4,0 га, составляя в среднем 0,8 га. Гидрохимическое опробование водоемов проводилось в период летне-осенней межени 2018 г.

Результаты и их обсуждение

Гидрохимическое опробование показало, что из рассматриваемых первичных индикаторов основным компонентом, влияющим на химический состав вод водоемов на территории г. Минска, являются хлориды. Так, из 42 водоемов сильная и очень сильная степень трансформации по хлоридам (3 и 4 балла соответственно) характерна для 23. Содержание хлоридов в воде данных водоемов изменяется от 33,03 до 173,30 мг/дм³ при среднем значении 66,13 мг/дм³, что в относительном выражении составляет 19,6–54,7 %-экв (в среднем 34,2 %-экв). Для большинства этих водоемов характерен хлоридно-гидрокарбонатный анионный класс вод,

который является аazonальным для природных условий Беларуси. Столь высокое содержание хлоридов в воде городских водоемов обусловлено их поступлением с талым снеговым стоком в результате внесения большого количества противогололедных песчано-солевых смесей на улицы города в зимнее время. Это подтверждается и высокими концентрациями ионов натрия: в воде водоемов, для которых характерна сильная и очень сильная степень трансформации по хлоридам, содержание натрия изменяется в пределах 12,80–121,80 мг/дм³, составляя в среднем 39,02 мг/дм³, а в относительном выражении – от 13,8 до 62,7 %-экв при среднем значении 29,3 %-экв. При этом для водоемов с очень сильной степенью трансформации в среднем характерен аazonальный кальциево-натриевый класс вод (таблица 2).

Таблица 2. Содержание хлоридов и натрия в воде водоемов с различной степенью гидрохимической трансформации по хлоридам

Степень трансформации	Количество водоемов	Содержание хлоридов		Содержание натрия		Тип воды
		мг/дм ³	%-экв	мг/дм ³	%-экв	
Слабая	7	<u>3,88–13,59*</u>	<u>5,8–31,1</u>	<u>1,40–17,00</u>	<u>8,2–29,7</u>	Гидрокарбонатный магниево-кальциевый
		9,32	16,7	7,69	17,5	
Средняя	12	<u>20,00–30,00</u>	<u>12,4–35,9</u>	<u>5,60–29,60</u>	<u>9,7–37,6</u>	Гидрокарбонатный магниево-кальциевый
		24,49	21,0	17,40	21,6	
Сильная	17	<u>33,03–58,28</u>	<u>21,0–48,0</u>	<u>12,80–31,20</u>	<u>13,8–41,6</u>	Хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый
		44,18	31,0	22,38	24,1	
Очень сильная	6	<u>70,00–173,30</u>	<u>19,6–54,7</u>	<u>56,60–121,80</u>	<u>23,6–62,7</u>	Хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый
		128,30	43,4	86,20	44,1	

* В числителе – пределы содержания, в знаменателе – среднее значение.

Что касается биогенных элементов, то сильная степень трансформации по азоту нитратному выявлена только для одного водоема, являющегося приемником вод поверхностного стока с территории коттеджной застройки возле вдхр Дрозды. Для этого же водоема характерна очень сильная степень трансформации по азоту нитритному (концентрация превышала ПДК в 7,4 раза). Кроме того, очень сильная степень трансформации по азоту нитритному характерна для искусственного водоема, созданного в пределах бывшего болотного массива в микрорайоне Уручье (концентрация в 5,0 раз выше ПДК).

Сильная и очень сильная степень трансформации по фосфору фосфатному выявлена для двух водоемов: естественного водоема, расположенного в пределах заболоченной территории, примыкающей к сельхозугодьям, и искусственного водоема-копани в пределах моренной возвышенности, также окруженного сельхозполями. Концентрации фосфора фосфатного в воде данных водоемов составили, соответственно, 1,50 и 0,09 мгР/дм³ (в 22,3 и 1,4 раза выше ПДК). Можно предположить, что столь высокое содержание фосфора фосфатного в воде данных водоемов обусловлено его выносом с сельскохозяйственных угодий.

Азот аммонийный – наиболее распространенный из биогенных элементов в воде МГВО на территории г. Минска. Сильная и очень сильная степень трансформации по данному показателю

выявлены для девяти водоемов различного генезиса. Содержание азота аммонийного в воде данных водоемов превышало ПДК в 1,2–8,0 раз.

Сумма баллов по пяти первичным индикаторам превысила 10 баллов, указав на превышение ассимиляционного потенциала вод пяти водоемов. Среди них уже упомянутые водоем-приемник вод поверхностного стока (13 баллов – хлориды, азот нитратный и нитритный), естественный водоем в пределах заболоченной территории, примыкающей к сельхозугодьям (12 баллов – фосфор фосфатный, азот аммонийный) и искусственный водоем в микрорайоне Уручье (11 баллов – хлориды, азот нитритный). Кроме того, превышен ассимиляционный потенциал искусственного водоема-копани, расположенного в пойме малой р. Лошицы ниже Лошицкого вдхр (12 баллов – хлориды, азот аммонийный), а также вдхр Стайки (11 баллов – хлориды, азот аммонийный).

В качестве дополнительных индикаторов рассматривались концентрации нефтепродуктов и тяжелых металлов – меди, цинка, кадмия, свинца, никеля и марганца, как наиболее часто встречающихся в компонентах природной среды городов. Установлено, что на момент обследования нефтепродуктами были загрязнены воды 12 водоемов – превышение ПДК составило от 1,3 до 9,6 раза. Загрязнение водоемов никелем, кадмием и свинцом выявлено не было. Предельно допустимая концентрация меди превышена в водах 17 водоемов (от 1,2 до 13,8 раза), цинка – 14 водоемов (от 1,1 до 11,5 раза), марганца – 30 водоемов (от 1,2 до 15,9 раза).

Наиболее загрязненными по количеству дополнительных индикаторов (четыре из шести) являются искусственный водоем-копань в парке Тивали, остаточные водоемы в пойме малой р. Лошицы вдоль ул. Е. Гедройца, а также уже упоминавшийся декоративный водоем в пойме р. Лошицы.

Выводы

Таким образом, проведенное скрининговое обследование 42 малых водных объектов на территории г. Минска показало, что основными веществами, приводящими к их гидрохимической трансформации и загрязнению, являются хлориды, азот аммонийный, нефтепродукты, медь, цинк и марганец. Выявлены наиболее загрязненные водоемы, для которых характерно превышение ассимиляционного потенциала.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Х19-012 «Геоэкологическая оценка малых городских водных объектов для целей оптимизации градостроительного планирования»).

Литература

1. Эволюция малых городских водных объектов и выбор историко-экологического прототипа для проектов их обустройства / В.Н. Безносков [и др.] // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2006. – № 2 (14). – С. 36–42.
2. Овчарова, Е.П. Геоэкологические критерии для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях / Е.П. Овчарова, О.В. Кадацкая // Природопользование. – Вып. 26. – Минск, 2014. – С. 25–30.
3. Овчарова, Е.П. Состояние водных объектов урбанизированных территорий (на примере городов Минской области) / Е.П. Овчарова, Е.В. Санец, О.В. Кадацкая // Природопользование. – Вып. 29. – Минск, 2016. – С. 65–75.
4. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 30 марта 2015 г. № 13 / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.04.2015, 8/29808.

5. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. – 290 с.
6. Кадацкая, О.В. Пространственно-временные аспекты формирования техногенных гидрохимических аномалий (на примере рек Беларуси) / О.В. Кадацкая, Е.В. Санец, Е.П. Овчарова // Материалы IV Международного Водного Форума «Стратегические проблемы охраны и использования водных ресурсов», 12–13 октября 2010 г., Минск. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – С. 161–165.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО ПОТОКА В УСЛОВИЯХ ПОДПОРА

Н.А. Саноцкая

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

LABORATORY MODELING OF A RIVER FLOW UNDER CONDITIONS OF AFFLUENT

N. Sanotskaya

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

В статье представлена теоретические основы лабораторного моделирования речного потока в условиях подпора и выведены уравнения сохранения массы и количества движения.

The article presents the theoretical foundations of laboratory modeling of river flow under conditions of backwater and derived equations of conservation of mass and momentum.

Теоретической основой моделирования речного потока в условиях подпора являются уравнения сохранения массы (неразрывности) и количества движения.

Рассмотрим элементарные одномерные уравнения для прямоугольного канала постоянного сечения. В этом случае уравнение сохранения массы (при $\rho = \text{const}$) [1, 2]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где u – скорость вдоль оси x , м/с,
 h – глубина воды, м,
 t – время, с,
 x – координата в горизонтальной плоскости, м,
 ρ – плотность, кг/м³.

Уравнение количества движения в общем виде (при $\rho = \text{const}$)

$$\frac{\partial}{\partial t}(uh) + \frac{\partial}{\partial x}\left(u^2h + \frac{gh^2}{2}\right) - ghi = 0, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, принимаемое 9,81 м/с²,
 i – уклон дна.

Если превышение дна относительно определенного уровня принять равным z (рис. 1), то баланс составляется для элемента жидкости глубиной h , а градиент скорости в уравнении количества движения можно выразить через $h + z$. В этом случае уравнение сохранения массы остается неизменным, а баланс количества движения изменяется.

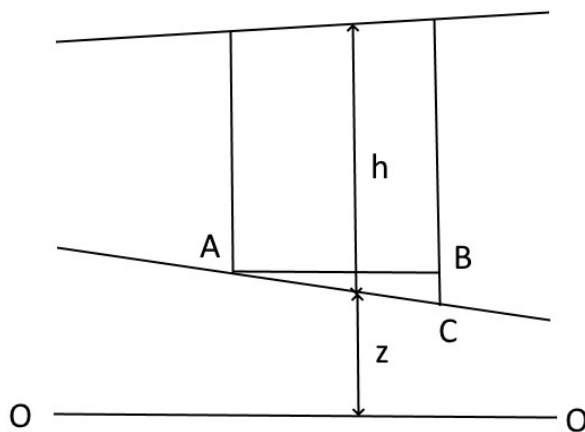


Рис. 1. К выводу динамического уравнения с учетом подпора

Так как давление в квазигоризонтальных течениях гидростатическое, то треугольный элемент ABC находится в статическом равновесии, а горизонтальная компонента силы, действующей со стороны дна на AC, уравнивает горизонтальную силу, действующую на элемент через BC. Скорость аккумуляции количества движения равна

$$dx \frac{\partial}{\partial t} (\rho u h) dt, \quad (3)$$

а член, определяющий импульс, принимает вид

$$\rho g h \frac{\partial}{\partial x} (h + z) dx dt. \quad (4)$$

Таким образом, закон сохранения (1) переходит в уравнение

$$\frac{\partial}{\partial t} (uh) + \frac{\partial}{\partial x} (u^2 h) + gh \frac{\partial}{\partial x} (h + z) = 0, \quad (5)$$

Поскольку $\partial z / \partial x = -i$, уравнения (2) и (5) эквивалентны. Данные уравнения предполагают, что жидкость идеальна. Для перехода к реальной жидкости необходимо учесть касательные напряжения, передаваемые через нетурбулентный подслой ко дну. Донное сопротивление представим через касательное напряжение на дне τ , Па, действующего в направлении, противоположном скорости потока.

Тогда уравнение количества движения можно записать (при $\rho = \text{const}$) как

$$\frac{\partial}{\partial t} (uh) + \frac{\partial}{\partial x} (u^2 h) + gh \frac{\partial}{\partial x} (h + z) + \frac{\tau}{\rho} \text{sign } u = 0, \quad (6)$$

где $\text{sign } u = +1$, когда u положительно, и $\text{sign } u = -1$, когда u отрицательно. Существует ряд формул сопротивления, выражающих τ через u , h и характеристика дна. Так, используя закон Шези, получаем следующее выражение

$$\frac{\partial}{\partial t} (uh) + \frac{\partial}{\partial x} (u^2 h) + gh \frac{\partial}{\partial x} (h + z) + \frac{gu|u|}{C^2} = 0, \quad (7)$$

где C – коэффициент Шези.

В лаборатории кафедры водно-технических изысканий Российского государственного гидрометеорологического университета проведена серия экспериментов в прямоугольных лотках с переменным уклоном и подтверждена справедливость использования уравнения (7).

Литература

1. Эббот М.Б. Гидравлика открытого потока. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
2. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 358 с.

СООТНОШЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

В.Б.Сапунов, Санкт-Петербургский Государственный Аграрный университет, Европейский союз наук о Земле.

sapunov@rshu.ru

COMBINATION OF STATIC AND DINAMIC MODELS WITHIN ECOLOGICAL FORECAST

V.B.Sapunov, St. Petersburg State Agrarian university, European Geosciences union, sapunov@rshu.ru

Рост нестабильности эколого-климатических процессов, увеличение числа стихийных бедствий, наблюдается с начала 21 века и требует совершенствования методов эколого-климатических прогнозов. Особо значение приобретает логико-математическое моделирование, сочетающее два типа моделей - динамические и статические. Динамические основаны на анализе трендов и их экстраполяции на будущее с учетом возможности изменения динамики процессов. Статические модели более дешевы и более наукоемки. Они основаны на оценке состояния систем (в первую очередь экологических) на данный момент с учетом элемента опережающего отражения, свойственного живым системам. Способность животных предчувствовать катаклизмы как естественного, так и антропогенного генезиса подтверждается многочисленными наблюдениями, однако механизм этой способности не раскрыт. Мониторинг за поведением животных может быть основой прогнозов и создания статических прогностических моделей. Важное и мало разработанное направление экологического прогноза – феногенетическая индикация. Она основана на анализе феногенетических характеристик биологических популяций, количественной и качественной изменчивости, соотношения полов, полового диморфизма. Уровень развития популяционной и экологической генетики делает этот метод перспективным направлением экологического прогноза.

The growth of instability of environmental-climatic processes, an increase in the number of natural disasters, has been observed since the beginning of the 21st century and requires the improvement of methods of environmental-climatic forecasts. The economic situation makes relevant low-cost and progressive forecasting methods. Of particular importance is the logical-mathematical modeling, combining two types of models - dynamic and static. Dynamic based on the analysis of trends and their extrapolation for the future, taking into account the possibility of changing the dynamics of processes. Static models are cheaper and more intellect. They are based on an assessment of the state of the systems (primarily ecological) at the moment, taking into account the element of anticipatory reflection characteristic of living systems. The ability of animals to anticipate the cataclysms of both natural and anthropogenic genesis is confirmed by numerous observations, but the mechanism of this ability has not been disclosed. Monitoring the behavior of animals can be the basis of predictions and the creation of static prognostic models. An important and little developed direction of environmental forecasting is the phenogenetic indication. It is based on the analysis of morphologic characteristics of biological populations, quantitative and qualitative variability, sex ratio, sexual dimorphism. The level of development of population and ecological genetics makes this method a promising direction of environmental forecasting. Comprehensive assessment of remote and contact monitoring data can be the basis for integrated static and dynamic modeling and a promising direction for the development of environmental safety.

Высокая степень познания процесса – возможность предсказывать его динамику. Высшая – возможность управлять. Ни один прогноз не может быть абсолютно достоверным, особенно,

когда речь идет о сложных системах, таких как биологические, экологические или климатические. Вместе с тем современные научные методы позволяют сделать прогноз относительно достоверным, превышающим случайное угадывание на основе статистических критериев доверительной вероятности. С начала XXI века началась устойчивая тенденция роста числа стихийных бедствий и катастроф. К 2015 году их число в мире в пересчете на единицу времени увеличилось по сравнению с XX веком приблизительно в 2 раза [1, 2]. Понимание причин и предсказание экстремальных событий требует комплексных усилий на основе синтеза разных наук. Фактором, снижающим риск, является постоянный мониторинг, включающий как дистанционные, так и контактные методы [3, 4]. Мониторинг дает возможности создания прогностических моделей. Модели делятся на динамические и статические. Динамические анализируют динамику процесса и прогнозируют ее на будущее. Статические оценивают перспективы развития системы (в том числе в сторону развития экстремальной ситуации) на основе состояния системы на данное время. Одним из вариантов статического моделирования является фенотипическая индикация, основанная на анализе фенотипических параметров природных популяций [3,5].

Всякое знание относительно. Один из методов частичного познания – моделирование. Под моделью системы А понимается система В, имеющая общие черты с системой А, но проще устроенная, причем изучая систему В можно получить значимые сведения о системе А. Так, фотопортрет может быть моделью человека. Модели бываю материальные и идеальные. Так, аквариум можно рассматривать как материальную модель водоема. Набор уравнений и графиков, описывающих экологическую систему можно рассматривать как идеальную (виртуальную) модель данной системы.

Динамическое моделирование

Динамическое моделирование основано на анализе тенденции развития во времени и ее экстраполяции на будущее. При этом необходимо учитывать два философских положения:

1. Ни один процесс не может бесконечно развиваться по одному и тому же закону.
2. Экстраполировать процесс можно на время не более $1/3$ от времени его предыдущего развития.

Недоучет этих обстоятельств приводит к неблагоприятным последствиям. Особенно остро проблема динамических прогнозов встала в связи с динамикой глобальных температур. Так, во второй половине XX в. Римским клубом была предложена схема непрерывного роста температуры за счет выброса человека углекислого газа и парникового эффекта. Придание этим прогнозам законодательного статуса привело к ряду международных документов (такие, как Киотский протокол), ограничивающих развитие промышленности и транспорта, что особенно сильно ударило по экономическим интересам России. США эту модель развития климата не признали и соответствующие документы не подписали. На самом деле версия глобального потепления на основе социального фактора не достоверна по трем причинам [6,7].

1. Выбросы углекислого газа, связанные с деятельностью человека меньше, чем происходящие по естественным причинам.
2. Парникового эффекта в атмосфере не может быть по законам физики. (В свое время автор предложил для обозначения задержки инфракрасного излучения термин «псевдопарниковый эффект [6]).
3. В основе динамики климата лежат многолетние циклы, обусловленные космическими и глобальными причинами.

Автор настоящей работы оценил сочетание длинных и коротких циклов оледенений и пришел к выводу, что в 21 веке температура начнет снижаться. При этом повысится нестабильность климата, что мы и наблюдаем [2,4,5]. На рисунке 1 показана динамика мировых температур за 2000 лет, дающая возможность делать относительные прогнозы с учетом выявляемых трендов и уровня стабильности.

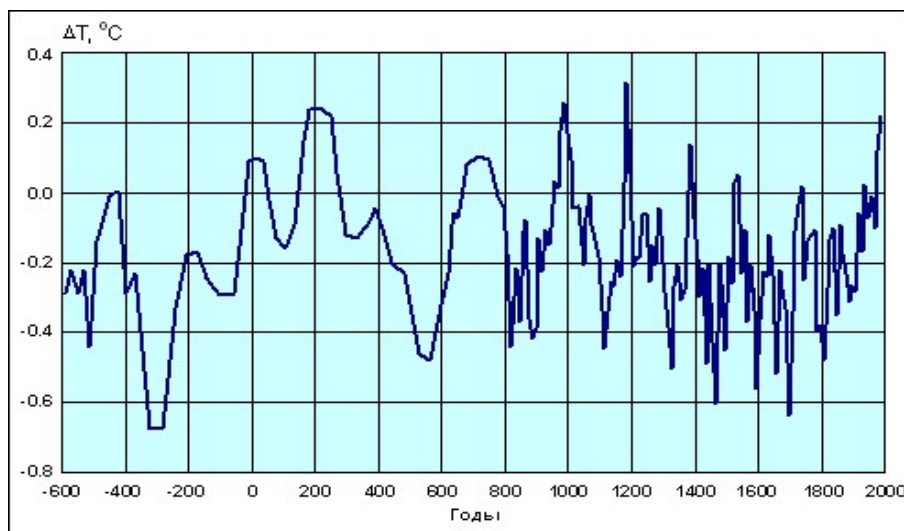


Рис. 1. Динамика мировой температуры за 2600 лет.

Статическое моделирование

В отличие от динамического моделирования, основанного на длительных наблюдениях, статическое позволяет делать прогнозы на основе краткосрочного анализа состояния системы на данный момент. Одной из составляющих такого способа прогноза может быть анализ состояния биологических систем, которое отражает давление со стороны окружающей среды и содержит элемент проскопии, т.е. предсказание будущих энергетически значимых процессов.

Метод феногенетической индикации развивается с прошлого века [5] и находит применение в изучении экосистем, как дополняющий математическое моделирование [8]. Практическое применение большинства математических моделей природных популяций требует знания многих переменных, которые можно измерить только путем долгих и дорогостоящих исследований в природе. Подобные длительные комплексные наблюдения не всегда возможны и для большинства видов и экосистем не производились. Компенсация недостатка исходных данных может быть осуществлена на основе наукоемкого подхода с учетом достижений экологической науки. В таблице I представлена гипотетическая схема зависимости направления изменения популяции от экологических процессов. Задачу сформулируем так: можно ли на основе краткосрочного или даже единовременного анализа состояния популяций определить, к какой из возможных категорий она относится, какова ее дальнейшая судьба и какая минимальная информация требуется для предсказания судьбы популяции и экологической системы?

Экологическая система включает в себя взаимодействующие популяции и окружающую их среду. Популяция характеризуется следующими признаками. Численность. На основании ее абсолютного значения выводы делать трудно. Более существенная характеристика – закон изменения численности (N_t) по времени (t). Неограниченный рост популяции описывается уравнением:

$$N_t = N_0 e^{kt}$$

Основой для феногенетической индикации является совокупность следующих параметров: Изменчивость по количественным признакам (W_{Qn}), изменчивость по качественным

признакам (W_{QL}), доля самцов (P_{σ}) и доля атипичных форм (P_{af}). Алгоритм обработки данных рассмотрен в предыдущих работах [6,8], окончательные данные по оценке представлены в таблицах 1 и 2.

Табл. 1. Возможная динамика популяции в зависимости от экологических условий

генетический состав	стабильный	нестабильный
численность		
стабильная или циклически меняющаяся	стабильные, благоприятные условия.	медленные изменения среды, влекущие изменения генетического состава
экспоненциально убывающая	резко неблагоприятные условия, к которым нельзя адаптироваться	относительно неблагоприятные условия, приводящие к сокращению численности
экспоненциально возрастающая	улучшение условий обитания и расширение возможного ареала популяции	качественная перестройка экологической среды в лучшую сторону

Табл. 2. Возможные объяснения результатов оценки состояния популяции

Популяционный параметр	Значение параметра	Возможное объяснение
1. Изменчивость по количественным признакам	$W_{Qn} < 2.67$	популяция в стабильных экологических условиях
	$W_{Qn} > 2.67$	популяция генетически разбалансирована
2. Характер распределения количественных признаков	симметричный	популяция стабильна или стрессирована
	ассимметричный	идет адаптация к новым условиям
	сильно ассимметричный	адаптивные потенции в популяции исчерпаны
	бимодальный	в популяции в норме есть диморфизм, или идет дизруптивный отбор
3. Изменчивость по качественным признакам	$W_{QL} < 1.4$	популяция стабильна
	$W_{QL} > 1.4$	популяция дестабилизирована
4. Доля самцов	$P_{\sigma} = 0.5$	популяция стабильна
	$P_{\sigma} < 0.5$	популяция высокостабильна

	$P_{af} > 0.5$	идет адаптация к новым условиям
	$P_{af} \gg 0.5$	адаптивные возможности исчерпаны, возможно вымирание
5. Доля атипичных форм	$P_{af} < 0.05$	популяция стабильна
	$P_{af} \gg 0.05$	популяция дестабилизирована

Заключение

В условиях недостаточного финансирования экологического и климатического мониторинга целесообразно использование сравнительно недорогих и высоко наукоемких методов экологического и метеорологического прогноза. Таковыми могут быть методы фенотипической индикации и комплексного моделирования с использованием динамических и статических моделей. Особо актуальными эти методы становятся в 21 веке, когда количество катастроф и стихийных бедствий возросло по сравнению с прошлым веком приблизительно в 2 раза.

Литература

1. Global catastrophic risks. Ed. N. Bostrom and M. Circvic. Oxford univ press, 2012, 550 p.
2. www.egu2014-2018.
3. Sapunov V.B., Voronov N.V., Environmentally friendly methods of struggle with unwanted alien organisms in the Baltic sea area // XV Intern Environ forum “Baltic sea day”, 2014, p. 220.
4. Сапунов В.Б., Традиционные и нетрадиционные методы предсказания стихийных бедствий // Труды II всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», С-Пб, 2018, 577 – 580.
5. Сапунов В.Б. О возможности количественной оценки направления микроэволюционного процесса на основе краткосрочного анализа популяции // Биол. науки, №4, с. 62 – 68.
6. Сапунов В.Б. Грядет глобальное похолодание. М., АСТ, 2011, 249 с
7. Sapunov V. Temperature in the Arctic and Antarctic: The different directed trends // Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development and Sustainability in the Arctic. IGI Global, Hershey, USA, 2019, p. 416 – 428.
8. Sapunov V.B. Prediction of natural disasters basing on chrono-and-information field characters // Geophysical Research Abstract, Vol. 15, EGU2013-53.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКИХ ЛЬДОВ НА СУДОХОДСТВО И ВОЗНИКНОВЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В.Ю. Третьяков^{1,2}, М.И. Сарафанов^{3,4}, В.Е. Федяков¹, С.В. Фролов¹

¹ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ)», Санкт-Петербург, Россия

²Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Российская Федерация, Санкт-Петербург

V.Yu. Tretyakov^{1,2}, M.I.Sarafanov^{3,4}, V.E. Fedyakov¹, S.V. Frolov¹

¹The State Scientific Center of the Russian Federation "Arctic and Antarctic Research Institute", St. Petersburg, Russia

²Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³The State Scientific Center of the Russian Federation «State Hydrology Institute», Russian Federation, Saint Petersburg

⁴Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Russian Federation, Saint Petersburg

Рассматривается методика компьютерного моделирования влияния морских льдов на условия плавания и возникновения аварийных ситуаций из-за сжатий дрейфующих льдов.

There is considered method of computer simulation of the influence of sea ice on the conditions of navigation and the occurrence of accident situations due to compression of drifting ice.

На совещании во время посещения В.В. Путиным Земли Франца-Иосифа в марте 2017 г. Президент России напомнил, что значение Арктического региона для укрепления позиций России в мире и обеспечения экономических интересов огромно. Разведанные запасы газа промышленных категорий Арктической зоны составляют 80% общероссийских. В этом районе сосредоточено 90% извлекаемых ресурсов углеводородов всего континентального шельфа России, в том числе 70% — на шельфах Баренцева и Карского морей. По оценкам Российской академии наук, в Арктической зоне сконцентрирована подавляющая доля общероссийских и общемировых запасов, в том числе золота — 40 %, нефти — 60 %, газа — от 60 до 90 %, из них 30 % мировых, хрома и марганца — 90 %, платиновых металлов — 47 %, коренных алмазов — 100 %. Обширная зона шельфа северных морей Российской Федерации с богатыми природными ресурсами вместе с биоресурсами 200-мильной экономической зоны России создают предпосылки для долгосрочных структурных преобразований, ориентированных на промышленное освоение морской акватории Севера и Арктики. Согласно докладу Всемирного нефтяного совета (WPC), к 2030 году именно Российская Федерация будет получать 55 % от всех добываемых в Арктической зоне углеводородов [1].

Поэтому необходимо обеспечение на высоком уровне безопасности функционирования морских транспортных систем в Арктическом регионе. Их гидрометеорологическое обеспечение включает выполнение работ для двух временных масштабов: оперативную поддержку отдельных плаваний судов и караванов, заключающуюся в прогнозировании оптимальных маршрутов плаваний в конкретные временные интервалы непосредственно после разработки прогноза; стратегическое планирование морской транспортной системы, включающее оценку вероятности возникновения аварийных ситуаций за весь период её функционирования, т.е. не менее 20-30 лет, и оценку различных видов ущерба, в том числе ущерб судовладельцев, грузовладельцев и экологический ущерб. Особенно велик ущерб последнего типа при аварийных разливах нефти, нефтепродуктов, газового конденсата и сжиженного газа. Ледяной покров Северного Ледовитого океана – это основной фактор, создающий трудности для мореплавания и источник риска возникновения аварийных ситуаций [2].

В условиях ледовых плаваний аварийные ситуации могут возникать из-за столкновений судов, посадок судов на мели, навалов судов на береговые терминалы, столкновений судов с нефте- и газодобывающими морскими платформами, столкновений судов с льдинами, торосистыми образованиями, стационарными и снявшимися с мели стамухами, айсбергами и их обломками. Перечисленные выше инциденты вызываются «человеческим фактором», поскольку при соблюдении правил безопасного судоходства и исправном радиолокационном оборудовании вероятности их возникновения снижаются до близких к нулю величин.

Форс-мажорным обстоятельством является другая причина возникновения аварий – сжатие судна дрейфующими льдами. Одна из целей данного исследования заключалась в тестировании компьютерной модели оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций на маршруте плаваний «Сабетта - Мурманск» (рис. 1) из-за сжатия судов льдами.

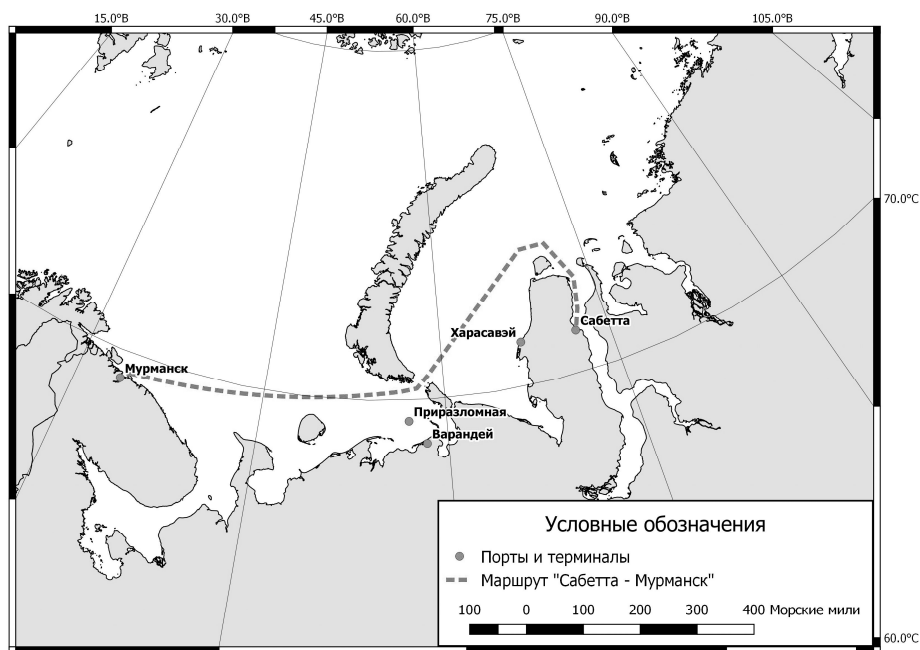


Рис. 1. Карта маршрута, для которого выполнено тестирование модели оценки вероятности аварийных ситуаций из-за сжатия дрейфующих льдов

Методика

Интегральной мерой сложности ледового плавания служат средняя скорость движения судна определённого типа во льдах и/или затраты времени для прохождения судном маршрута или его участка. В ААНИИ разработана модель движения судов различных типов в условиях существования ледяного покрова [3]. Модель основана на результатах обработки данных специальных судовых ледовых наблюдений ААНИИ и параметров ледового плавания судов различных типов за ряд десятилетий. Ледовыми параметрами модели служат значения сплоченности не более чем 4-х возрастных градаций льдов, преобладающие формы льдов этих градаций (размеры льдин), их толщины, торосистость и степень разрушенности льда. Для оценки изменения условий ледового плавания по определённому маршруту используются результаты обработки ледовых карт из Архива ААНИИ за 1997-2019 гг., полученных путём векторизации спутниковых снимков в шейпфайлы ESRI [4]. Их таблицы атрибутов содержат информацию об общей сплоченности, типе льдов – дрейфующие или припай, частных концентрациях льдов разных возрастных категорий, возрастах и формах льдов. Таблицы, относящиеся к периоду летнего таяния льдов (июль – сентябрь) содержат сведения только об общей сплоченности и формах льдов. Разумеется, эта информация не столь детальна по сравнению с данными специальных судовых наблюдений за ледяным покровом, но зато охватывает всю акваторию Северного морского пути и отражает внутригодовую изменчивость: на каждый месяц приходится от 3 до 5 космических съёмок акватории. Поэтому возможен анализ межгодовой изменчивости параметров ледяного покрова и степени сложности ледового плавания по отдельным внутригодовым декадам.

Расчёты параметров модели движения судов во льдах выполняются следующим образом. В среде ГИС (ArcGIS или Quantum GIS) рассчитывается протяжённость маршрута в морских милях, при необходимости выполняется объединение шейпфайлов ледовой информации по разным морям в один шейпфайл. Вокруг маршрута строится буферная зона шириной 20 км, т.к. 10 км – это расстояние, в пределах которого судоводитель в условиях хорошей видимости может выискивать участки с наиболее благоприятными условиями плавания, рассчитывается её площадь. Затем выполняется оверлейная операция пересечения слоя ледовой информации и буферной зоны, в слое результата объединяются пространственные объекты с совпадением всех характеристик ледяного покрова, и рассчитываются площади полученных объектов – зон с различными параметрами льда в пределах буферной зоны. Вычисляется отношение площади каждого объекта к общей площади буферной зоны, т.е. определяется доля, которую в этой зоне занимает ледяной покров с определённым набором характеристик. Общая протяжённость маршрута умножается на значения этих долей: результат – средняя протяжённость маршрута во льдах с определённым сочетанием параметров.

Таблицы атрибутов шейпфайлов не содержат сведений о толщинах льдов. Поэтому для определения толщин однолетних льдов, необходимых для расчётов продолжительности плавания, используются результаты интерполяции и экстраполяции результатов мониторинга толщины припая на береговых станциях, разумеется, с учётом степени суровости зим. При этом рост толщины дрейфующих льдов запаздывает по сравнению с ростом толщины припая в суровые зимы на 2 декады, на 3 – в умеренные, и на 4 – в мягкие [5]. В среде ГИС выполняется интерполяция значений толщины, затем определяются средние значения толщин в пределах однородных ледовых зон буфера маршрута. Торосистость на маршруте задаётся по средним значениям. Параметры всех зон маршрута записываются во внешний текстовый файл, служащий источником данных для компьютерной программы модели плавания судов во льдах, разработанной В.Е. Федяковым.

Расчёты выполняются для атомного ледокола типа «Арктика». Такой подход позволяет объективно оценить изменения условия ледового плавания.

Для оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций из-за сжатий дрейфующих льдов В.Ю. Третьяковым разработана имитационная компьютерная модель, основанная на методе Монте-Карло. Данный метод хорошо подходит для моделирования случайных событий, которые наступают при совпадении некоторых значений параметров. В модели аварийная ситуация возникает, если при сжатии льдов прочность льда оказывается выше прочности судна. Прочность элементов корпуса судна рассчитывается в соответствии с требованиями Российского Морского Регистра [6]. Источниками значений параметров модели являются статистические распределения протяженности маршрута в сплоченных льдах, относительной протяженности маршрута в сплоченных льдах при наличии льдов разных возрастных градаций, вероятности сжатий, длин участков пути со сжатиями и без, толщины ровного льда самой возрастной градации, общей торосистости, доли грядовой торосистости, отношения ширины гряд торосов к их высоте, толщины консолидированного слоя торосов и т.д. Конкретные значения параметров модели для расчётов определяются с помощью генератора случайных чисел и статистических распределений параметров. Выдаваемое генератором случайное число в диапазоне 0-1 рассматривается как значение интегральной функции распределения (статистического распределения) данного параметра модели. По нему определяется соответствующее значение аргумента функции – величина параметра модели.

При подготовке статистических распределений параметров модели использованы литературные источники, данные экспедиций и наблюдений на станциях, карты ледовой обстановки из архива ААНИИ. Обработка электронных карт выполнена при помощи написанных на языке Python программ в среде ГИС ArcGIS. Отношение числа аварийных ситуаций к общему числу плаваний рассматривается в качестве оценки вероятности возникновения аварийной ситуации.

Имитация плаваний возможна как с автоматическим, так и принудительным завершением серии плаваний. Автоматическое прекращение серии плаваний происходит при стабилизации отношения числа аварий к числу плаваний. Пусть A – отношение числа аварий к числу плаваний по завершении данной имитации плавания, а B – отношение числа аварий к числу плаваний при предыдущей имитации. Недопустимая разность значений равна произведению $A * 0.001$. Если модуль разности отношений $|A - B|$ оказывается меньше недопустимой разности, то в модели происходит автоматическое прерывание серии плаваний. Это выполняется также при имитации 10001 безаварийного плавания.

Однако приходящееся на данную внутригодовую декаду число плаваний за весь период эксплуатации данной морской транспортной системы может быть гораздо меньшим, чем число имитаций плаваний, при котором происходит автоматическое прекращение серии плаваний. Поэтому необходимо выполнение не менее 30 численных экспериментов с принудительным прерыванием серий плаваний по достижении числом плаваний в серии их количества, приходящегося на данную декаду за весь ожидаемый срок эксплуатации морской транспортной системы. В этом случае вероятность аварийной ситуации рассматривается как случайная величина со своими статистическими характеристиками.

Тестирование модели выполнено для маршрута «порт Сабетта – пролив Карские Ворота – Мурманск» при ледовых условиях, характерных для первой декады мая, и судна водоизмещением 70 тыс. тонн с классом ледовых усилений корпуса Arc7. Исследовано влияние на вероятность аварийных ситуаций различных параметров модели. Проведены численные эксперименты с

фиксированными минимальными и максимальными значениями параметров модели в соответствии с их статистическими распределениями, и выполнено сравнение рассчитанных вероятностей аварийных ситуаций. Например, сравниваются эксперименты с отсутствием торосов и с покрытием льдов торосами на 90-95% площади. Обработка результатов экспериментов выполнена с помощью разработанных на языке R программ.

Результаты

Тестирование модели показало, что вероятность возникновения аварийных ситуаций наиболее чувствительна к изменению следующих параметров (в порядке убывания чувствительности): вероятности сжатий, общей торосистости, протяженности маршрута в сплоченных льдах, длине участков пути со сжатиями, протяженности однородных ледовых зон, толщине консолидированного слоя гряд торосов, толщине толстых однолетних льдов. При отсутствии торосов аварийные ситуации не происходят. На вероятность аварийных ситуаций практически не влияют изменения следующих параметров модели: длины прямолинейных участков гряд торосов, толщины средних однолетних льдов, относительной протяженности пути в сплоченных льдах при наличии молодых и толстых однолетних льдов.

Литература

1. Официальный сайт Президента России <http://kremlin.ru/events/president/news/54147>
2. G.W. Timco, W.F. Weeks, A review of the engineering properties of sea ice // Cold Regions Science and Technology, Volume 60, Issue 2, February 2010, pages 107-129. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.10.003
3. R.I. May, V.E. Fedyakov, S.V. Frolov, O.V. Tarovik, A.G. Topaj, Method to Optimize Ship Route in Ice-Covered Waters Based on Vector Polygons // Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, June 16-21, 2019, pages 878-885. ISBN 978-1 880653 85-2; ISSN 1098-6189
4. Бресткин С.В., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С., Фоломеев О.В., 2016. Обеспечение гидрометеорологической безопасности в Арктическом регионе. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктическом регионе. Безопасный город в Арктике. Международная научно-практическая конференция. Материалы конференции. МЧС России. 2016. С. 68 - 72.
5. Разработка методов прогноза типов ледовых условий в юго-западном и северо-восточном районах Карского моря в зимний период (октябрь-июнь), с заблаговременностью до трех суток и на тридцать суток. – отчет ФГБУ «ААНИИ», науч. рук. проекта – д. г. н. Е.У. Миронов, 2015
6. Российский Морской регистр судоходства. Электронный аналог печатного издания, утвержденного 03.10.17. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус. НД 2-020101-104/ Санкт-Петербург, 2018.
<https://rs-class.org/forms/view.php?pdf=/upload/iblock/df6/df679b436a2225de4f256234210fc344.pdf>

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДОЕМА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА СУУРИ

Седова С.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

DEVELOPMENT OF METHODS FOR THE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE WATER OBJECT ON THE EXAMPLE OF LAKE SUURI

Sedova S.A.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

Исследования оценки экологического статуса водных объектов в последние годы сопровождаются переходом к методам интегрального оценивания. В исследовании поднимаются вопросы построения многоуровневых и многокритериальных классификаций экологического статуса, этапы и результаты исследования.

Studies of the assessment of the ecological status of water objects in recent years have been accompanied by a transition to integrated assessment methods. The study raises the questions of constructing multi-level and multi-criteria classifications of ecological status, stages and results of the study.

Введение

До недавнего времени термин «экологический статус» не использовался в отечественной литературе в отличие от зарубежной. Под оценкой экологического статуса понималась параметрическая оценка состояния окружающей среды, обуславливающая развитие биоты на определенной территории.

В России данные исследования развивались под углом зрения оценки продуктивности водоемов, качества и токсического загрязнения природных вод, оценки эмерджентных свойств водных объектов, а также разработки экологических паспортов предприятий. В этих исследованиях традиционно использовались термины «трофический статус», «качество воды», «устойчивость» и др. Затем, основу исследований стали составлять интегральные показатели подсистем и интегральные показатели последнего уровня свертки, характеризующего целостность системы, которые получили название интегральных или сводных показателей, которые отражали интегративность систем, и позволяли сравнивать состояние систем в пространстве и времени или выявлять эффекты взаимосвязи и взаимодействия систем (подсистем), не аддитивные по отношению к внутрисистемным эффектам.

За рубежом в связи с разработкой Европейской Рамочной Водной Директивой (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy [1]) регламентируются исследования политики охраны, использования и управления водными ресурсами для гармонизации и унификации подходов в странах ЕС. Основную цель Директивы представляют, как «достижение экологического благополучия или высокого экологического статуса для всех водных систем» [2].

Исследования оценки экологического статуса водных объектов в последние годы сопровождаются переходом к методам многокритериального и интегрального оценивания.

Объектом исследования является озеро Суури в Ленинградской области. Озеро Суури имеет площадь 0,3 км², протяженность 1,250 км с запада-северо-запада на восток. Это молодое озеро, сформировавшееся после регрессии послеледникового бассейна. К озеру Суури с юго-востока и юга подходят сельги, уходящие вглубь под воду. Наибольшая глубина озера приурочена к его юго-восточной части, между берегом и самым крупным из трех островов. Близ низменных побережий озера хорошо выражены зоны зарастания и сплавины.

Как и у других мелких озер района, у озера Суури наблюдается весеннее половодье и относительно устойчивая летняя и зимняя межень. Максимальный уровень воды наблюдается в мае-июне, а летний минимум – в июле-августе. Зимнее понижение уровня имеет место в конце зимы.

Теоретико-методологические основы исследования.

Под интегральной оценкой понимается оценка, предполагающая наличие этапа, связанного с объединением в одно целое ранее разнородных (многокритериальных) оценок с учетом весомости их вклада в общую оценку [3].

Под трофическим статусом водоема будем понимать разделение водоемов или их отдельных участков по степени кормности (трофности), в зависимости от уровня их первичной продукции. В качестве критериев трофности применяют такие коррелятивные показатели, как концентрация хлорофилла в воде, прозрачность воды, отношение прозрачности к глубине, биомасса фитопланктона и др.

Под качеством воды понимается сочетание химического и биологического состава и физических свойств воды, определяющее ее пригодность для конкретных видов водопользования. К этому определению иногда добавляется необходимость соответствия требованиям охраны окружающей среды [3].

Одна из важных составляющих оценки экологического статуса (ЭС) – устойчивость экосистемы, под которой понимается способность экосистемы сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений. Чаще всего в экологической литературе термин устойчивость используется в следующих значениях. Инертность системы - способность экосистемы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени; пластичность системы - способность экосистемы переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи; восстанавливаемость системы - способность экосистемы возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия [3]. Первые два понятия трактуются как адаптационная устойчивость (I тип), третья - как регенерационная (II тип).

Материалы и методы.

При оценке ЭС водоема необходимо учитывать, что ЭС должен: 1) характеризовать развитие гидробионтов и функционирование экосистемы водоема (биоцентризм); 2) характеризовать пригодность водоема для различных целей использования человеком (антропоцентризм); 3) представлять собой параметрическую оценку состояния водной среды, характеризующая трофический статус водоема, качество и токсического загрязнения природной среды и устойчивость к изменению параметров естественного (потенциальная устойчивость) и антропогенного режимов. В результате обобщения вышеприведенных условий, было получено наглядное представление об экологическом статусе водоема в виде табл. 1. В этой таблице названия основных классов (высокий, низкий) заимствованы из Европейской Рамочной Водной Директивы [1]. Выбор пяти классов ЭС обосновывается тем, что большинство авторов исходных шкал для трофического статуса, качества и токсического загрязнения вод, устойчивости экосистемы выделяет именно такое количество классов.

Таблица 1. Характеристики классов экологического статуса водоема.

Группы признаков	Классы экологического статуса водоема				
	I высокий	II выше среднего	III средний	IV ниже среднего	V низкий
Трофность	олиготрофный	мезотрофный	мезотрофный	эвтрофный	гипертрофный
Качество воды	очень чистый	чистый	умеренно загрязненный	загрязненный	Очень грязный
Устойчивость	устойчивый	устойчивость выше среднего	средне устойчивый	устойчивость ниже среднего	неустойчивый

Для оценки ЭС оз. Суури за период времени с 2016 по 2018 гг., были созданы классификации для оценивания трофического статуса, качества и токсического загрязнения природных вод, устойчивости экосистемы (адаптационной). Для этого были отобраны 30 параметров оценки.

Стоит отметить, что при проводимой интегральной оценке озера Суури в исследовании:

- оценка качества и токсического загрязнения вод проводилась по трем подгруппам - гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические показатели, в каждой подгруппе

проводилась свертка информации, и лишь затем итоговая свертка информации по группе признаков, характеризующих качество воды;

- оценка устойчивости I типа проводилась при перестройке шкалы устойчивости, расчет которой проводился на основе разработки новой классификации (I класс будет неустойчивым) и сохранении классификаций для оценки трофического статуса, качества вод и токсического загрязнения. Это объясняется тем, что данный подход к оценке устойчивости подходит для малых водоемов, в силу небольших значений физико-географических, морфометрических параметров и т.д., которые не обладают высокой устойчивостью к изменению параметров естественного режима.

В качестве нормирующей функции была использована линейная свертка нормированных равновесных значений критериев. Для нормирования исходных параметров использовались два вида функций: неубывающая кусочно-степенная функция (1) и невозрастающая кусочно-степенная функция (2).

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i \end{cases} \quad (1)$$

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2)$$

В (1), (2): q_i – преобразованное значение; x_i – текущее значение; \min_i – минимальное (фоновое, допустимое, безопасное, предельно-допустимое и т.п.) значение критерия; \max_i – максимальное значение критерия; l - показатель степени, отражающий нелинейность связи параметров с оцениваемым качеством. Исследователь выбирает показатель степени l , определяющий характер и степень выпуклости нормирующей функции: при $l > 1,0$ соответствующая нормирующая функция выпукла вниз, а при $l < 1,0$ - вверх. В нашем случае мы полагаем, что $l = 1,0$. Таким образом, исходные критерии в различных шкалах измерения (абсолютные и средние величины в конкретных единицах измерения, относительные или балльные оценки и т.п.) приводятся к безразмерным шкалам, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя экологического статуса.

В качестве выражения для интегрального показателя выбиралась линейная свертка показателей вида [4]:

$$Q = Q(q, w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i \quad (3)$$

Выполнение первого и последующих уровней обобщения информации для разработанных классификаций, получение оценочных шкал для интегральных показателей производилось при условии равенства весов исходных параметров.

Обсуждение результатов.

Результаты расчета значений интегрального показателя экологического статуса (ИПЭС) за каждый год и за выбранный период времени (2016 - 2018 гг.) приведена в табл. 2

Таблица 2. Результаты оценивания экологического статуса (ЭС) озера Суури.

Год	Индекс экологического статуса	Индекс экологического статуса за выбранный период времени
	ИПЭС	
2016	0,728 (II)	0,710 (II)
2017	0,728 (II)	
2018	0,673 (III)	

При анализе полученных результатов было выявлено, что для ключевого водоема за период с 2016 по 2018 гг. значения интегральных показателей экологического статуса различаются не более чем на 8%, что указывает на способность системы сохранять свой экологический статус. При этом озеро Суури относится ко II классу (0,710), ближе к правой границе.

Заключение

Рассмотрено интегративное свойство водного объекта – его «экологический статус». Путем обобщения теоретико-методологических и методических возможностей оценивания экологического статуса водных объектов разработана методика оценки ЭС водоемов и выполнены оценочные исследования для ключевого водоема – озера Суури. Расчет рассматривался для сценария оценки устойчивости I типа путем перестройки шкалы устойчивости.

Литература

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy Official Journal L 327, 22/12/2000. P. 1—73.
2. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И., 2011. Экологическое качество поверхностных вод – 2-е изд., испр., Минск: Беларус. Навука.
3. Дмитриев В.В., 2000. Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов: Дисс. на соиск. уч. степени д.г.н., СПб.
4. Хованов Н.В., 1996. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците, Спб.: Издаельсво С. – Петербургского университета.

ПРИМЕНЕНИЕ DPSIR ПОДХОДА ДЛЯ АНАЛИЗА СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

В.С. Семеошенкова

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

APPLICATION OF THE DPSIR APPROACH FOR ANALYSIS OF SOCIO-ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE COASTAL ZONE OF KRASNODAR REGION

V.S. Semeoshenkova

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint-Petersburg, Russia

Применение DPSIR метода позволило выявить причинно-следственные связи с целью решения проблем в сфере окружающей среды, рассматривая природную и социально-экономическую системы прибрежной зоны в тесной взаимосвязи.

Application of the DPSIR method allowed identification of causal relationships in order to solve environmental problems, considering the natural and socio-economic systems of the coastal zone in close interconnection.

Введение

Прибрежные районы испытывают множественное давление от антропогенных видов деятельности, которые отрицательно меняют природный статус прибрежных регионов и воздействуют на здоровье и благосостояние человека. Прибрежные участки играют значительную роль в туризме, а, следовательно, и в экономике Краснодарского края, поэтому комплексное управление прибрежными зонами имеет высокий приоритет. Анализ природного статуса прибрежной зоны Краснодарского края имеет особое значение, поскольку чрезмерное загрязнение и снижение качества воды может привести к снижению социально-экономического уровня региона. Особое внимание уделяется проблеме загрязнения прибрежных вод, которая очень актуальна для рекреационно-туристских зон на побережье Чёрного и Азовского морей.

Характеристика региона

Краснодарский край – субъект Российской Федерации, расположенный на юге Европейской части России, в юго-западной части Северного Кавказа. Территория края омывается водами Азовского моря (на северо-западе) и Чёрного моря (на юго-западе). Азово-Черноморское побережье Краснодарского края представляет собой сложившийся курортно-рекреационный регион. Здесь сосредоточены основные морские курорты России: города Сочи, Анапа, Геленджик, Туапсе и другие [1]. Из-за роста туристов и масштабов хозяйственной деятельности прибрежные зоны испытывают большую антропогенную нагрузку, которая наносит серьезный ущерб экологии Азово-Черноморского побережья, рекреационно-туристской отрасли и экономике региона в целом. Экологические проблемы побережья Азовского и Чёрного морей во многом похожи - множество примесей в прибрежной зоне и неблагоприятная экологическая ситуация в целом, присутствует множество источников различных загрязнений, в том числе бытовых стоков и стоков производства. Существует множество проблем в управлении прибрежными районами в Краснодарском крае, но прежде всего к ним относятся неэффективность систем доочистки сточных вод, связанная с нарушением технологий очистки и неудовлетворительным техническим состоянием комплексов очистки на промышленных предприятиях и туристских объектах, недостаточное развитие сетей канализации и др. [2].

Методология

Концепция Drivers– Pressure – State – Impact – Response (DPSIR) («Движущие факторы – нагрузки – состояние – воздействие – реакция») была принята Европейским агентством по окружающей среде (ЕЕА) в 1999 г. Модель DPSIR обеспечивает общий механизм анализа экологических проблем с точки зрения устойчивого развития. Основным методом DPSIR был применен в этой работе с использованием его основных пяти компонентов [3]:

- i. «Движущие факторы» (Drivers) функционируют через социально-экономическое развитие общества и связанную с ним деятельность человека, которая оказывает давление на систему.
- ii. «Нагрузки» (Pressure) – представляют собой стрессы, которым подвергается окружающая среда в результате деятельности человека. Давление включает факторы, которые приводят к утрате и деградации естественных характеристик прибрежных зон.
- iii. «Состояние» (State) отражает уровень и тенденции деградации и текущее состояние экосистемы, которое определяет последующую способность выполнения экосистемных услуг, необходимых для поддержания здоровья и благосостояния человека.
- iv. «Воздействие» (Impact) отражает последствия изменений состояния экосистемы на благосостоянии человека (например, человеческая жизнь и безопасность, здоровье) и общества в целом (например, экономика и занятость).
- v. «Реакция» (Response) включает ответные меры управления и попытки общества предотвратить, компенсировать, улучшить или адаптироваться к изменениям в состоянии окружающей среды (ЕЕА, 1999).

Результаты

Результаты, полученные путем применения DPSIR подхода (таблица 1), показали, что основными экономическими движущими факторами, способствующими загрязнению прибрежной зоны Краснодарского края, являются сельское хозяйство, порты и морское судоходство, промышленность (нефтеперерабатывающие производства, металлургическая промышленность и др.) и домашние хозяйства, строительство и городское развитие, туризм и рыболовство. Связанная с ними антропогенная деятельность оказывает давления, включая насыщение воды биогенными элементами, токсичными веществами, загрязнение тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами. Портовые и прибрежные сооружения нарушают гидрологический режим и циркуляцию воды, а траление дна, применяемое в рыболовстве, приводит к уничтожению донных микроорганизмов. Перечисленные факторы давления вызвали изменения состояния экосистемы и окружающей среды, что привело к ухудшению качества морских прибрежных вод, повреждению глубоководной растительности, исчезновению донной фауны, сокращению биоразнообразия. Изменения в экосистеме и окружающей среде влияют на здоровье и благополучие человека через воздействия, которые связаны со снижением безопасности жизни человека, негативное влияние на здоровье и появление рисков заболеваний, сокращением количества и качества питьевой воды, снижением рекреационных возможностей и туристической привлекательности региона, и потенциальной потерей рабочих мест и доходов, а, следовательно, перспективным крахом экономики региона. Возможные ответные решения включают разработку правил и адаптивных мер управления портовой деятельностью и судоходством, ужесточения контроля рыболовных судов, непрерывный мониторинг качества морского побережья и воды, ужесточение мер по охране прибрежной области, внедрение планов управления диффузным и точечным загрязнениями, завершение и восстановление систем сточных вод и связь пригородных поселений с отдельными очистными сооружениями, повышение экологического образования и информации, развитие экотуризма, и др.

Заключение

Результаты данного исследования могут служить основой для выработки надлежащих законодательных и управленческих решений, включающих разработку комплексного совместного плана развития. Примененный подход может быть использован для дальнейших исследований существующих социо-экологических проблем в регионе исследования, разработке индикаторов устойчивого развития и определении приоритетов управления. Предлагаемые рекомендации по смягчению проблемы загрязнения морских и прибрежных вод широко применимы, однако они должны быть адаптированы для местной специфики.

Литература

1. Департамент природных ресурсов и государственного экологического надзора Краснодарского края, 2012. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2011 году», Краснодар, 360 с.
2. Казачинский В.П. и Маймула Г.В., 2014. Основные экологические проблемы рекреационно-туристических зон Кубани. Экономика сервиса и туризма. Научный вестник ЮИМ №3, 58-62.
3. European Environmental Agency (EEA), 1999. Environmental Indicators: Typology and Overview. European Environment Agency, 19 pp

Таблица 1. DPSIR метод применительно к оценке социо-экологических проблем прибрежной зоны Краснодарского края

Движущие факторы	Нагрузки	Состояние	Воздействие	Реакция
Сельское хозяйство; Промышленность (металлургическая, нефтегазодобывающая и др.); Домовладения	Насыщение воды биогенными элементами, ядовитыми химикатами, загрязнение тяжелыми металлами, нефтепродуктами, колиформными бактериями и т.д.	Эвтрофикация; Увеличение цветения фитопланктона; Гипоксия; Уменьшение прозрачности воды; Повреждение глубоководной растительности; Исчезновение или повреждение донной фауны; Изменение поведения видов рыб и гибель рыб; Наличие кишечных патогенов и показателей.	Ухудшение качества воды и потеря зон для купания; Снижение продовольственной безопасности из-за сокращения рыбных ресурсов; Ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки в рекреационно-туристских районах; Потенциальная потеря дохода и рабочих мест.	Восстановление заградительных полос для уменьшения стока питательных веществ и отложений (водно-болотных угодий и дюн); Улучшение методов ведения сельского хозяйства; Субсидирование органического земледелия и налогообложение агрохимикатов; Приоритетная смена в развитии морского побережья: сведение промышленных заводов и концернов к минимуму; Планы управления диффузным загрязнением и точечным загрязнением; Связь пригородных поселений с отдельными очистными сооружениями; Беспрерывный мониторинг качества морского побережья и воды.
Морские перевозки и деятельность портов	Нарушение гидрологического режима и циркуляции воды; Загрязнение донных осадков; Нефтяное и нефтехимическое загрязнение;	Повреждение глубоководной растительности; Исчезновение и повреждение донной фауны; Изменение поведения видов рыб и потеря рыбных запасов; Разрушение естественного баланса между накоплением наносов и эрозией; Увеличение мутности;	Ущерб для рыбного промысла и субъектов, связанных с курортным бизнесом; Ухудшение качества воды для купания; Негативное влияние на здоровье человека (возможность отравления и аллергических реакций);	Эффективное регулирование морской деятельности; Контроль за соблюдением правил судоходства; Нормативно-правое регулирование с целью предотвращения нефтяных разливов; Контроль добычи и транспортировки нефти; Реализация интегрированного плана управления портом; Управление

	Экотоксикологические эффекты; Загрязнение тяжелыми металлами; Загрязнение мусором (с судов).	Нарушения репродуктивной функции (внедрение чужеродных видов); Гибель рыбы, птиц, млекопитающих; Следы нефтепродуктов на пляжах; Загрязнение больших площадей водной поверхности.	Возможное снижение продовольственной безопасности из-за потери рыбы; Потенциальная потеря дохода и рабочих мест.	дноуглубительными работами (интенсивность, местоположение и период); Принятие эффективной методики расчёта финансового обеспечения осуществления мероприятий, предусмотренных планом предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.
Строительство и градоустройство	Изменение землепользования; Разрушение пляжей; Загрязнение в следствии изнашивания очистных и канализационных сооружений.	Цветение водорослей (в том числе токсичные); Наличие кишечных патогенов и показателей; Нарушение биологического баланса; Потеря мест обитания; Сокращение биологического разнообразия; Увеличение концентрации вредных веществ; Уменьшение прозрачности моря; Ухудшение микробиологического качества воды.	Угрозы для здоровья, связанные с ухудшением качества воды для купания и закрытием пляжа; Угроза здоровью из-за качества морепродуктов; Снижение привлекательности в качестве туристического направления; Потеря доходов и коллапс экономики региона; Потеря рабочих мест в сфере туризма.	Обозначение границ поселений; Строительство и модернизация очистных сооружений; Правильная очистка бытовых сточных вод; Размер очистных сооружений в зависимости от количества посетителей, а не жителей; Увеличение источников питьевой воды; Экологическое регулирование и контроль; Мониторинг качества воды; Общественная информация и образование.
Рыболовство; Туризм и рекреация	Ущерб от траления дна; Мусор, оставленный туристами и рыбаками, загрязняет пляж и воду; Компрессия	Сокращение макробентосных животных-фильтраторов; Снижение уровня естественного биологического самоочищения вод; Повреждение грунта, изменение гидрологического режима; Уничтожение донных микроорганизмов; Увеличение	Ухудшение качества питьевой воды и потеря зон для купания; Негативное влияние на здоровье человека (возможность отравления, аллергических реакций); Сокращение оздоровительных	Создание системы реабилитации прибрежных биоценозов, увеличение площади запретных для тралового промысла прибрежных участков; Ужесточение контроля рыболовных судов; Целостный подход к управлению; Экологическое образование и сохранение;

почвы; несгоревшего топлива в воду на водных скутерах и личных водных судах; Загрязнения окружающей среды пестицидами.	Сброс загрязнения; Заражение воды бактериями; Разрушение пляжей и дюн, лесопарковой зоны побережья; Гибель рыбы, птиц, млекопитающих; Изменение мест обитания; Снижение гнездования птиц.	способностей прибрежной зоны; Потеря возможностей для отдыха из-за закрытия пляжа и плохого качества воды для купания; Снижение эстетического качества; Снижение привлекательности в качестве туристического направления; Потеря работы и дохода.	Продвижение экотуризма и разработка планов экотуризма; Улучшение очистки пляжа и системы утилизации отходов (раздельный сбор); Запрещенные зоны для занятий водными видами спорта (водные скутеры, личные водные виды спорта).
---	--	--	--

ОСОБЕННОСТИ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ КРИЦКОГО-МЕНКЕЛЯ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРАКТИКЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

А. В. Сикан

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF KRITSKY-MENKEL AND ITS USE IN THE PRACTICE OF HYDROLOGICAL DESIGN

A. V. Sikan

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Представлен алгоритм расчета ординат распределения Крицкого-Менкеля в табличном редакторе Microsoft Excel. Рассмотрены случаи, когда решение отсутствует и случаи решения задачи при наличии отрицательной асимметрии.

The algorithm for calculating the ordinates of the Kritsky-Menkell distribution in the spreadsheet editor Microsoft Excel is presented. Cases when there is no solution and cases of solving the problem in the presence of negative asymmetry are considered.

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых обеспеченностей в России, как правило, применяется распределение Крицкого-Менкеля [1]. При выводе этого распределения С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель [2] в качестве исходной модели приняли кривую двухпараметрического Г- распределения:

$$G(z) = \frac{\alpha^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^z s^{\alpha-1} e^{-\alpha s} ds, \quad (1)$$

где $G(z)$ – интегральная функция Г-распределения; s – переменная интегрирования; $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция; среднее значение переменной z равно единице ($\bar{z} = 1$), $\alpha = 1/C_{v,z}$.

Авторы трансформировали аргумент z в новую переменную:

$$k = az^b \quad (2)$$

где a и b – параметры; k – модульный коэффициент.

Функция плотности вероятности Крицкого-Менкеля имеет вид:

$$f(k) = \left[\frac{\Gamma(\gamma+b)}{\Gamma(\gamma)} \right]^{\gamma/b} \frac{1}{\Gamma(\gamma)|b|} k^{(\gamma/b)-1} \exp \left\{ - \left[k \frac{\Gamma(\gamma+b)}{\Gamma(\gamma)} \right]^{1/b} \right\}. \quad (3)$$

При этом параметры распределения связаны следующими соотношениями:

$$a = \frac{\Gamma(\gamma)\gamma^b}{\Gamma(\gamma+b)}, \quad (4)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\gamma+2b)}{\Gamma^2(\gamma+b)} - 1}, \quad (5)$$

$$C_s = \left[\frac{\Gamma^2(\gamma)\Gamma(\gamma+3b)}{\Gamma^3(\gamma+b)} - 3 \frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\gamma+2b)}{\Gamma^2(\gamma+b)} + 2 \right] / \left[\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\gamma+2b)}{\Gamma^2(\gamma+b)} - 1 \right]^{3/2}. \quad (6)$$

Особенностью распределения Крицкого-Менкеля является то, что при некоторых значениях параметров система уравнений (5-6) не имеет решения. Решение в частности отсутствует вдоль линии $C_s = 3C_v + C_v^3$ [3], когда распределение Крицкого-Менкеля стремится к логарифмически нормальному распределению, т. е. при:

$$(C_v)^* = \sqrt{\frac{C_s}{C_v} - 3}. \quad (7)$$

В качестве примера на рис. 1 представлены зависимости параметров γ и b от C_v при $C_s/C_v = 5$.

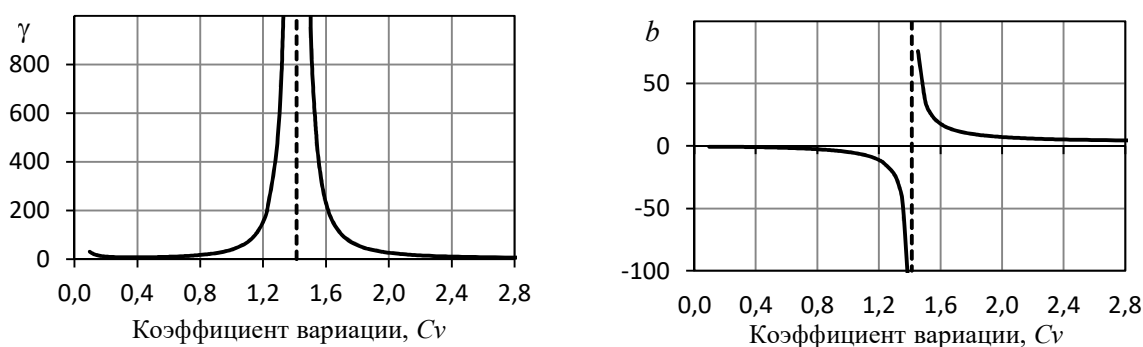


Рис.1. Зависимости параметров γ и b от коэффициента вариации при $C_s/C_v = 5$
(разрыв в точке $C_v = 1,41$)

Численные трудности возникают уже в окрестностях точки, где $C_s = 3C_v + C_v^3$, так как при приближении к ней параметр γ начинает неограниченно возрастать. Например, при $C_s/C_v = 3$ решение отсутствует при $C_v = 0$, т. е. когда все значения выборки одинаковые, однако на практике уже при $C_v < 0,40$ невозможно получить численное решение. В таблице 1 показано – для каких значений C_v решение отсутствует.

Таблица 1. Значения коэффициентов вариации (C_v) для которых отсутствует численное решение системы уравнений (5-6) в зависимости от C_s/C_v в интервале $0,08 \leq C_v \leq 2$

C_s/C_v	3	3,5*	4	4,5	5	5,5	6
$(C_v)^*$	0,00	0,71	1,00	1,22	1,41	1,58	1,73
диапазон C_v	< 0,40	0,6 - 0,8	0,9 - 1,1	1,15 - 1,35	1,3 - 1,55	1,45 - 1,7	1,6 - 1,9

* – при $C_s/C_v = 3,5$ численное решение отсутствует и при $C_v < 0,15$

Отсутствие решений для отдельных диапазонов C_v по указанной выше причине имеет место при соотношении $C_s/C_v \geq 3$.

При $C_s/C_v < 2$ численное решение отсутствует при малых значениях параметра γ . В этом случае при вызове обратной Г-функции генерируется ошибка переполнения.

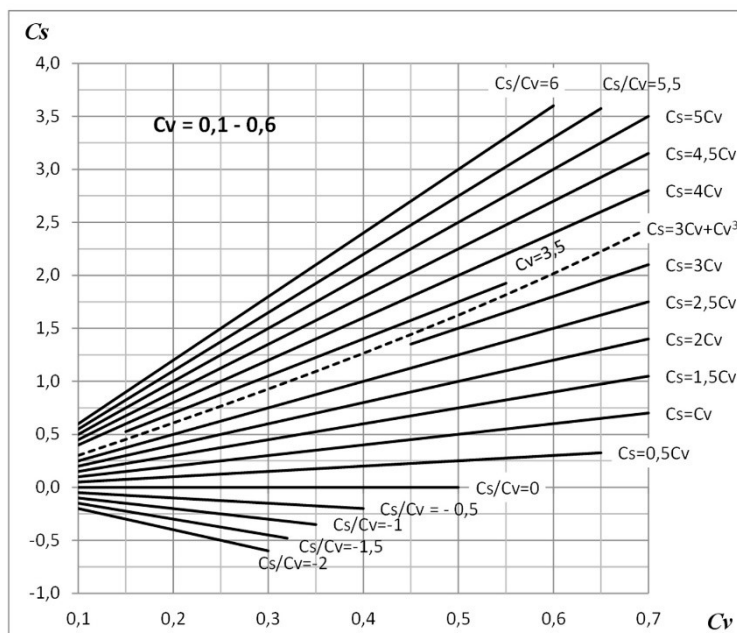
Следует отметить, что С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель при выводе распределения не предполагали его использовать для рядов с $C_s/C_v < 0$, однако система уравнений 5-6 позволяет получить параметры b и γ для отрицательных значений асимметрии, хотя и для довольно узкого диапазона коэффициентов вариации. В таблице 2 представлены значения C_v , для которых существует численное решение при малой и отрицательной асимметрии.

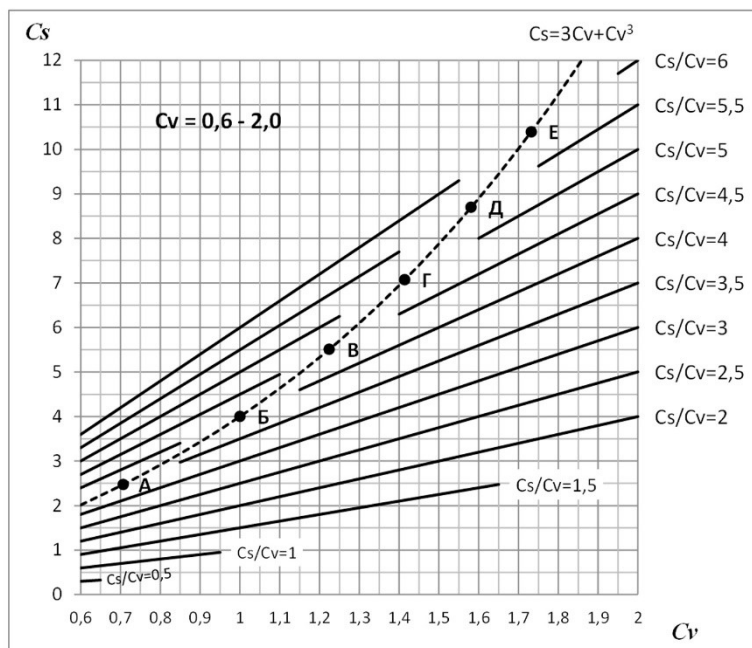
Таблица 2. Значения коэффициентов вариации (C_v) для которых существует численное решение системы уравнений (5-6) в зависимости от C_s/C_v при $C_v < 2$

C_s/C_v	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	1,5
диапазон C_v	0,1-0,30	0,08-0,32	0,1-0,40	0,1-0,45	0,1-0,50	0,08-0,65	0,08-0,95	0,08-1,65

Можно считать, что официальный статус кривая Крицкого-Менкеля с отрицательной асимметрией получила в 2005 году, когда в Рекомендациях [4] были опубликованы её ординаты при $C_s/C_v = 0$, $C_s/C_v = -0,5$ и $C_s/C_v = -1$.

Обычно значения ординат кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля, для тех диапазонов C_v где нет решения, получают путем интерполяции или на основе приближенных методов. Однако, как показал анализ, в этом диапазоне C_v вместо кривой Крицкого-Менкеля можно использовать двухпараметрическое логнормальное распределение без применения интерполяционных кривых и практически без потери точности. На рис.2. представлена номограмма для выбора аналитической кривой обеспеченностей в зависимости от C_v и C_s .





Прямые линии – распределение Крицкого-Менкеля; пунктирная линия – логнормальное распределение; значения C_s/C_v в точках А, Б, В, Г, Д, Е соответственно: 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0.

Рис. 2. Номограммы для выбора аналитической кривой обеспеченностей.

Ниже представлен алгоритм расчета ординат кривой обеспеченностей Крицкого – Менкеля в табличном редакторе Microsoft Excel.

1. По номограмме (см. рис.2) выбирается аналитическая кривая обеспеченностей. Если решение отсутствует (разрыв прямых линий на номограмме) – к расчету принимается кривая обеспеченностей логнормального распределения. При наличии решения, по номограмме принимается значение C_s/C_v .
2. Если $C_s/C_v \geq 3$ по формуле (7) определяется $(C_v)^*$.
3. В зависимости от C_v и принятого значения C_s/C_v методом последовательных приближений из системы (5-6) определяются параметры b и γ .
4. По формуле 4 определяется параметр a ; определяется параметр $\beta = 1/\gamma$.
5. Дальнейший расчет производится в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 3.

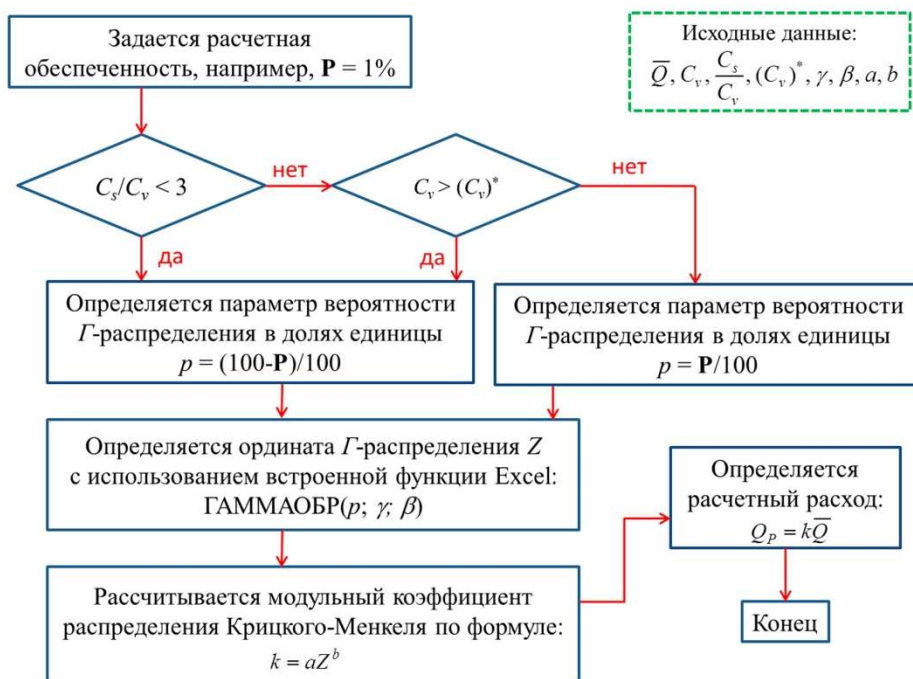


Рис. 3. Блок-схема расчета ординат кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля в табличном редакторе Microsoft Excel.

Для упрощения расчетов автором были составлены таблицы, по которым в зависимости от C_v и C_s/C_v , можно получить параметры a, b, γ и β для соотношений C_s/C_v от -2 до 6 с шагом $0,5$. При $C_s/C_v = 2$ распределение Крицкого-Менкеля совпадает с классическим гамма-распределением, для которого $a = 1, b = 1, \gamma = 1/C_v^2, \beta = C_v^2$.

Варианты оптимизации параметров распределения для кривой Крицкого-Менкеля рассмотрены в работе [5].

Литература

1. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2004. – 72 с.
2. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981. 270 с.
3. Поляков М.М., Вязлов Л.Х. О применении метода наибольшего правдоподобия к трехпараметрическому гамма-распределению. //Водные ресурсы. 1981. №1. С.23-33.
4. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-Тис, 2007. – 134 с.
5. Сикан А.В. Оптимизация параметров распределения при построении кривых обеспеченностей экстремальных расходов воды //Уч. Зап. РГМУ, 2012, №24, с.26-32 (<http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue24/uz24-26-32.pdf>).

БОЛОТА КАК ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА

А.А. Сирин

Центр сохранения и восстановления болотных экосистем, Институт лесоведения Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

PEATLANDS AS WATER OBJECTS UNDER MODERN CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL CHANGE AND HUMAN IMPACT

A.A. Sirin

Peatland Protection and Restoration Center, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Согласно Водному кодексу РФ (2006), болота являются особыми водными объектами, что отражает специфику их природы, а также связанных с ними экосистемных услуг и их реакции на изменение окружающей среды и воздействие человека. Рассмотрена специфика учета и картографирования болот, которые до настоящего времени все еще относятся к разным категориям земель. На примере ГИС «Болота России» Института лесоведения РАН представлено распространение и разнообразие болот и заболоченных земель страны. Рассмотрены возможности оценки заболоченности речных водосборов, запасов болотных вод и их участия в формировании речного стока.

According to the Water Code of the Russian Federation (2006), peatlands are considered as special water objects that reflect their specific nature, as well as the associated ecosystem services and their responses to environmental change and human impacts. The specificity of inventory and mapping of peatlands, which continue to belong in Russia to different land categories, is considered. On example of GIS "Peatlands of Russia" developed in the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences the distribution and diversity of peatlands and paludified lands of the country is presented. Possibilities of assessment of peat acreage of river basins, as well as water storage in peatlands and their participation in river flow formation are considered.

Действующий Водный кодекс РФ (2006) определяет болота как особые водные объекты, что наиболее точно отражает отмеченную А.Д. Дубахом [1] специфику их природы, хозяйственного значения и использования, особые подходы к их гидрологическому рассмотрению и изучению [2, 3].

Болота – одни из наиболее представленных ландшафтов на территории страны. Они имеют важное ресурсное значение, обеспечивают поддержание биологического разнообразия [4], регулируют многие природные процессы, предоставляют широкий спектр т.н. «экосистемных услуг» [5]. Изменение климата и воздействие человека оказывают существенное влияние на состояние торфяных болот [6]. Отмечена важная роль болот в эмиссии и поглощении парниковых газов [7] и, соответственно, их значение в смягчении изменения климата. В то же время болота сами подвержены влиянию изменения окружающей среды и воздействия человека, что требует особых мер для их сохранения и неистощимого использования. Поэтому не меньшее значение имеют вопросы адаптации болот и связанной с ними хозяйственной деятельности к происходящим изменениям климата. Это касается и влияния болот на гидрологические процессы и водные ресурсы.

Традиционно в нашей стране болота относятся к разным категориям земель, с чем связаны отсутствие общей системы их учета и необходимость научного обобщения имеющихся данных [2]. Для решения этой проблемы была создана и развивается более 20 лет ГИС «Болота России» Института лесоведения РАН, направленная на интегрирование существующей разносторонней пространственной информации о болотах страны [8, 9]. Показано распространение болот и мелкоотторфованных земель, которые в совокупности занимают более 1/5 территории страны [8], их природное разнообразие [10], разная степень облесенности [9]. Эти данные стали основой представления болот в масштабе страны [11], Российской Арктики [12], на европейском континенте [13, 14].

Разработана система регионального картографирования болот, основанная на использовании мозаики космической съемки высокого разрешения для географической привязки доступной отраслевой, картографической и другой информации [15, 16], которая успешно апробирована для ряда областей и республик Европейской части страны. Это позволяет картографировать не

только сохранившиеся в естественном состоянии болота, но и антропогенно измененные торфяники. Значительная часть болот в центре, северо-западе и других регионах Европейской части страны была осушена и изменена различной деятельностью человека [17]. Однако такого рода торфяники не перестали быть носителями специфических свойств, включая гидрологические, а лишь трансформировали их под влиянием того или иного хозяйственного воздействия [18].

Получение электронных карт болот и торфяников обеспечило возможность отделения их от окружающих территорий для последующего использования многозональной космической съемки для оценки и мониторинга состояния болот и торфяников. Это включает, в частности, оценку эффективности искусственного обводнения болот [19, 20, 21] как приоритетной меры по их рекультивации после использования для добычи торфа (ст. 52 ВК РФ (2006), а также для снижения пожарной опасности [22].

Данные по заболоченности территории и более обоснованный учет свойств земной поверхности могут быть использованы в моделях погоды [23]. Они позволяют получить более точные оценки заболоченности речных водосборов. Эти данные являются основой оценки запасов болотных вод, а также их объема, участвующего в водообмене и формировании стока, на основе приложения данных о водообмене болотных вод, полученных по данным балансовых расчетов [24] и изотопным данным [25, 26]. Для оценки влияния осушения на режим речного стока [28, 29], включая использование моделей гидрологического цикла [30, 31].

Литература

1. Дубах А.Д. Очерки по гидрологии болот Л.: Ред. изд. отд. ЦУЕГМС СССР, Ленингр. отд. типолитогр. ЦУ ЕГМС. 1936. 119 с.
2. Сирин А.А., Минаева Т.Ю., Новиков С.М. и др. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации. Под ред. Сирина А.А., Т.Ю. Минаевой. М.: Геос. 2001. 190 с.
3. Сирин А.А. Гидрология болот. Большая российская энциклопедия. М: Научное изд-во "Большая российская энциклопедия". 2007. С. 89-90.
4. Минаева Т. Ю., Сирин А. А. Биологическое разнообразие болот и изменение климата // Успехи современной биологии, 2011. Т.131. № 4. С. 393-406.
5. Сирин А.А. Торфяные болота: свойства, функции, экосистемные услуги / «Х Галкинские Чтения» Санкт-Петербург, 4-6 февраля 2019 г. С. 183-185.
6. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main Report. Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (Eds.) Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 2008. 179 p.
7. IPCC, 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, ed. Hiraishi, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. Switzerland: IPCC.
8. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
9. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А. Облесенность болот и заболоченных земель России // Лесоведение. 2011. №5. С. 3–11.
10. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер. географ. 2005. № 5. С. 21–33.
11. Болота. Болота и заболоченные земли. Типы болот. Залесенность болот. М 1:30000000. / Экологический атлас России. М.: ООО «Феория». 2017. С. 118-121.
12. Болота / Атлас Арктики Российская Арктика: Пространство. Время. Ресурсы: Атлас / ПАО НК Роснефть / С. А. Агафонова, Д. Н. Айбулатов, В. Л. Бабурин и др. – Фонд НИР, ООО Феория Москва, 2019. С. 344-345.
13. Sirin A., Minayeva T., Yurkovskaya T., Kuznetsov O., Smagin V. & Fedotov Yu. Russian Federation (European Part). In: Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation (ed. By Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A.), Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers. 2017. pp. 589-616. Tanneberger F., Tegetmeyer C., Busse S., et al. The peatland map of Europe // Mires and Peat. 2017. V.19. Article 22. P. 1–17.
14. Сирин А.А., Маслов А.А., Валяева Н.А., Цыганова О.П., Глухова Т.В. Картографирование торфяных болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения // Лесоведение. 2014. № 5. С. 65-71.

15. Ильясов Д.В., Сирин А.А., Макарова Л.Ю., Букин А.В., Кораблина Н.Е. ГИС – картографирование торфяных болот и антропогенно измененных торфяников Рязанской области // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 1(41) С. 30-38.
16. A Quick Scan of Peatlands in Central and Eastern Europe. Minayeva T., Sirin A., Bragg O. (eds.) Wageningen, The Netherlands: Wetlands International. 2009. 132 p.
17. Сирин А.А. Гидрологические и экологические последствия использования болот и заболоченных земель / В кн.: Гидроэкология: теория и практика. (Проблемы гидрологии и гидроэкологии, вып. 2). Под. Ред. Н.И. Алексеевского. Географический факультет МГУ. 2004. С. 160-175.
18. Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А. Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 80-88.
19. Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А. Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. № 3. С. 76–84.
20. Sirin A., Medvedeva M., Maslov A., Vozbrannaya A. Assessing the Land and Vegetation Cover of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peatlands: Comparing Different Multispectral Satellite Data // Land. 2018. 7. 71. 22 p.
21. Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. №2. 2011. С. 13-21.
22. Yurova A., Tolstykh M., Nilsson M., Sirin A. Parameterization of mires in a numerical weather prediction model // Water Resources Research. Vol. 50. Issue 11. 2014.
23. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо) / Под ред. С.М. Новикова, В.И. Батуева. Санкт-Петербург: Свое издательство. 2019. 448 с.
24. Сирин А.А., Шумов Д.Б., Власова Л.С. Изучение водообмена в болотных водах с помощью результатов анализа ^3H // Водные ресурсы. 1997. № 6. С. 679-687.
25. Sirin A., Köhler S., Bishop K. 1998. Resolving flow pathways and geochemistry in a headwater forested wetland with multiple tracers // IASH Publ. N 248. P. 337-342.
26. Вомперский С.Э., Глухова Т.В., Сирин А.А., Формирование и режим стока при гидролесомелиорации. М.: Наука. 1988. 168 с.
27. Вомперский С.Э., Сирин А.А. Влияние лесосушительных мелиораций на сток // Водные ресурсы. 1986. №4. С. 47-56.
28. Назаров Н.А., Сирин А.А. Модель и алгоритмы расчета стока на лесном водосборе. М.: ВИНТИ. 1988. 120 с.
29. Sirin A.A., Vompersky S.E., Nazarov N.A. Influence of forest drainage on river runoff regime: main concepts and examples from Central part of the USSR European territory // Ambio. 1991. V. 20. N 7. P. 334-339.
30. Vompersky S.E., Sirin A.A. Hydrology of Drained Forested Wetlands / Chapter 14 In: Trettin C.C., et al. Editors. Northern Forested Wetlands: Ecology and Management. Lewis Publishers / CRC Press, Boca Raton- N .Y.-London-Tokyo. 1997. P. 189-211.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЁМКИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.

Д.И. Соболюк, Г.А. Замарин, Д.В. Драбенко
ФГБУ ААНИИ, г.Санкт-Петербург, Россия

PERSPECTIVE METHODS OF CARRYING OUT AIR PHOTOGRAPHY WITH UNLIMITED AIRCRAFT.

D.I. Sobotuk, G.A. Zamarin, D.V. Drabenko
FSI AARI, Saint-Petersburg, Russia

Аннотация: В работе приведено сравнение существующих методов аэрофотосъёмки, использующихся в практической деятельности ФГБУ ААНИИ, вносятся предложения по совершенствованию существующих методик.

Abstract: The paper compares the existing methods of aerial photography used in the practical activities of the AARI, offers suggestions to improve the existing methods.

Ледовая авиационная разведка является одним из средств получения информации о ледяном покрове на морях, озёрах и реках. Ледовые разведки классифицируются по назначению и техническим средствам наблюдений. По назначению разведки подразделяются на три вида[1]:

1. Научно-исследовательские (обзорные)
2. Научно-производственные (оперативные)
3. Специальные

Одним из наиболее востребованных и точных инструментальных методов ледовой разведки является аэрофотосъёмка. В процессе аэрофотосъёмки получается и исследуется чёрно-белое или цветное изображение участков земной поверхности, океанов и морей. На аэрофотоснимках фиксируются оптические и геометрические свойства всех элементов исследуемых поверхностей, поэтому каждый аэрофотоснимок даже при простом визуальном просмотре даёт общее представление о заснятой местности и отдельных её особенностях.

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (далее по тексту БПЛА) достигли достаточного уровня технического развития, чтобы выполнять сложные полёты на значительные расстояния. Например, беспилотный самолёт типа «Орлан» в гражданском исполнении способен находиться в воздухе до 18 часов, неся на себе нагрузку до 5 кг на расстояние до 300 км. Имея намного меньшие требования к инфраструктуре, чем обычный самолёт, данный беспилотный аппарат способен выполнять полноценную площадную съёмку, как над ледовой поверхностью, так и над кромкой льда. Для аэрофотосъёмки и последующего трёхмерного моделирования отдельных объектов, например айсбергов, с успехом применяются беспилотные аппараты коптерного типа. Они способны взлетать и совершать посадку практически с любой ровной свободной площадки - будь то вертолётная площадка судна, или крыша микроавтобуса². Таким образом, классическая аэрофотосъёмка для оперативных и специальных видов ледовой разведки могут и уже выполняются сотрудниками ААНИИ при помощи беспилотных аппаратов, пришедших на замену более дорогостоящим и сложным в эксплуатации самолётам и вертолётам.

Однако, используемые на данный момент в Арктическом регионе технические решения, применяемые для получения трёхмерных моделей айсбергов и пространственных моделей местности требуют больших временных затрат на этапе фотограмметрической обработки (при построении трёхмерной модели из двухмерных снимков). Так же, «классическую» аэрофотосъёмку невозможно выполнять при недостаточной освещённости или плохой вертикальной, горизонтальной и наклонной видимости. Логичным шагом для преодоления

² Согласно официальным заявлениям компании Geoscan

данных ограничений могут стать современные лидарные системы сканирования. Данная технология активно применяется в строительстве и уже доказала свою состоятельность. Мировой опыт применения лидарных систем показывает, что с их помощью возможно выполнять не только съёмку площадок под постройки, строений, поверхности льда, надводной части айсбергов, определять границу раздела двух сред (кромка припая), но и сканировать водную толщу[2].

Принцип лидарного (лазерного) сканирования заключается в том, что установленный на летательном аппарате (самолете, вертолете, БПЛА) лазер (работающий в импульсном режиме) проводит дискретное сканирование местности и объектов, расположенных на ней, определяя расстояние до объектов путём измерения времени прохождения импульсов. При этом регистрируется направление лазерного луча и время прохождения луча. Текущее положение лазерного сканера определяется с помощью высокоточного GPS-ГЛОНАСС-приемника (работающего в дифференциальном режиме) совместно с инерциальной навигационной системой (IMU). Зная углы разворота и координаты лазерного сканера, можно однозначно определить абсолютные координаты каждой точки лазерного отражения в пространстве. Погрешность такого метода на текущий момент не превышает погрешность стандартных геодезических съёмок. Уже существующие на рынке образцы лидарных сканеров обладают охватом около 60 угловых градусов (то есть высота полета чуть меньше охвата или равная ему при боковом ветре) и позволяют получать облако равномерно распределенных в пространстве точек. При этом как лидары, так и сами БПЛА-носители не зависят от освещённости и способны выполнять сканирование подстилающей поверхности в любое время суток.

Литература

1. Волков Н.А. Руководство по производству ледовой разведки. Ленинград, Гидрометеиздат, 1981.
2. Valenta C. Bathymetric Lidar, Atlanta, Georgia Tech Research Institute, 2015.

РЕЖИМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РАЗНОТИПНЫХ ОЗЁРАХ ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Д.И. Соколов¹, О.Н. Ерина¹, М.А. Терёшина¹, Е.Н. Вилимович¹, Л.Е. Ефимова¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ORGANIC MATTER REGIME IN DIVERSE LAKES OF PROTECTED NATURAL AREAS

D.I. Sokolov¹, O.N. Erina¹, M.A. Tereshina¹, E.N. Vilimovich¹, L.E. Efimova¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Описан современный режим содержания органических веществ в озере Глубоком одноименного природного заказника Московской области и двух озерах Керженского природного заповедника Нижегородской области.

The modern regime of organic matter content in Glubokoye lake of the eponymous nature reserve in the Moscow region and two lakes of the Kerzhensky nature reserve in the Nizhny Novgorod region is described.

Введение

В настоящее время чрезвычайно сложно отделить воздействие природных факторов формирования гидроэкологического состояния водоемов от техногенных, так как процент водных объектов, чьи экосистемы не были трансформированы в результате человеческой деятельности, невелик и продолжает стремительно уменьшаться (особенно в Московском регионе). Тем больший интерес представляют исследования подобных водоемов. Статья посвящена трем разнотипным озерам Московской и Нижегородской области, водосборы которых отличаются малой антропогенной нарушенностью.

Озеро Глубокое расположено на территории одноименного государственного природного заказника в Рузском районе Московской области. Длина озера составляет 1200 м, ширина – 850 м, максимальная глубина 32 метров, средняя – 9,3 м. Площадь зеркала составляет около 60 га. Озеро не имеет притоков (74% от общего питания составляют осадки [1]), характеризуется малой минерализацией воды и невысокой биологической продуктивностью [2]. По происхождению озеро относят к ледниковому [3] или карстовому [4] типу.

Озера Нижнее Рустайское и Круглое – небольшие озера в пойме р. Керженец на территории Керженского биосферного заповедника Нижегородской области. Эти водоемы можно считать репрезентативными для достаточно специфичных гидролого-гидрохимических условий центральной части ЕТР, характеризующихся высоким содержанием железистых соединений и органического вещества (ОВ) [5]. Старичное Нижнее Рустайское озеро, расположенное ближе к руслу р. Керженец – узкое (средняя ширина около 20 м, максимальная 25 м), сильно вытянутое в плане (длина более 440 м) неглубокое (средняя глубина 1,5 м, максимальная 5,5 м), площадью 0,84 га. Оз. Нижнее Рустайское и получает больше ОВ из реки.

Круглое озеро площадью 1,04 га имеет длину 175 м, максимальную ширину 90 м, среднюю – около 60 м и морфологически разделено на два плеса: больший глубоководный (более 8,5 м) и меньший мелководный (до 2 м). Оз. Круглое гидравлически связывается с р. Керженец только при максимальных уровнях воды в реке и более ограничено во внешнем притоке ОВ, но при этом характеризуется намного более высоким содержанием трудноокисляемых ОВ и недостатком кислорода, необходимого для его окисления [6].

Материалы и методы

С весны 2017 г. (на регулярной основе – с весны 2018 г.) по настоящее время авторы проводят параллельные комплексные исследования гидроэкологического режима указанных озер. Полевые работы включают измерение температуры, электропроводности воды, содержания растворенного кислорода, величины рН портативными приборами YSI (ProSolo, Pro30, ProODO, Pro10), прозрачности воды по диску Секки, а также отбор проб с 3-6 характерных горизонтов (в соответствии с характером стратификации водной толщи) для последующего гидрохимического анализа.

Мониторинг на оз. Глубоком производится со средней частотой 2 раза в месяц (в период открытой воды до 4 раз в месяц, в зимние месяцы реже, но не менее 1 раза в месяц). На Керженских озерах с мая по октябрь наблюдения проводили каждый месяц, зимой – однократно (в феврале 2019 г.).

Отобранные пробы анализировали в химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ. Наряду с содержанием основных ионов, биогенных веществ, оптической и весовой мутностью, концентрацией хлорофилла, в них определяли косвенные показатели содержания ОВ: цветность воды ЦВ (фотометрическим методом), химическое потребление кислорода ХПК (титриметрическим методом бихроматного окисления) и перманганатную окисляемость ПО (методом Кубеля в кислой среде). Дополнительно определяли содержание растворенных форм ОВ в пробах, фильтрованных через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Массовое содержание ОВ в озерных водах (в пересчете на органический углерод $C_{орг}$) вычисляли по величине ХПК (как наиболее близкой к теоретическому полному потреблению кислорода на химическое окисление ОВ) с использованием общепринятого коэффициента 0,375 (отношения количества вещества – эквивалента углерода к количеству вещества – эквивалента кислорода).

Обсуждение результатов

Берега Глубокого озера покрыты лесом, заболочены. Русловой сток в озеро отсутствует, вода с водосбора поступает преимущественно из болот и канав. Однако мелиоративные мероприятия на водосборе в 1970-х гг. позволили заметно снизить смыв с водосбора аллохтонных гумусовых ОВ, что привело к существенному снижению ЦВ в озере. В настоящее время величина ЦВ в оз. Глубоком составляет в среднем 20 град, изменяясь в течение года в пределах 12-30 град во всей водной толще за исключением придонных слоёв, где к концу периода летней стратификации ЦВ все три года возрастала до 40-80 град (рис. 1, а). Это может быть связано с образованием темноокрашенной закиси железа в аноксидной зоне, которая начинает формироваться в придонных слоях в середине июля – начале августа, а к октябрю ее верхняя граница поднимается до горизонта 16 м. В поверхностных слоях (а при активном конвективном перемешивании – и на большей глубине) ЦВ повышается при интенсификации смыва аллохтонных ОВ с тальми и дождевыми водами.

Керженский заповедник – единственный район Нижегородской области, где в естественном состоянии сохранились крупные торфяные болота, что предопределяет значительную роль в формировании химического состава озерных вод ОВ гумусового происхождения [7]. Кроме того, для большинства озер данной географической зоны величина ЦВ в намного большей степени, чем для оз. Глубокого, обусловлена присутствием в воде не только ОВ, но и соединений железа, содержание которого максимально в природных слоях. Однако режим содержания ОВ в рассматриваемых керженских озерах существенно различается, что связано прежде всего с характером гидравлической связи с рекой.

В оз. Нижнем Рустайском ЦВ изменяется в схожих пределах (20-40 град), однако максимальные значения ЦВ (до наблюдаются в поверхностном слое (рис. 1, б). Во-первых, в период весеннего половодья благодаря устойчивой гидравлической связи с р. Керженец озеро питается высокоцветными речными водами, богатыми аллохтонными ОВ, причем эти воды распространяются по продольной оси старичного озера преимущественно в поверхностных слоях. Во-вторых, оз. Нижнее Рустайское относительно мелководно, и, хотя в нем также успевает сформироваться зона гипоксии в периоды и летней, и зимней стратификации, однако столь острой аноksии, как в глубоководном оз. Глубоком, и восстановительных условий, приводящих к образованию темноокрашенных соединений железа в придонных слоях, здесь все же не формируется.

Озеро Круглое характеризуется гораздо более высокоцветными водами: от 80-120 град у поверхности до 300 град и более у дна (рис. 1, в). Крайне устойчивая стратификация оз. Круглого приводит к тому, что озеро почти не перемешивается до дна, в результате чего формируется обширная зона аноksии, иногда сохраняющаяся даже тогда, когда на других озерах региона наблюдается гомотермия. При этом происходит, во-первых, накопление ОВ (в том числе окрашенного), поскольку на его окисление нет кислорода, и, во-вторых, восстановление железа до темноокрашенных форм.

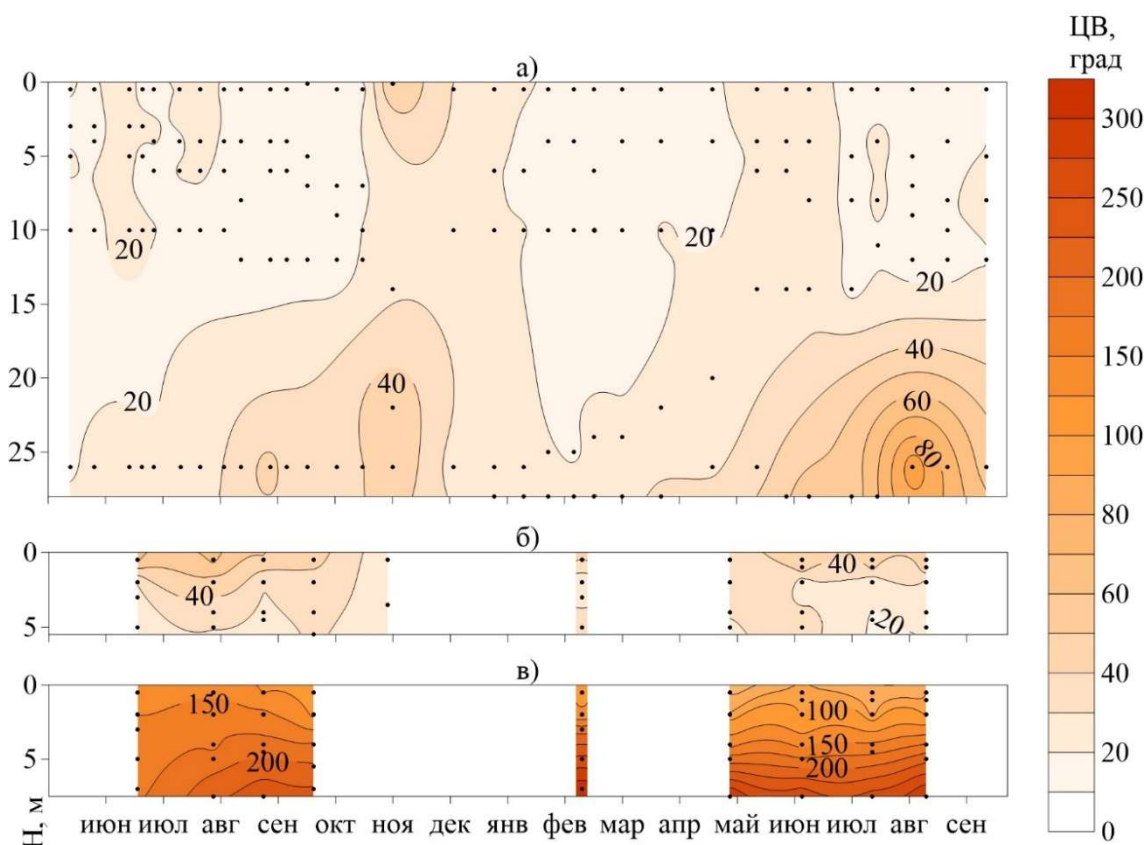


Рис. 1. Пространственно-временное распределение цветности воды ЦВ в оз. Глубоком (а), Нижнем Рустайском (б), Круглом (в) с мая 2018 г. по сентябрь 2019 г.

Содержание $S_{\text{ОРГ}}$ в воде оз. Глубоком изменялось в диапазоне 4,5-9,3 мг/л (рис. 2, а), в оз. Нижнем Рустайском – 4,0-9,0 мг/л (рис. 2, б). В обоих озерах максимальное содержание ОВ наблюдалось в поверхностных горизонтах, но в Нижнем Рустайском озере это связано в большей степени с эпизодическим питанием речными водами (ср. схожие рис. 1, б и 2, б), а в Глубоком – с продуцированием автохтонного ОВ при развитии фитопланктона (ср. различающиеся рис. 1, а и 2, а), что подтверждается данными о прозрачности воды, содержании растворенного кислорода и хлорофилла «а». В дистрофном оз. Круглом развития планктона практически не происходит, и максимальные концентрации $S_{\text{ОРГ}}$ (и остальных показателей ОВ) наблюдаются у дна (рис. 2, в).

В отличие от ЦВ, на суммарное содержание ОВ, косвенно оцениваемое по величине ХПК, влияет не только поступление с водосбора ОВ гумусовой природы, но и биопродуктивность водоема и характер продукционно-деструкционных процессов, и не влияет наличие темноокрашенных минеральных железистых соединений. Что касается величины ПО, принято считать, что перманганат калия, являющийся более слабым окислителем по сравнению с бихроматом калия, эффективно окисляет аллохтонные гумусовые ОВ, но при этом очень слабо – лабильное ОВ. Этим определяются сходства и различия режимов ЦВ, $S_{\text{ОРГ}}$ (и ХПК) и ПО.

В Нижнем Рустайском и Круглом озерах наблюдается тесная связь между всеми показателями содержания ОВ (для ПО и ХПК $r=0,97$, для ПО и ЦВ $r=0,94$ при $n=71$). Для оз. Глубокого, отличающегося от оз. Нижнего Рустайского наличием устойчивой аноксидной зоны с восстановительными условиями, а от обоих керженских озер (особенно от оз. Круглого) – сравнительно большей продуктивностью, характерно полное отсутствие связи между ПО и ЦВ и менее значимая связь между ПО и ХПК ($r=0,58$ при $n=151$).

Соотношение ПО/ХПК, иногда используемое для оценки доли аллохтонных веществ в общем содержании ОВ, в оз. Глубоком и Нижнем Рустайском изменялось в схожих пределах 0,34-0,64, в оз. Круглом – 0,50-0,80. При этом во всех озерах доля аллохтонного ОВ в 2019 г. оказалась заметно ниже, чем в 2018 г., что можно связать с меньшим объемом весеннего стока и смывом ОВ с водосбора (так, оз. Круглое в половодье 2019 г. вовсе не имело гидравлической связи с рекой).

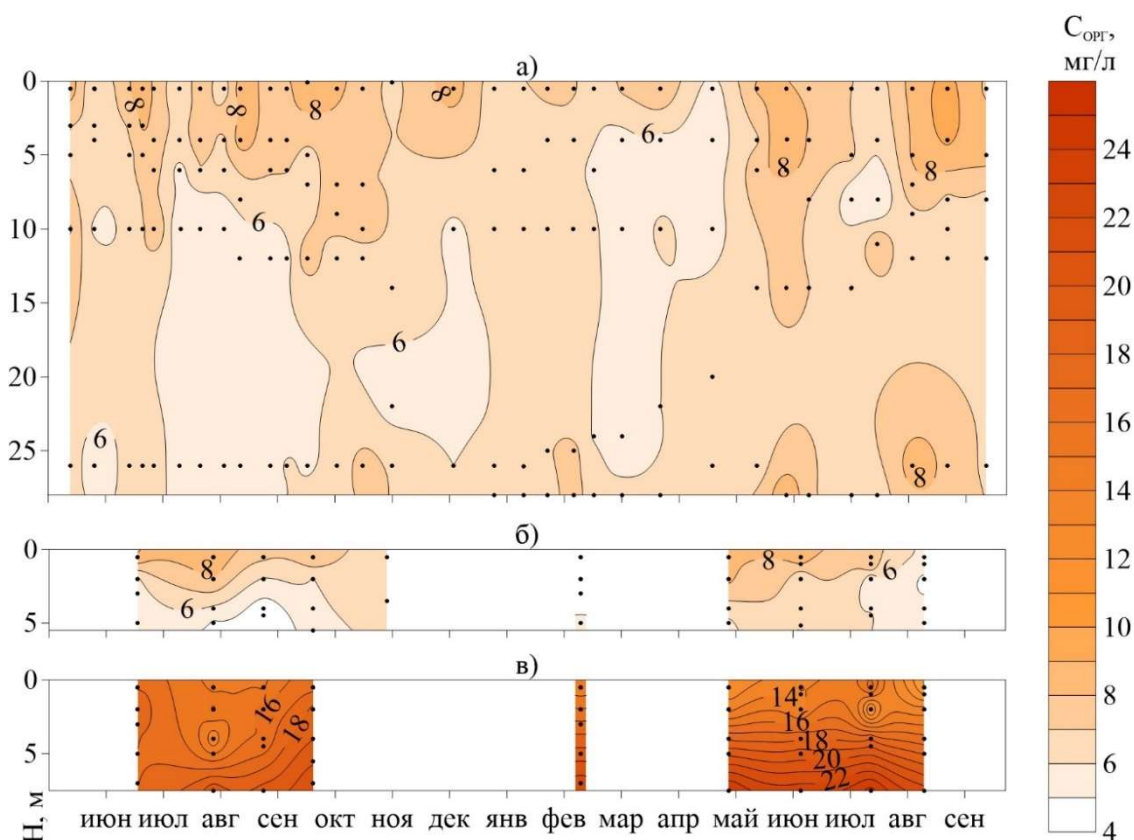


Рис. 2. Пространственно-временное распределение содержания органического углерода $C_{\text{орг}}$ в воде оз. Глубокого (а), Нижнего Рустайского (б), Круглого (в) с мая 2018 г. по сентябрь 2019 г.

В озерах преобладает растворенная форма ОВ. Доля взвешенного ОВ редко превышает 20%, изменяясь от 0-3% до 40% (прежде всего при «цветении» или смыве ОВ с водосбора).

Заключение

Режим содержания ОВ в рассмотренных озерах имеет ряд общих черт, поскольку ландшафтные условия их водосборов схожи высокой залесенностью и заболоченностью. Однако значительные отличия в морфометрии, гидрологическом, термическом и динамическом режиме (глубоководное неприточное оз. Глубокое с преобладанием дождевого питания, регулярно гидравлически связанное с рекой и питаемое богатыми ОВ речными водами мелководное и лучше перемешиваемое оз. Нижнее Рустайское, застойное устойчиво стратифицированное оз. Круглое) определяют и существенные различия в режиме ОВ этих озер.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-35-00691 мол а).

Литература

1. Муравейский С.Д. Морфометрия Глубокого озера // Труды Лимнол. станции в Косине, 1931. Вып. 13-14. С. 29-46.
2. Щербаков А.П. Озеро Глубокое. М.: Наука, 1967. 380 с.
3. Шпицмахер И.А. Геоморфологический очерк Глубоко-Истринского участка Московского гос. заповедника (рукопись). Архив биостанции на Глубоком озере. 1947.
4. Борзов А.А. Геоморфологические наблюдения в сопредельных частях Московской, Владимирской и Тверской губерний // Землеведение, 1922. Т. 25. Вып. 3-4.
5. Efimova L.E., Korabliova O.V., Lomova D.V. Landscape dynamics and lakes hydrology of Kerzhenets river floodplain // Riparian zones. Characteristics, management practices, and ecological impacts. Pokrovsky O.S. (Ed.). Nova Science Publishers, Inc. United States, New York, 2016. Pp. 125–148.
6. Баянов Н.Г., Кривдина Т.В. Межсезонная динамика гидролого-гидрохимических показателей реки Керженец и ее стариц // Известия РАН. Сер. географическая. 2013. № 2. 2013. С. 52-67.
7. Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Ефимов В.А., Ломова Д.В., Соколов Д.И. Гидрохимические показатели в водах заповедника «Керженский»: особенности и сезонная изменчивость // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Тр. VI Всерос. симпоз. с между. уч. Барнаул, 2017. С. 84-90.

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЭКОНОМИКУ И ИНФРАСТРУКТУРУ ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Д.А. Соловьев

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE ECONOMY AND INFRASTRUCTURE OF THE RUSSIAN ARCTIC COAST

D.A. Solovyev

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

Дана оценка и прогноз последствий воздействия глобальных климатических изменений на экономику и инфраструктуру побережья Российской Арктики. Рассмотрены основные возможности и риски для устойчивого развития региона, связанные с процессом изменения температурного режима, ростом числа опасных природных явлений, геокриологическими изменениями в прибрежных районах, увеличением высоты ветровых волн, увеличением количества айсбергов и толщины морского льда. Показаны положительные и отрицательные последствия климатических изменений и некоторые аспекты их влияния на экономику, транспорт, ТЭК и ЖКХ региона.

There are an assessment and forecast of the effects of global climate change on the economy and infrastructure of the coast of the Russian Arctic. The main opportunities and risks for the sustainable development of the region associated with the process of changing the temperature regime, an increase in the number of natural hazards, geocryological changes in coastal areas, an increase in the height of the wind wave, the number of icebergs and the thickness of sea ice are considered. The positive and negative consequences of climate change and some aspects of their impact on the economy, transport, fuel and energy sector and housing and communal services of the region are shown.

Процессы потепления климата на планете идут уже на протяжении последних трёхсот лет. Наблюдаемые глобальные изменения климата связывают с ростом концентрации в атмосфере парниковых газов: углекислого газа, метана, закиси азота. Считается, что наблюдаемое в последние десятилетия ускорение процесса потепления связано с деятельностью человека [1]. При этом ожидаемая скорость потепления в Арктике будет выше по сравнению со среднемировой [2; 3].

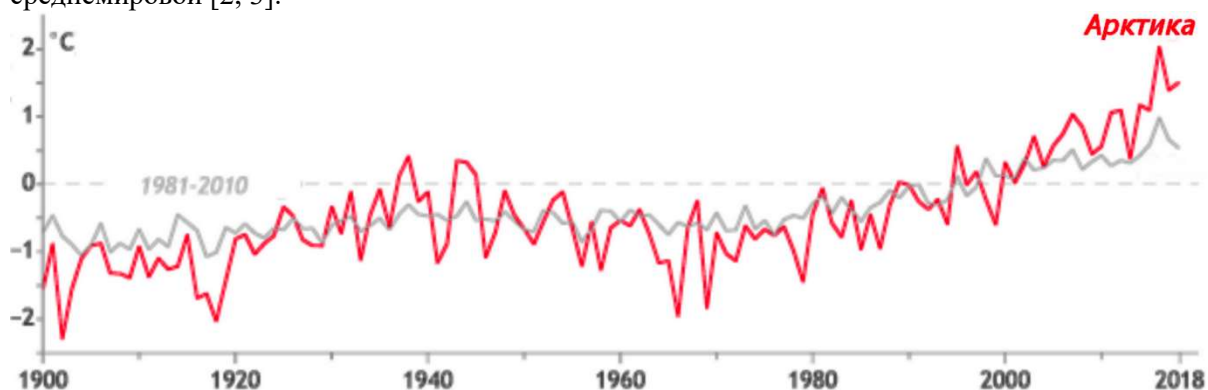


Рис.1. Динамика ежегодного отклонения от средней (1981 – 2010 гг) температуры воздуха (регион Арктики и глобальная температура). Источник: [4].

График, показанный на Рис.1 позволяет отследить величину отклонения от средней температуры за каждый год начиная с 1900 по 2018 гг.. Линия («Арктика») указывает на арктические температуры, а соседняя линия указывает на глобальные температуры. На протяжении большей части наблюдений арктические аномалии колебались как выше, так и ниже среднего глобального значения из-за естественной изменчивости, но после 2000 года арктические температуры остаются неизменно выше среднего глобального значения. Многолетняя повторяемость аномального потепления в Арктическом регионе начиная с 2014 года не похожа ни на один другой зарегистрированный период.

В связи с тем, что инфраструктурное развитие Арктической зоны России (АЗРФ) ведется главным образом в прибрежных районах, последствия потепления климата, связанные с изменением температурного режима всего Арктического региона, в первую очередь повлияют на экономику и инфраструктурное развитие его прибрежных территорий. Расчеты, проведенные для Кольского полуострова (побережье Баренцева и Белого моря), используя данные климатической модели INM CM4 (в рамках сценария RCP8.5) [5; 6] показали, что при потеплении климата к середине и концу XXI века происходит сдвиг дат осеннего и весеннего переходов через 0°C, причем к концу XXI века диапазон положительных температур существенно больше, чем в середине столетия. В середине столетия более заметен сдвиг осенних дат, чем весенних. Интервал между устойчивыми переходами через 0°C увеличивается к середине столетия от двух недель до полутора месяцев, а в конце столетия – от одного месяца до двух с половиной месяцев в направлении с юга на север Кольского полуострова, расположенного в западной части АЗРФ [5].

Значительные изменения прогнозируются и для пространственно-временной изменчивости значений скорости ветра разной обеспеченности по территории Российской Арктики к 2100 г. на основе реанализа ERA-Interim и моделей климатической системы международного проекта CMIP5 для прогнозируемого климата (эксперимент RCP8.5, соответствующий наиболее активному росту температуры в течение XXI века) [6]. При продолжающемся потеплении над большей частью Арктики прогнозируется тенденция роста не только средних, но и экстремальных значений скорости ветра. Уменьшение отмечается над большей частью севера Евразии, Гренландией, Северной Атлантикой, Норвежским морем [7].

Высокий геоэкологический риск в регионе, особенно в прибрежных районах, является одним из определяющих факторов при составлении прогнозов (дорожной карты) развития топливно-энергетического комплекса в АЗРФ. Эволюция вечномёрзлых почв, вызванная взаимодействием между глобальными, региональными и локальными климатическими процессами требует комплексного подхода. Особенно актуально и важно в связи с этим базироваться на результатах климатического моделирования, объединяющего модели пограничного слоя атмосферы, региональные климатические модели и криосферные модели [8].

Процессы таяния многолетней мерзлоты требуют глубокого осмысления и изучения их возможного влияния на действующие объекты энергетического комплекса в АЗРФ и на формирование будущей энергетической инфраструктуры. Криолитологические исследования, проведенные в отдельных арктических городах России, выявили многочисленные примеры повреждения зданий и сооружений на многолетне-мерзлотных грунтах. Так за последнее десятилетие в Норильске число повреждений, связанные с таянием вечной мерзлоты было значительно выше, чем за предшествующие 50 лет [9]. Когда вечная мерзлота тает, то превращается в мягкую грязь, которая может оплывать и проваливаться, что ведет к разрушению зданий и сооружений, воздвигнутых на ней.

К 2050 году от таяния вечной мерзлоты, вызванного изменением климата, может пострадать до 70% инфраструктуры: домов, дорог и трубопроводов — и как-то повредить жизни 3,6 миллиона человек. И, как утверждает коллектив ученых из России, США, Норвегии и Финляндии, даже если человечество сможет удержать глобальное потепление на уровне 2 °С, разрушений не избежать — можно лишь снизить масштаб грозящих нам бедствий [10; 11].

Последствия наблюдаемого потепления в Арктике уже сейчас очевидны. Современные климатические изменения существенно влияют на прибрежные сообщества, видовое разнообразие животных и растений, здоровье и благосостояние человека, а также на экономику и инфраструктуру приарктических регионов.

Освоение ресурсов на шельфе арктических морей в большой степени зависит от климатических условий. Морской дрейфующий лед, айсберги, штормовые ветры и волнения могут представлять опасность для добывающих сооружений и транспортных средств. Прогнозируемые изменения климата в Арктическом регионе не уменьшат опасных гидрометеорологических воздействий, а лишь перераспределят степень опасности от разных факторов. Так, когда вероятность появления дрейфующих льдов уменьшается, возрастает вероятность увеличения высот ветровых волн и появления обломков айсбергов от деградирующих ледников на арктических островах.

Следует отметить, что в многолетней изменчивости высот ветровых волн на акватории Баренцева моря с 1958 по 2002 гг. в зимний период с декабря по январь проявляется увеличение высот волн (на 1,61 м в декабре и на 0,71 м в январе). В ноябре и феврале проявляется некоторое снижение (на 0,25 и 0,68 м). Если сохранится тенденция повышения высот волн, то в будущем увеличение максимальных значений значительных волн окажется равным 2,0 м или примерно на 1,2 м (или на 2,3 м для максимальных волн, которые учитываются при проектировании) по сравнению со средним значением за период с 1958 по 2002 год [12].

Морской лед при утончении и сокращении сплоченности, вероятно, станет более динамичным во многих прибрежных регионах, где прежде существовали относительно стабильные условия, что необходимо также учитывать при хозяйственной деятельности. При перспективном планировании добычи полезных ископаемых в Арктике следует иметь в виду, что в некоторых районах Северного Ледовитого океана ледовитость может увеличиваться. Так, в 2020-2030-х гг. ожидается увеличение площади льдов в западных морях — Баренцевом и Карском [12]. В то же время именно в этих морях в этот период ожидается значительная интенсификация судоходства, связанная с масштабным освоением шельфа — добычей и транспортировкой углеводородов.

Выгоды от изменения климата в энергетическом секторе Арктического региона также связаны с ростом гидро- и ветроэнергетического потенциала из-за прогнозируемого увеличения, соответственно, стока рек и ветровой активности. К отрицательным последствиям можно отнести возможное увеличение нагрузки и рост числа аварий на объектах энергетической инфраструктуры, в первую очередь на ЛЭП и трубопроводах, из-за резких перепадов температуры и усиления опасных гидрометеорологических явлений.

Ожидается, что на большей части территории Северных районов России произойдет уменьшение продолжительности отопительного периода в сравнении со средним по стране. На Кольском полуострове к середине столетия прогнозируется сокращение отопительного периода на 8-12%, а изменение индекса потребления топлива - на 12-16% [13]. Это может означать существенную экономическую выгоду для региона, однако для получения максимального эффекта необходимо учитывать тенденции региональных изменений климата при планировании хозяйственной деятельности, в первую очередь, в сфере ЖКХ.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0149-2019-0002 при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-08-00945\19).

Литература

1. Гулев С.К., Катцов В.М., Соломина О.Н. Глобальное потепление продолжается // Вестник РАН. 2008. Т. 78. № 1. С. 20–27.
2. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика экология и экономика. 2012. Т. 2. № 6. С. 66–79.
3. Спорышев П.В., Катцов В.М., Гулев С.К. Изменения приземной температуры в Арктике: достоверность модельного воспроизведения и вероятностный прогноз на близкую перспективу // Доклады Академии Наук. 2018. № 5. С. 569–573.
4. 2018 Arctic Report Card: Multi-year stretch of record and near-record warmth unlike any period on record | NOAA Climate.gov [Электронный ресурс]. URL: <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2018-arctic-report-card-multi-year-stretch-record-and-near-record> (дата обращения: 28.06.2019).
5. Кислов А.В., Суркова Г.В., Матвеева Т.А. Метеорологические условия температурного диапазона около нуля °С в условиях меняющегося климата западной Арктики. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Т. 1. С. 69–88.
6. Stroeve J.C. и др. Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations // Geophys. Res. Lett. 2012. Т. 39. № 16.
7. Суркова Г.В., Тимшина О.Л. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века // Арктика и Антарктика. 2018. № 3. С. 26–36.
8. Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Nelson F.E. Permafrost, Infrastructure, and Climate Change: A GIS-Based Landscape Approach to Geotechnical Modeling // Arctic, Antarct. Alp. Res. 2012.
9. Grebenets V., Streletskiy D., Shiklomanov N. Geotechnical safety issues in the cities of Polar Regions // Geogr. Environ. Sustain. 2017.
10. Slepchenko S.M. и др. Medieval mummies of Zeleny Yar burial ground in the Arctic Zone of Western Siberia // PLoS One. 2019. Т. 14. № 1. С. e0210718.
11. Aalto J. и др. Statistical Forecasting of Current and Future Circum-Arctic Ground Temperatures and Active

Layer Thickness // Geophys. Res. Lett. 2018. Т. 45. № 10. С. 4889–4898.

12. Соловьев Д.А. Изменение климата в российской Арктике и его воздействие на прибрежную инфраструктуру и экономику региона // Морские исследования и рациональное природопользование : Материалы молодежной научной конференции, г. Севастополь, 19-23 сентября 2018 г. Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва, 2018. С. 369–371.

13. Бердин В.Х. и др. Комплексные климатические стратегии для устойчивого развития регионов Российской Арктики в условиях изменения климата (модельный пример Мурманская область). Москва, 2009. 47 С.

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА НИЖНЮЮ АТМОСФЕРУ

О.М.Ступишина, Е.Г.Головина

Лаборатория «Погода и человек» Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, Россия

THE ESTIMATION OF SPACE WEATHER FACTORS THOSE CAN AFFECT THE LOW ATMOSPHERE

O.M. Stupishina, E.G. Golovina

“Weather and Human” laboratory. Russian State Hydrometeorology University, Saint-Petersburg, Russia

Исследование одновременной изменчивости параметров космической и земной погоды в разных районах России дали возможность определить космические факторы, возможно, определяющие формирование различных периодов существования барических образований, что дает возможность предсказания начала и конца различных периодов устойчивости барических образований.

The investigation of space and terrestrial weather contemporaneous variations in different Russian regions gave the evaluation possibility to account space weather factors those can create the reason of different baric stability periods. The study results may create the forecasting basis.

Целью нашей работы является оценка возможного влияния космической погоды на формирование погоды земной, используя анализ одновременной изменчивости характеристик циркуляции атмосферы и гелиогеофизических параметров.

Исследования проводились посредством оценки различия между комплексами параметров космической погоды в дни начал и концов периодов устойчивости барических образований в рамках естественного синоптического периода (5-7 дней) - для атмосферы г. Тамбов, и в периоды (а) длительной неустойчивости (ежедневная смена барических образований в течение более 10 дней) и (б) устойчивости барических образований много выше естественного синоптического периода (> 10 дней)- для атмосферы Санкт-Петербурга.

В качестве параметров космической погоды выбраны следующие:

1. Глобальные характеристики Солнечной Активности (СА) – интегральный радио поток на волне 10.7 см; количество пятен на видимом диске Солнца; общая площадь пятен; количество новых пятен за сутки.

2. Вспышечная компонента СА – вспышки в рентгеновском диапазоне электромагнитного излучения С, М, X; вспышки в оптическом диапазоне (баллы площади вспышек s, 1, 2, 3);

3. Характеристики околоземного космического пространства – плотность потоков электронов разных энергий – $E > 0,2 \text{ МэВ}$; $E > 0,6 \text{ МэВ}$, плотность потоков протонов разных энергий – $E > 1 \text{ МэВ}$ $E > 10 \text{ МэВ}$, $E > 100 \text{ МэВ}$.

4. Характеристики геомагнитного поля – К-индекс (трехчасовые величины напряжённости горизонтальной H_x - составляющей) на средних широтах.

Рассматривались не только срочные значения параметров космической погоды, но и их суточные статистики (среднее, медиана, минимум, максимум, амплитуда, стандартное отклонение, коэффициент вариации, коэффициент осцилляции)

Атмосферную циркуляцию, понимаемую как совокупность воздушных течений, по масштабу этих течений можно разделить на три группы: (1) макромасштабные, которые отличаются наибольшей устойчивостью течений в тропосфере и стратосфере и обусловлены не только факторами планетарного масштаба, но и космического, (2) синоптические, определяемые движением воздушных масс, в частности, циклонического и антициклонического характера барического поля и (3) локальные, возникающие в ограниченном районе главным образом за счет неоднородностей подстилающей поверхности.

В настоящей работе мы рассматривали синоптическую циркуляцию атмосферы. Выбранные для исследования начала и концы периодов устойчивости или неустойчивости барических образований в дальнейшем обозначаются как «событие» в атмосфере.

Предложена следующая методика, позволяющая: (а) описать состояние комплекса возможных воздействующих факторов космической погоды (КП) в целом; (б) из большого количества входных параметров отобрать только такие из них, которые различаются в случае соответствия разным событиям в атмосфере (началам и концам «периодов циркуляционной устойчивости или неустойчивости») и, следовательно, могут нести ответственность за формирование условий реализации этих событий.

Для достижения заявленных целей предпринимались следующие действия:

1. Каждая из характеристик КП была стандартизована на ее сезонную медиану.

Процедура стандартизации дает сразу три преимущества: (1) Позволяет превратить комплекс возможных воздействующих факторов, каждый из которых был первоначально измерен в его собственных единицах, в единую выборку, члены которой измерены условными единицами отклонения от своей сезонной медианы. Следовательно, для такой выборки можно вычислить обычные описательные статистики (центра распределения и разброса) и описать таким образом комплекс факторов в целом. (2) Позволяет установить степень отклонения всего комплекса от его сезонной нормы, так как отклонение медианы полученной выборки от нуля определяется отклонениями каждого члена выборки от своей сезонной медианы. (3) Позволяет сравнить между собой комплексы, соответствующие разным событиям (в данной работе – началам и концам «периодов циркуляционной устойчивости или неустойчивости»), что дает возможность определить различия условий реализации этих событий.

Результатом вышеописанной обработки являлся набор характеристик КП, представленный как единое целое.

2. Соответствие состояния КП конкретному событию в атмосфере (начало или конец «периода циркуляционной устойчивости или неустойчивости») определялось следующим образом: день каждой регистрации определенного события описывался одинаковым набором характеристик КП, т.е. представлял собой комплекс возможных условий реализации рассматриваемых событий.

3. Исследовался промежуток от (-10)-дня до (+10)-дня интервала наложенных эпох. Особое внимание уделялось дню регистрации явления (события) в атмосфере и дню максимального различия комплексов КП, соответствующих различным событиям в атмосфере. Последний определялся посредством вычисления максимального эвклидова расстояния между комплексами КП в пространстве стандартизованных (см.п.1) величин исследуемых ее характеристик. Причиной поиска дня максимального различия являлось желание заложить достоверную базу для построения заблаговременного прогноза состояния КП, связанного с определенным формированием циркуляции атмосферы.

4. Был составлен список характеристик КП, которые (а) находились в разных отношениях к своим сезонным медианам (меньше либо больше или равны медиане) при соответствии различным событиям в атмосфере; кроме того, (б) внутренняя дисперсия в группе, образованной несколькими днями регистрации соответствия исследуемой характеристики КП определенному событию в атмосфере, не превышала описанного выше (см. п.3) расстояния между комплексами КП в заданный день. Состояние этих характеристик в рамках описанных выше критериев в данной работе решено было считать различающимся при соответствии различным событиям в атмосфере, следовательно, можно предположить их ответственность за различие комплексов космической погоды в дни начал и концов «периодов выбранной циркуляции атмосферы».

5. Был построен временной ход изменений отобранных факторов на интервале наложенных эпох.

Оценка различия между комплексами параметров КП в данной работе выполнялась:

- в периоды устойчивости барических образований в рамках естественного синоптического периода (ЕСП) (5-7 дней) - для атмосферы г. Тамбов,
- в периоды (а) длительной неустойчивости (ежедневная смена барических образований на промежутке времени более 10 дней) и (б) устойчивости барических образований

много выше естественного синоптического периода (> 10 дней) - для атмосферы Санкт-Петербурга.

Результаты исследований событий в атмосфере г. Тамбова:

Исследование показало, что начало и конец ЕСП характеризуются различной структурой комплексов характеристик Космической Погоды. В дни начал ЕСП большинство элементов такого комплекса (79%) превышают свои сезонные медианы, тогда как в дни концов такая же доля элементов не достигает своих сезонных медиан (Рис.1).

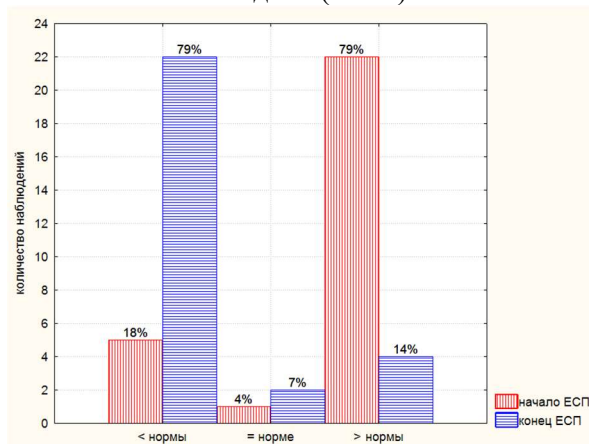


Рис. 1 Различия между комплексами характеристик КП в периоды устойчивости барических образований в рамках ЕСП (5-7 дней) в атмосфере Тамбова.

В списке характеристик Космической Погоды, различающихся при соответствии началам и концам ЕСП, большую долю (96%) составили характеристики геомагнитного поля (ГМП). Наибольший интерес вызвало поведение максимальной за сутки величины и коэффициента осцилляции к-индекса ГМП на средних широтах.

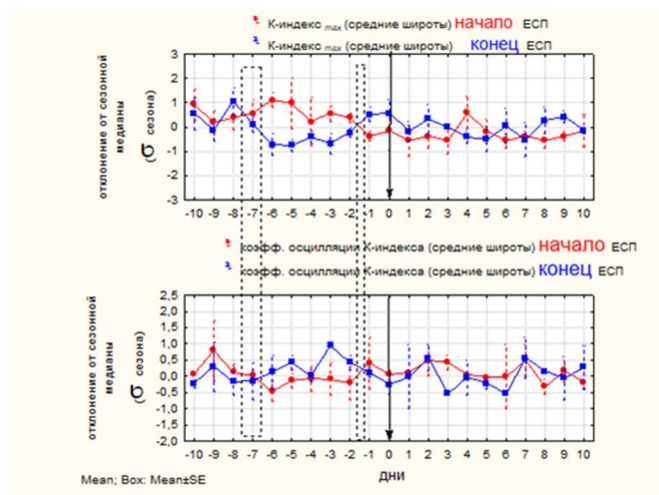


Рис. 2 Поведение суточных статистик к-индекса на средних широтах при начале и конце ЕСП в атмосфере Тамбова. Пунктиром отмечены дни противоположного изменения в тенденции поведения.

Результаты исследования событий в атмосфере г. Санкт-Петербурга:

Исследование позволило сделать вывод о том, что длительная устойчивость циклонов и неустойчивость, начинающаяся регистрацией циклона в первый ее день, зимами, вошедшими в исследование (т.е. такими сезонами, чтобы в них регистрировались оба вида устойчивости циклонов), различаются поведением полных комплексов Космической Погоды на всем промежутке наложенных эпох (Рис.3)

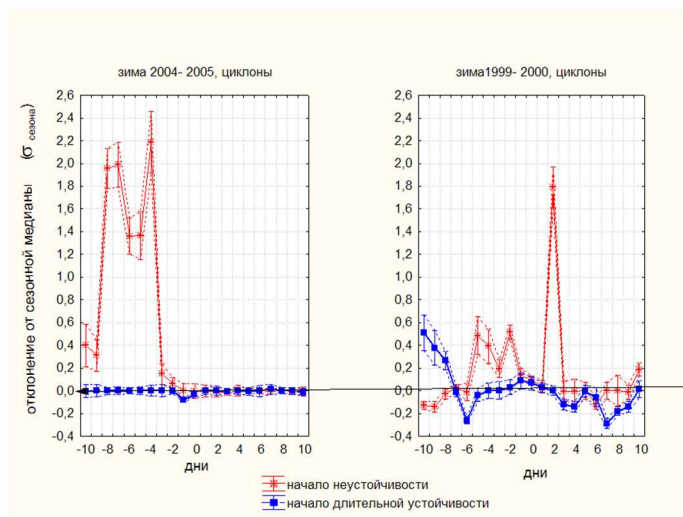


Рис. 3 Различия между комплексами параметров космической погоды в периоды длительной неустойчивости и выше естественного синоптического периода устойчивости барических образований - для атмосферы Санкт-Петербурга.

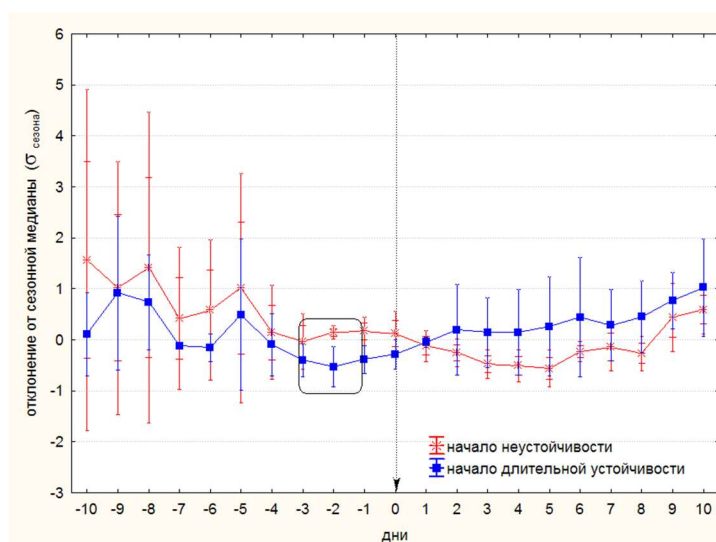


Рис.4 Поведение суточной медианы величины фонового рентгеновского потока в диапазоне длин волн 1-8 Ангстрем при началах периодов разной степени циклонической устойчивости в атмосфере Санкт-Петербурга зимами 1999-2000 г.г. и 2004-2005 г.г. Выделен день достоверного различия в поведении.

Среди характеристик Космической Погоды, различающихся при соответствии началам и концам разных периодов устойчивости – неустойчивости (рис.4) наибольший интерес вызвало поведение суточной медианы величины фонового рентгеновского потока в диапазоне длин волн 1-8 Ангстрем.

Результаты анализа одновременной изменчивости параметров космической и земной погоды показывают необходимость дальнейших исследований, полезных для коррекции формирования прогноза состояния атмосферы с учетом космических характеристик.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Сумачев А.Э.

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

Банщикова Л.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия, НПО «Гидротехпроект», Россия, Валдай

Sumachev A.E.

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia

Banshikova L.S.

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia, SPO "Gidrotehproekt" Russia, Valdai,

В докладе рассматриваются вопросы прогнозирования гидрологических характеристик с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Искусственные нейронные сети являются мощным и современным инструментом прогнозирования. Несмотря на это, существует достаточно много вопросов связанных с использованием искусственных нейронных сетей, а также с процессами, происходящими внутри модели. В данной статье проанализирован мировой и отечественный опыт прогнозирования, а также сделана попытка ответить на некоторые из этих вопросов.

The report addresses the issues of forecasting hydrological characteristics using artificial neural networks (ANNs). Artificial neural networks are a powerful and modern forecasting tool. Despite this, there are many questions related to the use of artificial neural networks, as well as to the processes occurring inside the model. This article analyzes the world and domestic experience of forecasting, as well as an attempt to answer some of these questions.

Введение

Искусственная нейронная сеть (ИНС) — математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенное по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытках смоделировать эти процессы. Первой такой попыткой были нейронные сети У. Маккалока и У. Питтса [1]. После разработки алгоритмов обучения полученные модели стали использовать в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др.

Обсуждение и выводы

Несмотря на значительный опыт применения ИНС зарубежными специалистами, в российской гидрологической практике модели, основанные на ИНС, пока что не получили широкого распространения. Метод ИНС основан на возможности их обучения решать конкретные задачи. Возможность машинного обучения доступна в настоящее время во многих программных продуктах, например Statistica 10 и Matlab, а также язык программирования Python позволяет обучать высокоорганизованные нейронные сети.

Нейронные сети на данный момент во многих областях вытесняют классические алгоритмы. Например, компания Goggle с 2017 года выполняет автоматический перевод текста, пользуясь достижениями в области нейросетевого моделирования. Другой пример — это нейросеть AlphaZero, которая в 2017 году стала чемпионом мира по шахматам, обыграв программу

StockFish, использующую базы данных сыгранных партий. Шахматная программа Stockfish до 2017 года являлась сильнейшей шахматной программой, обыграв Гари Каспарова [2].

В области гидрологии нейронные сети получили широкое распространение за рубежом. Например, в работах [3, 4] доказана более высокая эффективность нейросетевого моделирования при прогнозировании стока с различных водосборов, чем при использовании регрессионных зависимостей.

В работах отечественных ученых также встречается применение методик, основанных на ИНС. В работе [5] рассмотрено применение аппарата нейронных сетей для анализа и сверхкраткосрочного прогноза приземной температуры с использованием созданной базы метеорологических данных, получаемых от автоматической метеорологической станции РГГМУ. В работе [6] была решена задача оценки обстановки в ближней морской зоне для выбора маршрутов или районов безопасного маневрирования судов с учетом различных территориальных факторов: ледовая обстановка, ветер, течения, экологические ограничения, хозяйственная активность, социальные факторы и др. Результаты, полученные в приведенных работах, признаны удовлетворительными. Вполне очевидно, что ИНС пригодны и для сверхдолгосрочного прогнозирования, наравне с уравнением Фоккера-Планка-Колмогорова [7], описывающим эволюцию кривой плотности вероятности.

Авторами рассмотрены вопросы прогнозирования характеристик стока с использованием искусственных нейронных сетей: в работе [8] был рассмотрен водный режим Северной Двины в условиях меняющегося климата; в продолжении [9] данной работы авторами была разработана методика прогнозирования максимальных значений расходов воды. В работе [10] были применены ИНС для прогнозирования максимального ледоходного уровня реки Сухона в районе города Великий Устюг. При проверке на независимом материале методики были признаны успешными.

Несмотря на перечисленные многочисленные успешные примеры использования, в настоящее время нейросетевые алгоритмы обладают рядом недостатков. ИНС являются моделями типа «черного ящика», что, по сути, делает их родственными моделям регрессии. Недостаточная «специфичность» методов ИНС приводит к худшим, по сравнению с концептуальными моделями, результатам: в данное время не существует специализированного программного пакета по гидрологии, использующего методы обучения искусственных нейронных сетей, в то время как концептуальные модели формирования стока изначально были разработаны специалистами в области гидрологии и прогнозирования. Искусственные нейронные сети, обучение которых доступно в распространенных программных продуктах, позволяют решать широчайший круг вопросов, связанных с прогнозированием, но не являются специфичными для гидрологии. Примеры ИНС, приведенные выше для других областей, показывают превосходство специализированных нейронных сетей перед другими алгоритмами, созданными для решения данных задач. Таким образом, при обучении нейронной «сети-гидролога» можно ожидать ее превосходства над существующими программными продуктами. При создании ИНС для решения гидрологических задач необходимо учесть специфику данных, а также их стохастическую природу. Сейчас становится очевидным, что ряды стока [8], ледовый режим [11] и другие гидрологические характеристики являются нестационарными и изменяются в зависимости от климатических факторов, что невозможно учесть в традиционных статистических моделях, поэтому требуется постоянный пересчет коэффициентов уравнений регрессии. При создании специализированной ИНС, это может быть учтено путем непрерывного обучения ИНС, то есть таком подходе к обучению, когда ИНС непрерывно продолжает свое обучение и корректирует свою работу в зависимости от реальной картины мира.

Широко распространено мнение, что для корректной работы искусственной нейронной сети необходим огромный объем данных; в действительности к данным предъявляются те же самые требования, что и при использовании других методов: выборка должна быть репрезентативна, непротиворечивой и соответствовать сложности поставленной задачи. Например,

подразделение по разработке искусственного интеллекта компании Samsung в Москве создало нейросеть, которая может превратить любой портрет в подвижное изображение. Обычно для обучения нейросети требуется большая база данных с изображениями одного человека. Samsung же удалось создать технологию, которая обучается на нескольких изображениях. Кроме того, это происходит гораздо быстрее, несмотря на необходимость настройки десятков миллионов параметров [12]. Использование технологий распознавания образов в гидрологии может помочь прогнозировать меандрирование рек, обнаруживать затороопасные участки рек и т.д.

Даже в случае успешного, на первый взгляд, обучения, сеть не всегда обучается именно тому, что от неё хотел разработчик. Известен случай, когда сеть обучалась распознаванию изображений танков по фотографиям, однако позднее выяснилось, что все танки были сфотографированы на одном и том же фоне. В результате сеть «научилась» распознавать этот тип ландшафта, вместо того, чтобы «научиться» распознавать танки [13]. Таким образом, сеть «понимает» не то, что от неё требовалось, а то, что проще всего обобщить. В гидрологических прогнозах это проявляется путем прогнозирования среднего значения по выборке.

Проверка качества обучения нейросети необходимо проводить на примерах, которые не участвовали в её обучении. При этом число тестовых примеров должно быть тем больше, чем выше качество обучения. Хорошим критерием для оценки качества работы ИНС является коэффициент Нэша-Сатклиффа [14].

Одной из проблем при использовании нейронных сетей в практике гидрологических прогнозов является выбор правильной архитектуры сети и оптимального количества скрытых нейронов. Недостаточное число нейронов не позволит решить сложную задачу, а слишком большое их количество сильно замедлит процесс обучения: чем больше элементов в сети, тем медленнее она обучается. При этом большое количество нейронов позволит сети не аппроксимировать зависимость между входом и выходом, а лишь запомнить все подаваемые на вход данные и сопоставить им соответствующие выходы. Такой подход оказывается ошибочным, что проявляется при тестировании нейронной сети на независимом материале. Таким образом для решения конкретной задачи с использованием искусственной нейронной сети рекомендуется выбирать соответствующую задаче архитектуру и эмпирическим путем подбирать необходимое и достаточное число скрытых нейронов. В программном пакете Statistica 10 реализована возможность использования автоматического режима подбора архитектуры нейронной сети — необходимо лишь задать диапазон количества скрытых нейронов для обучения [15].

Заключение

В статье дан обзор практики применения нейронных сетей в качестве инструмента прогнозирования. Показано, что ИНС во многих областях вытесняют традиционные алгоритмы. В статье также рассмотрены основные недостатки нейросетевого аппарата: негидрологичность, возможность переобучения, необходимость строгого контроля полученных результатов и др.

Тем не менее, нейросетевые модели, в большинстве случаев, превосходят классические модели, что делает их отличным инструментом прогнозирования в тех областях гидрологии, для которых не разработаны концептуальные математические модели. По мнению автора, нейронные сети в будущем способны заменить или объединить традиционные методы, т.к. обладают значительным потенциалом развития и удобством использования.

Литература

1. Мак-Каллок У. С., Питтс В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности. Архивная копия от 27 ноября 2007 на Wayback Machine // Автоматы / Под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. — М.: Изд-во иностр. лит., 1956. — С. 363—384. (Перевод английской статьи 1943 г.

2. Superhuman' Google AI claims chess crown, BBC News (6 December 2017), (дата обращения 10.09.2019)
3. M. K. Akhtar , G. A. Corzo , S. J. van Andel , and A. Jonoski River flow forecasting with artificial neural networks using satellite observed precipitation pre-processed with flow length and travel time information: case study of the Ganges river basin Hydrology and Earth System Science, 13, 1607–1618, 2009.
4. Shamseldin A.Y., O'Connor K.M. A Non-Linear Neural Network Technique for Updating of River Flow Forecasts // Hydrology and Earth System Sciences. – 2001. – Vol. 5 (№ 4). – pp. 577-597.
5. Е.С. Алдошкина, А.Д. Кузнецов, А.А. Пугачев, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина, В.В. Чукин Опыт использования аппарата нейронных сетей для анализа и прогноза временного ряда температуры воздуха Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 11. Научно-теоретический журнал. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009, 91-100 с
6. С.И. Биденко, И.С. Храмов, М.Б. Шилин Оценка территориальной ситуации с использованием искусственных нейронных сетей Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 54. Научно-теоретический журнал. СПб: РГГМУ, 2019. 162 с., 109-123
7. Risken H. The Fokker — Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. — 2nd ed. — Springer, 1984. — 452 p. — ISBN 3-540-61530
8. А.Э. Сумачев Изменение климата и его влияние на гидрологический режим Северной Двины, Естественные и технические науки, в.9, 2018 г
9. Aleksandr E. Sumachev, Vadim A. Kuzmin and Evgenii S. Borodin, River Flow Forecasting Using Artificial Neural Networks, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9(10), 2018, pp. 706–714.
10. А. Э. Сумачев Оценка возможности прогнозирования максимального ледоходного уровня воды с использованием максимальной толщины льда на примере рек бассейна Северной Двины, Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 54. Научно-теоретический журнал. СПб: РГГМУ, 2019, с. 48-57
11. Сумачев А. Э., Банщикова Л. С. Изменение климата и его влияние на ледовый режим рек, Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований», посвященной 180-летию российского путешественника и натуралиста, исследователя Центральной Азии Н. М. Пржевальского в рамках XV Большого географического фестиваля. – М.: Издательство «Каллиграф», 2019. – 1227 с. [Электронное издание]с. 275-278
12. <https://birdinflight.com/ru/novosti/20190524-samsung-ai.html> (дата обращения 10.09.2019)
13. <https://www.popmech.ru/science/6788-po-obrazu-i-podobiyu-iskusstvennyy-razum/#part1> (дата обращения 10.09.2019)
14. Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles". Journal of Hydrology. 10 (3): 282–290
15. StatSoft, Inc. (2012). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB:<http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения 08.10.2018)

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

Сумачев А.Э.

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный гидрологический институт", Санкт-Петербург, Россия

Банщикова Л.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный гидрологический институт", Санкт-Петербург, Россия, НПО «Гидротехпроект», Россия, Валдай

Sumachev A.E.

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia

Banshikova L.S.

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia, SPO "Gidrotehproekt" Russia, Valdai,

Доклад посвящен проблеме изменения климата и его влиянию на ледовый режим рек. В работе рассмотрена многолетняя изменчивость температуры воздуха за холодный период на 20 метеостанциях исследуемого региона. Выявлены физические зависимости между температурами воздуха и продолжительностью ледостава, его характером. Дана критическая оценка гипотезе изменения типа замерзания рек. Исследования выполнены на примере рек Северная Двина, Сухона, Вычегда, Юг, Ема, Печора, Мезень, Вакша.

The report is devoted to the problem of climate change and its impact on the ice regime of rivers. The long-term variability of air temperature during the cold period at 20 weather stations of the studied region is considered. Physical dependences between air temperatures and the duration of freezing, its nature, were studied. A critical assessment of the hypothesis of a change in the type of river freezing is given. The studies were carried out on the example of the rivers Northern Dvina, Sukhona, Vychegda, South, Ema, Pechora, Mezen, Vaksha.

Введение

В настоящее время исследования, связанные с изменением климата и его влиянием на окружающую среду, являются наиболее актуальными. Доказано, что повышение температуры воздуха приводит к существенному изменению гидрологического режима рек [1]. Ледовый режим при этом подвергается трансформации: смещаются сроки замерзания и вскрытия, уменьшается толщина льда, при этом данное уменьшение не равномерно по территории. В последние годы тип замерзания рек изменяется на зажорный, что подразумевает более длительный переходный период (продолжительность от начала первых ледовых явлений до образования постоянного ледостава) на реках с мощными шугоходами и большей вероятностью образования зажоров, которые весной становятся очагами заторов льда [2]. Детальный анализ таких характеристики как длительность переходного периода и повторяемости зажоров показывает, что это не совсем так.

В качестве исходных в работе использованы данные по 18 метеостанциям и 31 гидрологическим постам. Для оценки влияния климата на ледовый режим рек рассматривался период с 1950 года, так как наблюдения за толщиной льда были начаты с этого года.

В работе использованы методы математической статистики. Для выявления тенденций изменения климата и ледового режима оценены статистические значимости коэффициента корреляции.

Современное состояние климата

Для оценки степени изменчивости климата были проанализированы разномасштабные колебания температуры воздуха исследуемого региона за период отрицательных температур. Выполненный анализ показал статистически значимое увеличение температуры воздуха за период отрицательных температур по 20 метеостанциям [3]. За последние 50 лет она увеличилась на 2 °С (с -8,5 до -6,5°С). Внутри холодного сезона среднемесячная температура воздуха увеличилась неравномерно (таблица 1). С ноября по февраль выраженные тренды температуры воздуха отсутствуют.

Таблица 1. Оценка статистической значимости линейных трендов среднемесячной температуры воздуха исследуемого региона за 1950-2017.

Месяц	X	XI	XII	I	II	III	IV	Ср.Зимняя
T, °С	1,0	-6,3	-11,2	-14,7	-13,0	-6,7	0,4	-6,7
R	0,19	0,12	0,07	0,11	0,17	0,31	0,16	0,33
Значимость	-	-	-	-	-	+	-	+

Считается, что тип замерзания рек изменяется на зажорный. Это подразумевает установление неполного ледостава, при этом полыньи сохраняются долгое время, являясь основным источником шуги, которая уменьшает пропускную способность русла, увеличивая максимальные уровни в начале ледостава. В результате увеличения количества шуги и осенней водности рек все чаще образуются мощные зажоры, которые весной могут стать очагами заторов льда [2]. Изменение типа замерзания рек на зажорный было опровергнуто путем совместного анализа продолжительности периода от начала первых ледовых явлений до образования постоянного ледостава и анализа многолетней изменчивости образования зажоров льда (рис.1, таблица 2).

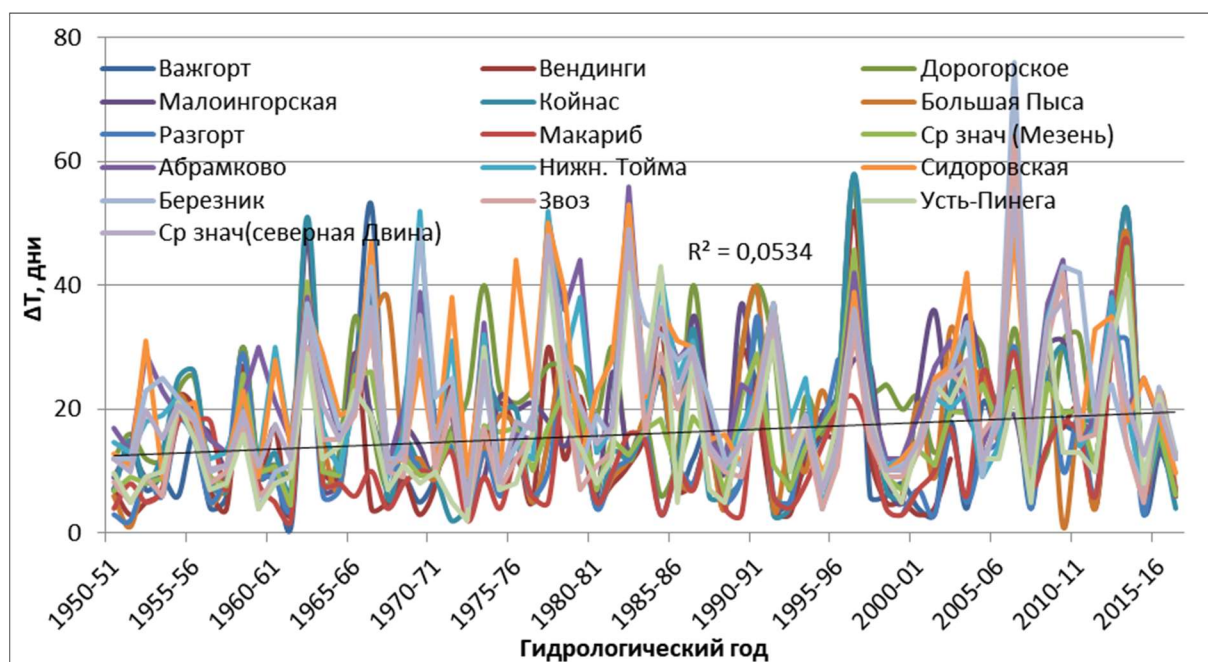


Рис. 1. Многолетняя изменчивость продолжительности переходного периода на реке Северная Двина, Мезень и Вакша за 1950-2017.

Таблица 2. Многолетняя изменчивость повторяемости заторов на реке Мезень и Вакша за 1950-2017.

Года	Повторяемость зажоров, %								
	Важгорт	Вендинги	Дорогорское	Малоингорская	Койнас	Большая Пыса	Разгорт	Макариб	Ср знач
1950-1979	10	21	24	41	17	38	10	52	27
1980-2016	22	8	0	8	0	31	11	22	13

Из приведенных графика и таблицы видно, что количество дней от начала ледовых явлений до устойчивого ледостава, действительно, возрастает, однако это не приводит к увеличению числа зажоров. Таким образом, наблюдается изменение осеннего ледового режима, направленное, в первую очередь, на увеличение переходного периода, но не частоту образования опасных явлений.

Следствием изменения сроков замерзания и вскрытия рек стало уменьшение продолжительности ледостава на всех рассмотренных пунктах наблюдения (рис.2). При этом продолжительность ледостава, как случайный процесс, обладает выраженной эргодичностью, что позволяет рассматривать одну реализацию данного случайного процесса — среднюю продолжительность ледостава [3].

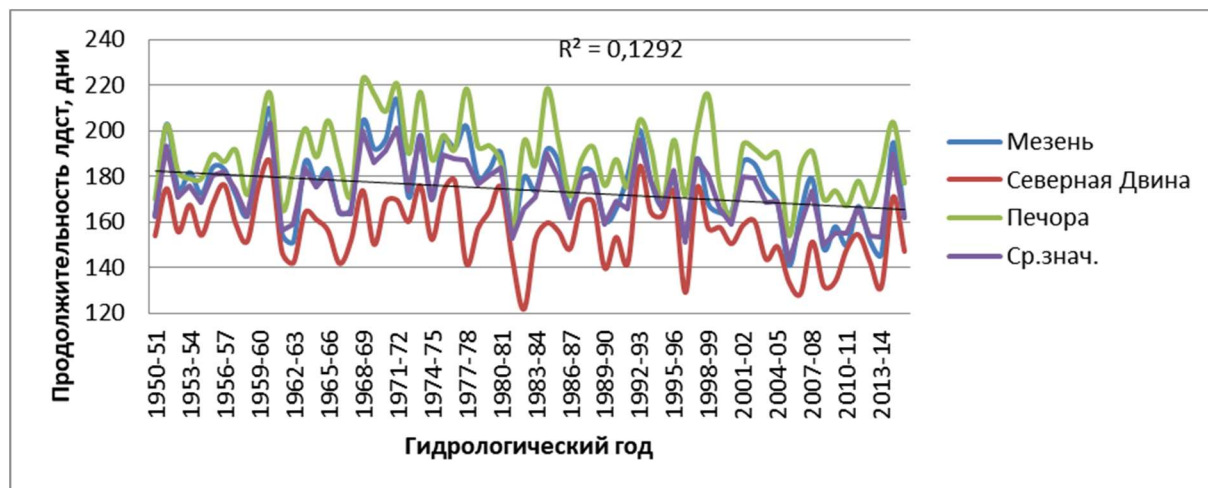


Рис. 2. Средняя продолжительность ледостава.

Средняя продолжительность ледостава находится в тесной зависимости с температурой октября-ноября и апреля (множественный коэффициент корреляции 0,8, средняя абсолютная ошибка регрессионного уравнения 7 суток). По причине увеличения температуры воздуха за зимний период, в особенности температуры октября-декабря, снизилась и максимальная толщина льда на всех рассмотренных пунктах наблюдений [3], которая, наравне с разницей в максимальных толщинах льда, является важным предиктором при прогнозировании максимального ледоходного уровня [4].

Заключение

В работе рассмотрены вопросы изменения климата и его влияния на ледовый режим на примере рек Северная Двина, Сухона, Вычегда, Юг, Ема, Печора, Мезень, Вакша. Выявлено

статистически значимое увеличение среднегодовой температуры воздуха на 18 метеостанциях региона. Установлено статистически значимое снижение числа дней с ледовым покровом, что обусловлено увеличением температуры в период замерзания и вскрытия. Выявлено увеличение числа дней переходного периода, число и повторяемость зажоров при этом снижается, что опровергает выдвинутую ранее гипотезу изменения типа замерзания рек на зажорный вследствие изменения климата. Результаты, полученные в данной работе, будут применяться при разработке моделей прогнозирования максимальных ледоходных уровней.

Литература

1. Сумачев А.Э. Изменение климата и его влияние на гидрологический режим Северной Двины, Естественные и технические науки, в.9, 2018
2. Бузин В.А. Зажоры и Затопы льда на реках России. СПб. ГГИ, ГГИ, 2015. 240с.
3. Сумачев А. Э., Банщикова Л. С. Изменение климата и его влияние на ледовый режим рек, Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований», посвященной 180-летию российского путешественника и натуралиста, исследователя Центральной Азии Н. М. Пржевальского в рамках XV Большого географического фестиваля. – М.: Издательство «Каллиграф», 2019. – 1227 с. [Электронное издание]с. 275-278
4. Сумачев А. Э. Оценка возможности прогнозирования максимального ледоходного уровня воды с использованием максимальной толщины льда на примере рек бассейна Северной Двины, Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 54. Научно-теоретический журнал. СПб: РГГМУ, 2019, с. 48-57

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

В.Н. Сухачев^{1,2}, Е.А. Захарчук^{1,2}, Г.Н. Войнов^{2,3}, Н.А. Тихонова^{1,2}

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет,

²Санкт-Петербургское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова»

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

MESOSCALE LEVEL FLUCTUATIONS IN THE GULF OF FINLAND

V.N.Sukhachev^{1,2}, E.A. Zakharchuk^{1,2}, G.N. Voinov^{2,3}, N.A. Tikhonova^{1,2}

¹Saint-Petersburg State University, St-Petersburg, Russia

²St-P. branch of FSBI «N.N. Zubov state oceanographic institute», St-Petersburg, Russia

³Arctic and Antarctic research Institute, St-Petersburg, Russia

Аннотация

На основе анализа длительных рядов ежечасных значений уровня моря исследуются мезомасштабные колебания уровня, связанные со штормовыми нагонами и полусуточными и суточными приливами. Оцениваются межгодовые изменения количества штормовых нагонов и характеристик ветра за период 1971-2018 г. Получены новые сведения о приливах Финского залива, которые свидетельствуют, что при расчете штормовых нагонов необходимо учитывать приливные колебания уровня, в особенности, в условиях развития сизигийных и/или тропических приливов.

Annotation

Based on the analysis of long series of hourly sea level values, mesoscale level fluctuations associated with storm surges and semidiurnal and diurnal tides are investigated. Interannual changes in the number of storm surges and wind characteristics for the period 1971-2018 are estimated. New information has been obtained on the tides of the Gulf of Finland, which suggests that when calculating storm surges, tidal fluctuations in the level must be taken into account, especially in conditions of development of spring tide and / or tropical tide.

Мезомасштабные процессы в океанах и морях, согласно классификациям Монино [1] и Каменковича [2] имеют временные масштабы от часов до суток и пространственные – от сотен метров до десятков километров и более. К этому диапазону изменчивости океанологических процессов относятся мезомасштабные колебания уровня моря, связанные со штормовыми нагонами и приливами. В данной работе представлены результаты исследования штормовых нагонов и приливов в Финском заливе Балтийского моря на основе рядов ежечасных значений уровня, полученных по мареографным измерениям в береговых пунктах.

Под штормовыми нагонами понимаются значительные подъёмы уровня моря в прибрежной зоне, являющиеся следствием суммарного действия статического эффекта атмосферного давления, ветрового нагона и длиной волны, которые генерируются анемобарическими силами в атмосферном циклоне.

В рамках данной работы для выделения штормовых нагонов и оценки межгодовых изменений их количества анализировались ряды ежечасных значений уровня с 1971, 1989 гг. по 2018 г. в 6 пунктах Финского залива: Ханко, Хельсинки, Хамина, Выборг, Кронштадт, Шепелево. В качестве критериев выделения штормовых нагонов брались значения $>3\sigma$ и $>5\sigma$, где σ - среднеквадратическое отклонение колебаний уровня моря (СКО). Здесь полезно заметить, что для восточной части Финского залива (например, Кронштадт) повышение уровня более 5σ идентифицируется как его опасный подъём.

Результаты показали, что, за исключением Выборга, при оценке штормовых нагонов по критерию $>3\sigma$, во всех случаях отмечается отрицательный тренд, который, однако, не является значимым (рис. 1). На станции Выборг тренд отсутствует. Эти результаты свидетельствуют, что в отличие от оценок Wolski et. al. (2014) [3], которые показали увеличение штормовых нагонов на станции Хельсинки, в нашем случае такой тенденции не отмечается.

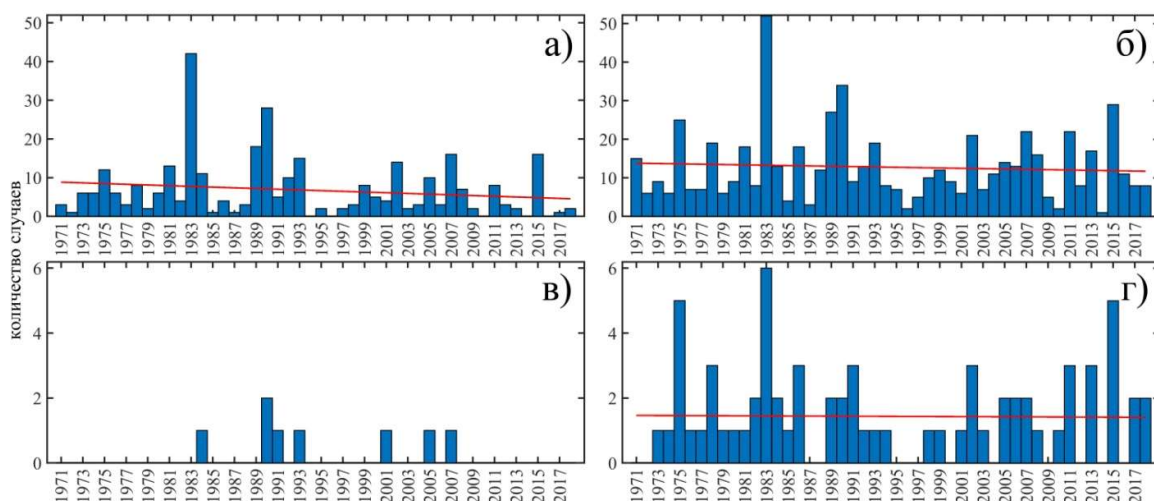


Рис. 1. Межгодовые изменения количества случаев штормовых нагонов в Хельсинки (а, в) и Кронштадте (б, г), оцененные с учетом критериев $>3\sigma$ (а, б) и $>5\sigma$ (в, г). Красной линией показан линейный тренд.

Результаты оценки штормовых нагонов по критерию $>5\sigma$ свидетельствуют, что в пункте Ханко опасные подъёмы уровня являются очень редким явлением (всего 2 случая за весь рассматриваемый период). На ст. Хельсинки с 1984 по 2007 гг. произошло 8 случаев опасных подъёмов уровня, а до и после этого периода их не наблюдалось (рис. 1в). На станциях Хамина, Выборг, Кронштадт и Шепелево в последние два десятилетия отмечается незначительное увеличение количества опасных подъёмов уровня моря.

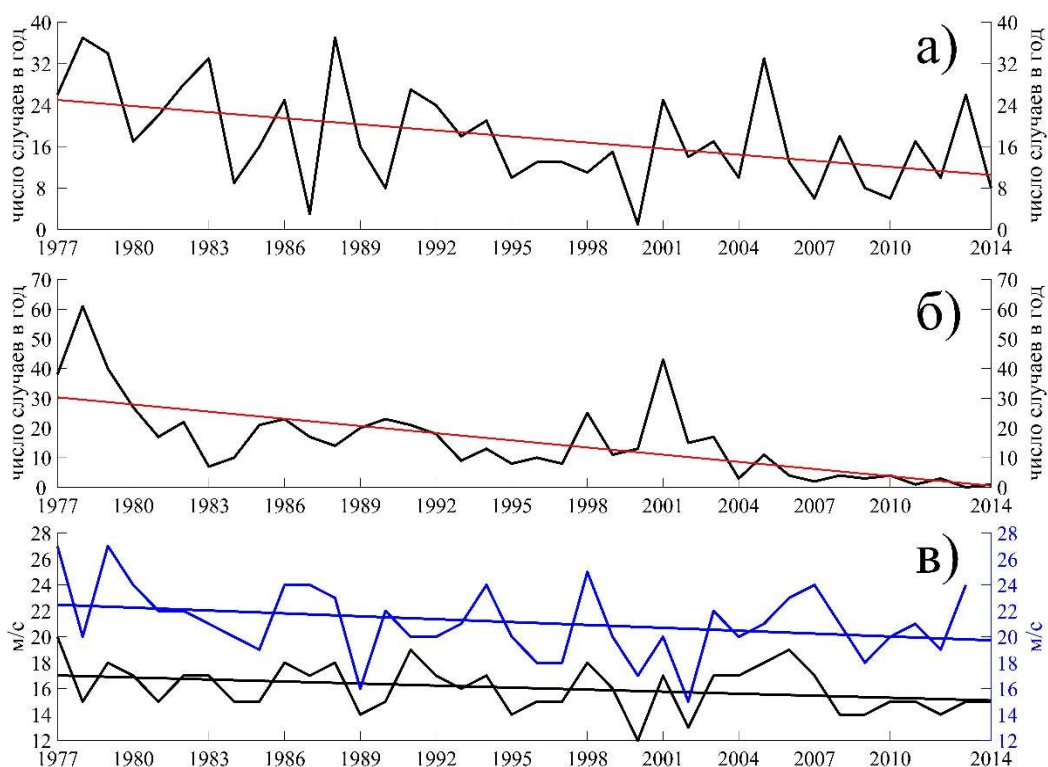


Рис. 2. Межгодовые изменения количества случаев, когда ветер на ГМС станции Озерки имел направления ЮЗ-СЗ ($225^\circ - 315^\circ$) и скорости ≥ 12 м/с в период с августа по март включительно (а), направления СВ-ЮВ ($45^\circ - 135^\circ$) со скоростями ≥ 5 м/с (б), значения максимальной скорости ветра за каждый год (черная линия) и максимальной скорости в порывах ветра (синяя линия) (в). Прямыми линиями показаны линейные тренды.

Для интерпретации полученных результатов были проанализированы инструментальные измерения ветра на станции Озерки (см. рис. 3) в период с 1997 по 2014 гг. На рис. 2 показано количество случаев ветров западных и восточных румбов, отмечавшихся на этой станции, а также максимальных за год значений ветра и его порывов. Результаты показывают, что во временном ходе различных характеристик ветра отмечаются выраженные отрицательные значимые тренды.

Такой же анализ характеристик ветра над Финским заливом был проведён по данным реанализа ERA в точках, расположенных по оси залива. Результаты показали наличие в межгодовых изменениях характеристик ветра небольших положительных трендов, которые не были значимыми.

Приводятся также новые сведения о приливах в Финском заливе. Даются оценки гармонических постоянных основных волн прилива M_2 , S_2 , K_1 , O_1 для 21 пункта, полученные с помощью гармонического анализа по методу наименьших квадратов (МНК) по версии ААНИИ многолетних временных рядов уровня длительностью от 10 до 35 лет [4, 5]. Проведено сравнение новых результатов с таковыми из других работ, которое выявило ошибочные данные по некоторым пунктам. В целом точность полученных констант прилива на порядок лучше, полученных ранее, в XX веке. На основе новых сведений о приливах построены новые эмпирические котидальные карты волн M_2 , S_2 , K_1 , O_1 . Впервые эти карты имеют изолинии амплитуд всех волн [5]. Представлены также сведения и карты характера прилива, максимальных и наибольших возможных приливных колебаний уровня моря. Впервые выполнена оценка сезонного хода волны M_2 и установлен тренд амплитуд и фаз волны M_2 для четырех станций в Финском заливе.

С помощью предвычисления приливных колебаний уровня моря во всех пунктах за период 19 лет (2015—2033 гг.) по всем значимым волнам (28—38 волн в пунктах) были выбраны экстремальные величины. На рис. 3 дана карта максимальных приливных колебаний в Финском заливе (без учета долгопериодных приливов).

В работе Альтшулера [6] приведена карта величин максимальных приливных колебаний уровня Балтийского моря. По карте Альтшулера в Финском заливе величина максимальных колебаний (размах) возрастает от 5 см на входе до 20 см в вершине залива. Эти данные хорошо согласуются с рис. 3 на качественном уровне. В количественном отношении есть существенные расхождения. Так, в нашем случае на линии Хельсинки-Таллин проходит изолиния 12—13 см (см. рис. 3), а не 6 см как на карте Альтшулера. И далее к востоку возрастание размаха колебаний идёт быстрее.

Приведённая в Справочном издании [7] карта максимальных приливных колебаний уровня построена на величине удвоенной суммы амплитуд 4-х волн прилива и в целом гораздо хуже карты Альтшулера. [6].

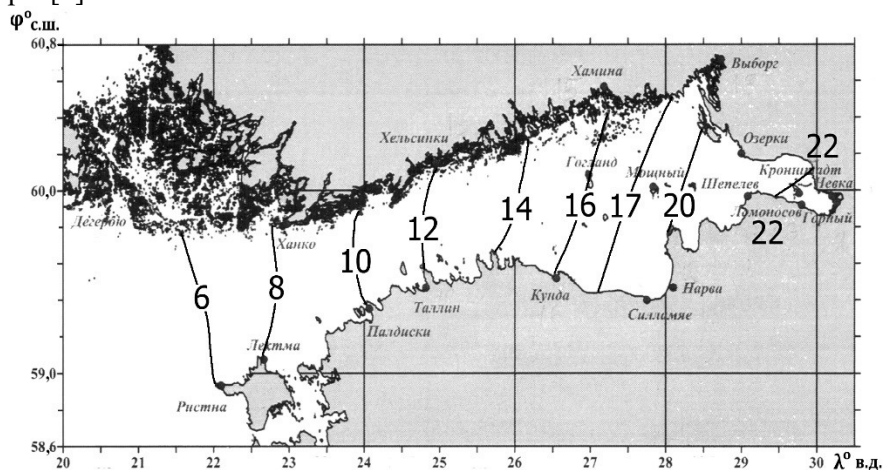


Рис. 3. Максимальные приливные колебания уровня моря, в см (без долгопериодных приливов). Точками показаны пункты мареографных наблюдений за уровнем моря.

ВЫВОДЫ

1. Исследование межгодовой изменчивости количества штормовых нагонов в 6 пунктах Финского залива в период 1971-2018 гг. свидетельствует, что, за исключением Выборга, при их оценке по критерию $>3\sigma$, во всех случаях отмечается отрицательный тренд, который, однако, не является значимым. На станции Выборг тренд отсутствует.
2. Штормовые нагоны, превышающие значение 5σ являются очень редким явлением в пункте Ханко. На ст. Хельсинки с 1984 по 2007 гг. произошло 8 случаев таких нагонов, а до и после этого периода их не наблюдалось. На станциях Хамина, Выборг, Кронштадт и Шепелево в последние два десятилетия отмечается незначительное увеличение количества штормовых нагонов, превышающих значение 5σ .
3. Анализ межгодовых изменений характеристик ветра над Финским заливом выявил в некоторых случаях значимые отрицательные тренды.
4. Новые сведения о приливах Финского залива свидетельствуют о необходимости учета приливных колебаний уровня при расчете различных статистических оценок, и в том числе при расчете штормовых нагонов, в особенности, в условиях развития сизигийных и/или тропических приливов.

Литература

1. Монин А. С., Каменкович В. М., Корт В.Г. Изменчивость Мирового океана. Ленинград. Гидрометеоздат, 1974. – 262 с.
2. Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С. Синоптические вихри в океане. Ленинград, Гидрометеоздат. 1987, 512 с.
3. Wolski T., B. Wiśniewski, A. Giza, H. Kowalewska-Kalkowska, H. Boman, S. Grabbi-Kaiv, T. Hammarklint, J. Holfort, Ž. Lydeikaite. Extreme sea levels at selected stations on the Baltic Sea coast. OCEANOLOGIA, 56 (2), 2014. pp. 259–290.
4. Войнов Г.Н. Новые сведения о приливах в Финском заливе Балтийского моря. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018, №53, с.83-96
5. Войнов Г.Н. Общая характеристика приливов на основе новых значений гармонических постоянных в Финском заливе // Ученые записки РГГМУ. 2019. Т. 56. С. 81—97.
6. Альтшулер В.М. Максимальные приливные колебания Балтийского моря//Труды ГОИН, 1980, Вып. 152, с.110-112
7. Справочное издание. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 3, Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб: Гидрометеоздат, 1992. 450 с.

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Терехова Р. А.

ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург, Россия

R. A. Terekhova

FGBU "AANII", St. Petersburg, Russia

На основе сведений УГМС и результатов инспекций проведен анализ состояния кадров на гидрометеорологической сети в Российской Арктике. Подготовлены предложения по совершенствованию гидрометеорологического образования и подготовке кадров.

Подготовка кадров для работы в сетевых подразделениях Гидрометеослужбы по специальности «гидрометеорология» в настоящее время осуществляется в 15 высших учебных заведениях и 7 техникумах и колледжах России.

В ВУЗ-ах обучение проводится по программе «бакалавра» (4 года) и «магистранта» (2 года). В техникумах и колледжах подготовка кадров осуществляется в рамках среднеспециального образования по программе техника-гидрометеоролога и метеонаблюдателя. Причем только 2 техникума (г. Ростов-на-Дону и г. Иркутск) готовят специалистов по гидрологии.

Распределение специалистов проводится на основе заявок подразделений Росгидромета (УГМС) и не является обязательным. Существующая кадровая политика в УГМС не способствует закреплению молодых специалистов.

Проблемы в подготовке кадров связаны с наличием дисбаланса в программе обучения и фактическими потребностями в знаниях и навыках, а также отсутствием знаний основ федерального законодательства в области гидрометеорологии.

Кроме того, недостаточно знаний нормативных документов Росгидромета по:

- соблюдению единства методов измерений и сопоставимости результатов;
- техническому и критическому контролю текущих наблюдений;
- анализу надежности и однородности наблюдений многолетних рядов;
- пространственно-временному анализу результатов наблюдений;
- геодезическому контролю за состоянием высотной основы пунктов наблюдений;
- вопросам оперативно-методического руководства сетевыми подразделениями.

Фактическое состояние кадрового обеспечения гидрометеорологической сети в Российской Арктике можно оценить на основе ежегодных сведений из УГМС и по результатам инспекций АНИИ в 2011-2018 гг.

В результате анализа полученных сведений установлено, что дефицит кадров на гидрометеорологической сети по Арктической зоне составляет 40-70%. Причины дефицита кадров кроются в крайне низкой заработной плате при несоразмерной трудоемкости работ в Арктике. Из-за отсутствия инженеров и техников гидрологического профиля в Арктической зоне сокращены гидрологические станции, а гидрологические посты при этом закреплены за метеорологическими, аэрологическими станциями или АМСГ без надлежащей методической помощи. В идеальном случае гидрологические посты замыкаются на отделы при УГМС, но при их труднодоступности фактически оказываются бесконтрольными.

В последние десятилетия в условиях сокращения финансирования крайне негативную роль сыграла кадровая политика по «оптимизации» численности в методических подразделениях ОГМС, ГМО, ЦГМС и отделах ЦГМС и ГМЦ УГМС. Причем сокращение коснулось в основном специалистов с профильным образованием. А в настоящее время при тотальном дефиците гидрометеорологов вакантные места вынужденно заполняются специалистами смежных областей: экологами, географами, гидротехниками, математиками, программистами.

Высокая текучесть кадров в сетевых и методических подразделениях УГМС Росгидромета по территории Арктической зоны не обеспечивает преемственность в работе, что влияет на качество и надежность выполняемых работ и наблюдений, особенно гидрологических.

Подготовлены предложения по совершенствованию гидрометеорологического образования и подготовке кадров.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В Р.МОСКВЕ

М.А. Терешина, О.Н. Ерина, Д.И. Соколов, Л.Е. Ефимова, С.Р. Чалов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

SPATIAL VARIABILITY OF NUTRIENT CONCENTRATIONS IN THE MOSCOW RIVER

M.A. Tereshina, O. Erina, D.I. Sokolov, L.E. Efimova, S.R. Chalov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Исследовано продольное изменение содержания азота и фосфора в воде р. Москвы в августе 2019 года от ее истока до устья. Показано многократное увеличение концентраций и возрастание доли органических форм элементов ниже г. Москвы и других городов.

Changes in phosphorus and nitrogen content along the Moscow River are analyzed based on data of August 2019. Manifold increase of nutrient concentrations and increased proportion of their organic forms is observed downstream of the Moscow City and other towns.

Введение. Вопрос изучения качества воды в реке Москве требует постоянного внимания в связи с огромной хозяйственной важностью реки и все возрастающей антропогенной нагрузкой на нее. Бытовые, промышленные и другие сточные воды, поступая в водотоки бассейна р. Москвы, формируют значительную пространственную неоднородность химического состава речных вод. При этом загрязнение вод р. Москвы является проблемой не только территорий, расположенных непосредственно в пределах ее водосбора: москворецкие воды являются значимым источником поступления загрязняющих веществ в р. Оку и, следовательно, в Волгу [1].

Основным источником загрязнения р. Москвы выступает Московская городская агломерация: ниже г. Москвы речной сток более чем наполовину состоит из городских сточных вод [2]. Застройка водосборной территории р. Москвы в пределах Московской области непрерывно продолжается в течение последних десятилетий, неконтролируемое строительство может вестись даже в зонах санитарной охраны, что приводит к дополнительной нагрузке на водотоки. На химический состав воды влияет также регулирование стока, причем трансформированный пятью основными водохранилищами (Истринское, Можайское, Верхне-Рузское, Рузское и Озернинское) речной сток составляет 51% от всего притока к г. Москве.

Среди исследований, посвященных химическому составу вод реки Москвы, основная часть работ посвящена либо верхней части бассейна (до г. Москвы), либо замыкающему створу реки. Это ограничивает возможности по выделению конкретных источников загрязнения и не позволяет достаточно подробно оценить изменение состава вод по длине реки.

Целью данного исследования стало более подробное изучение пространственной неоднородности химического состава р. Москвы. В этой работе приводятся результаты анализа содержания биогенных веществ – азота и фосфора. Именно эти элементы являются важными факторами антропогенного эвтрофирования, в связи с чем их динамика может определять экологическое состояние р. Москвы, а при их высоких концентрациях – также рек Оки и Волги.

Материалы и методы. В августе 2019 года нами было отобрано 39 проб воды по длине р. Москвы, а также 16 проб на важнейших ее притоках (рис. 1). Точки отбора проб на р. Москве назначались ниже водохранилищ, крупных притоков и других возможных источников загрязнения.

Содержание общего и минерального фосфора определялось колориметрически по методу Морфи-Райли, содержание общего азота – методом персульфатного окисления в щелочной

среде. Среди минеральных форм азота концентрации нитратов и аммония были определены с помощью метода ионной хроматографии, концентрация нитритов – фотометрически с использованием реактива Грисса.

Для определения содержания растворенных форм азота и фосфора проводилось повторное определение после фильтрования через фильтры с диаметром пор 0,45 мкм.

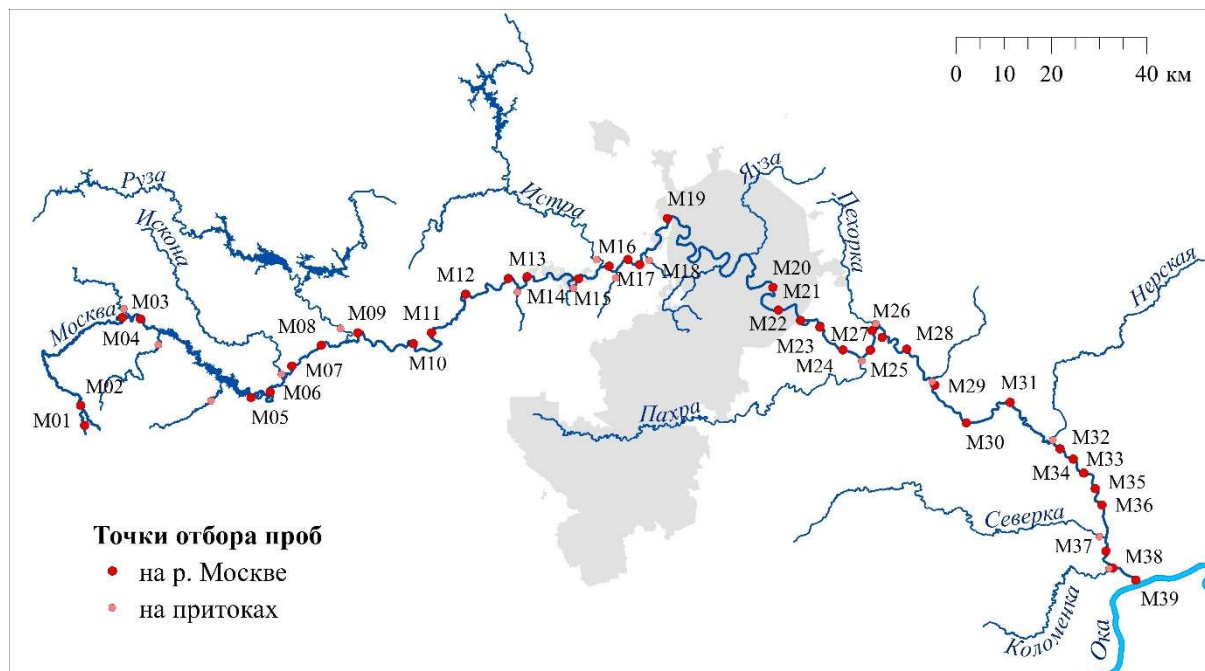


Рис. 1. Схема точек отбора проб в бассейне р. Москвы

Результаты и их обсуждение. В верховьях р. Москва характеризуется достаточно невысоким содержанием биогенных элементов. Выше Можайского водохранилища (точки М1-М4) содержание минерального фосфора составляет 0,02-0,03 мг/л, общего фосфора – 0,03-0,05 мг/л (у самого истока – до 0,12 мг/л). Концентрация общего азота здесь составляет 0,4-0,8 мг/л (2,7 мг/л у истока), аммонийного – 0,1-0,3 мг/л, нитратного – 0,01-0,05 мг/л, нитритного – до 0,004 мг/л.

В нижнем бьефе Можайского водохранилища (точка М5) вследствие интенсивных продукционных процессов доля органического фосфора увеличивается с 30-40 % до 93%, отношение взвешенного фосфора к общему возрастает с 10-50% до 70%. Доля органического азота остается на уровне около 80%, хотя суммарное содержание азота несколько увеличивается (с 0,5 до 0,9 мг/л).

В дальнейшем содержание биогенных элементов в целом плавно увеличивается до г. Москвы: к пос. Барвиха (т. М18) содержание общего азота достигает 1,3 мг/л, общего фосфора – 0,19 мг/л. Соотношение между различными формами элементов также остается практически неизменным: наблюдается близкое к единице отношение между взвешенной и растворенной и между минеральной и органической формами фосфора. Доля минерального азота составляет около 30-40%, более половины азота представлено растворенной формой.

В пределах г. Москвы (точки М19-М22) концентрации биогенных веществ ступенчато возрастают (рис. 2, 3). Содержание общего азота увеличивается примерно в 6 раз (до 6,3 мг/л), общего фосфора – примерно в 2 раза (до 0,36 мг/л). До 70% фосфора и до 60% азота приходятся на минеральные растворенные формы. Именно на этом участке достигается устойчивое превышение установленных рыбохозяйственных нормативов качества воды.

Ниже города концентрации продолжают повышаться за счет поступления стоков с станций водоочистки. Ниже Люберецких очистных сооружений (т. М26) концентрации достигают максимума: содержание общего азота достигает 23,8 мг/л, общего фосфора – 0,85 мг/л. Превышение рыбохозяйственных ПДК по фосфатам здесь достигает 3,5 раз (0,69 мг/л при ПДК_{рх} 0,2 мг/л для эвтрофных водоемов). Кратность превышения для аммонийного азота – 9 (3,63 мг/л при ПДК_{рх} 0,4 мг/л), для нитритного – 23 (0,46 мг/л при ПДК_{рх} 0,02 мг/л). Превышения ПДК по нитратному азоту отмечено не было. Доля минерального растворенного фосфора достигает уже почти 90%, азота – 75%. Все это свидетельствует о недостаточной эффективности очистки коммунально-бытовых сточных вод городскими очистными сооружениями.

Дополнительную биогенную нагрузку на р. Москву в пределах города и непосредственно ниже него оказывают и загрязненные азотом и фосфором притоки. Если реки, впадающие в р. Москву в ее верхнем течении – Иночь, Искона, Руза и др. – характеризуются концентрациями, близкими к верховьям самой р. Москвы, то притоки, чьи водосборы оказываются в пределах городской агломерации, оказываются существенно загрязнены. Например, в водах р. Пахры содержится 4,4 мг общего и 0,27 мг нитритного азота и более 1 мг/л общего фосфора. В водах р. Пехорки содержание общего азота достигает 12,8 мг/л, общего фосфора – 1,3 мг/л.

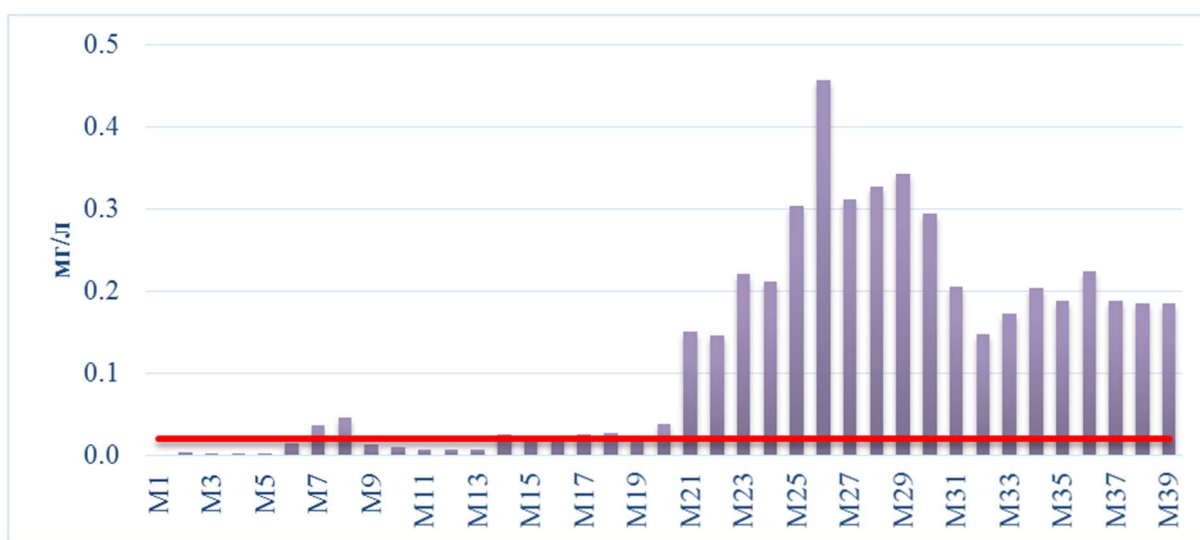


Рис. 2. Изменение содержания нитритного азота по длине р. Москвы (красная линия – ПДК_{рх}=0,02 мг/л [3])

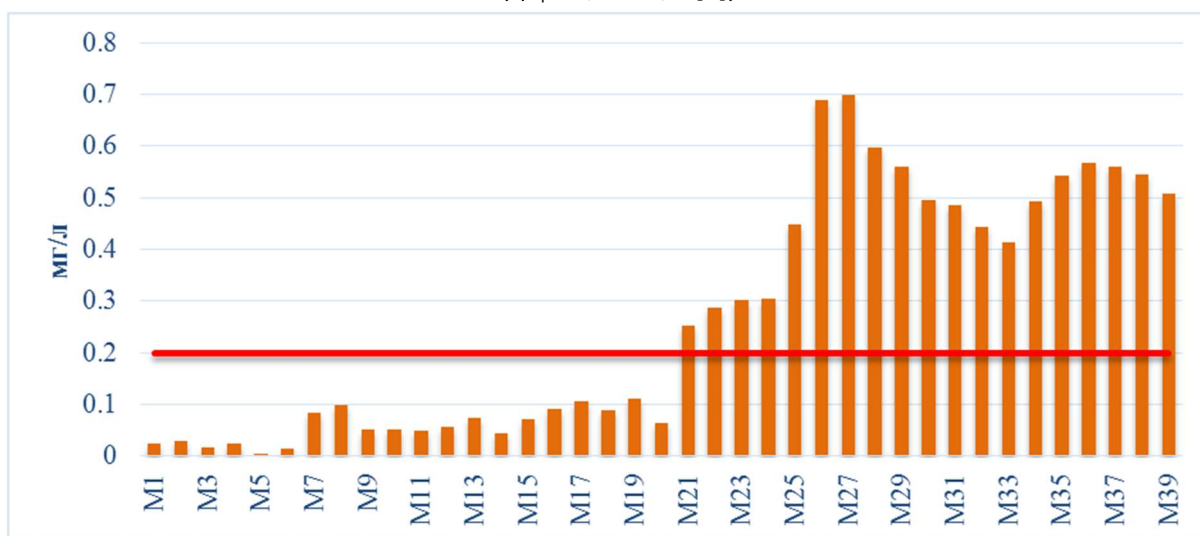


Рис. 3. Изменение содержания фосфора фосфатов по длине р. Москвы (красная линия – ПДК_{рх}=0,2 мг/л [3])

При дальнейшем движении вниз по течению процессы самоочищения приводят к постепенному снижению концентраций биогенных элементов, однако вплоть до устья их значения остаются повышенными и не опускаются ниже нормативно допустимых. Влияние сточных вод г. Воскресенска (т. М33-М34) приводит к очередному скачкообразному повышению концентраций азота и фосфора, дальше же по течению они оказываются в целом неизменными. Вплоть до впадения в р. Оку содержание общего фосфора не опускается ниже 0,5 мг/л, минерального – ниже 0,37 мг/л. Концентрации общего азота сохраняются на уровне 7-7,3 мг/л, нитритного – 0,18-0,22 мг/л.

Выводы. В продольном изменении содержания биогенных элементов в р. Москве четко прослеживается влияние регулирования стока и сброса городских сточных вод. Ниже г. Москвы содержание азота и фосфора в воде р. Москвы возрастает в 5-10 раз в результате недостаточной очистки городских сточных вод, превышение ПДК по фосфатам, нитритам и аммонии достигает 5-20 раз. Повышенные концентрации биогенных элементов наблюдаются и в притоках р. Москвы, чьи водосборы охватывают территорию ниже по течению от г. Москвы (по сравнению с притоками, расположенными выше и ниже).

Влияние городской агломерации г. Москвы в виде многократного повышения содержания растворенных минеральных форм азота и фосфора по сравнению с фоновыми значениями прослеживается вплоть до впадения р. Москвы в Оку. Это дает основания считать биогенную нагрузку г. Москвы значимым фактором в развитии антропогенного эвтрофирования не только объектов водосборного бассейна р. Москвы, но и всего Окского, и, возможно, Волжского бассейна.

Литература

1. Джамалов Р.Г., Никаноров А.М., Решетняк О.С., Сафронова Т.И. Воды бассейна Оки: химический состав и источники загрязнения // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – №. 3. – С. 114-132.
2. Щеголькова Н.М. Влияние города на формирование экологического состояния р. Москвы (Исторический аспект) // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34. – №. 2. – С. 238-248.
3. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения"

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-77-00004).

This study was supported by the Russian Science Foundation (project No. 19-77-00004).

*МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ И
ЛЕДОВИТОСТИ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В ПЕРИОД С 1940 Г*

А.Б. Тимофеева, В.В. Иванов, А.В. Юлин, С.В. Хотченков

ГНЦРФ ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

*MULTIYEAR VARIABILITY OF ATMOSPHERIC PROCESSES AND ICE COVER IN THE
LAPTEV SEA SINCE 1940*

A.B. Timofeeva, V.V. Ivanov, A.V. Yulin, S.V. Khotchenkov

SSCRF AARI, Saint-Petersburg, Russia

Проанализирован многолетний ход с 1940г. крупномасштабных атмосферных процессов, его влияние и согласованность с межгодовыми изменениями температуры воздуха и ледовитостью в конце сезона таяния в море Лаптевых.

The multiyear variability of large-scale atmospheric processes since 1940, its influence and coherence with interannual changes in air temperature and ice cover at the end of the melting season in the Laptev sea are analyzed.

Район моря Лаптевых по климатическим данным находится под влиянием двух естественных синоптических районов атлантико-евразийского сектора Северного полушария. Предложенные Г.Я. Вангенгеймом типы крупномасштабных процессов, представлены западной (W) формой циркуляции, при которой господствует зональный перенос воздушных масс, а также восточной (E) и меридиональной (C) формами циркуляции с противоположными фазами географической ориентации в толще тропосферы осей гребней антициклонов, блокирующих западный перенос воздушных масс, развивая меридиональный воздухообмен в высоких и умеренных широтах [1].

В настоящем исследовании проанализированы данные по типам циркуляции, температуре и ледовитости с 1940г. по 2018г. Многолетний ход изменения аномалии среднегодовых значений числа дней с западной, восточной и меридиональной формами циркуляции атмосферы представлен на рисунке 1. Для процессов западной и восточных форм характерно разнонаправленные тенденции изменений. В период 1940-1970 гг. повторяемость восточной форма E устойчиво повышалась, а западной понижалась. Меридиональные процессы имели отрицательный тренд, в среднем превышали норму. В 70-х годах произошла кардинальная перестройка в вековом ходе направленности крупномасштабных атмосферных процессов. Отрицательный тренд западной формы сменился на положительный, а восточной формы - на отрицательный. Меридиональные процессы в среднем за период с 70-х по 2018 не превышали норму. В исследованиях [2, 3] показано, что перестройки крупномасштабных атмосферных процессов закономерно связаны с периодами потеплений и похолоданий в Арктике.

Длительные тенденции в перестройке крупномасштабных процессов отразились в смене метеорологического и гидрологического режима моря Лаптевых. Ледовитость моря Лаптевых в период наибольшей разрушенности (конец августа) обладает высокой межгодовой изменчивостью, как видно на рисунке 2. Амплитуда колебаний достигает 92%, стандартное отклонение за период 1940-2018 составляет 21,2. Колебания ледовитости хорошо согласуются с колебаниями температуры в этом районе, имея обратную зависимость (коэффициент корреляции - 0,7). До 70-х годов фон температуры понижался, и наблюдался небольшой рост среднего значения ледовитости. Несмотря на большую вариативность от года к году, повторяемость более тяжелых ледовых условий отмечалась чаще: из 22 случаев за весь период наблюдений на 40-70е приходится 12 (таблица 1).

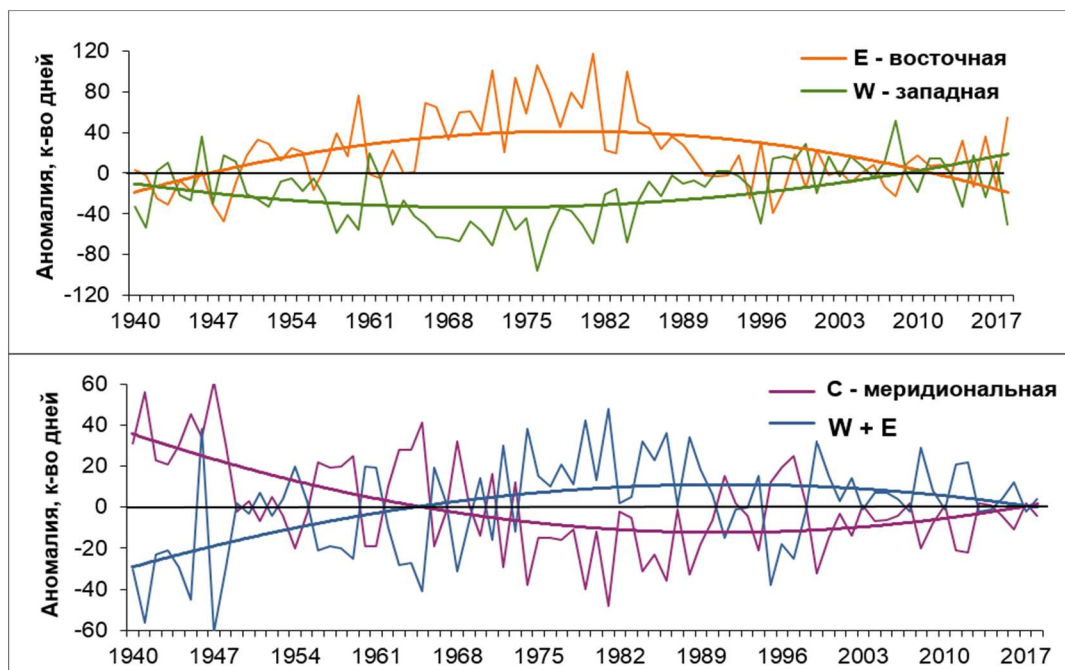


Рисунок 1 Многолетние изменения среднегодовых значений аномалий числа дней с западной, восточной и меридиональной формами циркуляции с 1940 по 2018 гг. по классификации Г.Я Вангенгейма

Для качественной оценки сложности ледовых условий использована простая типизация, в которой выделены 3 типа: тяжелые, средние и легкие. Для удобства оценки отклонения от нормы используется нормирование ряда наблюдений по среднеквадратичному отклонению (σ) и критерию значимости аномалий [4].



Рисунок 2 Средние годовые значения аномалий температуры и аномалий площади ледяного покрова в августе в море Лаптевых

Таблица 1 Повторяемость лет с разными типами ледовых условий в море Лаптевых

	Тяжелые	Средние	Легкие	
			все	Экстрем. легк.
Критерий типизации	$\geq 0,8\sigma$	$\pm 0,8\sigma$	$\leq -0,8\sigma$	$\leq -1,2\sigma$
Количество лет	22	39	18	8
Повторяемость, %	28	49	23	10

В дальнейшем фон температуры имел тенденцию к повышению, что отразилось на понижении ледовитости моря, и возросла повторяемость легких условий. Наиболее интенсивные изменения наблюдались в последние 20 лет, когда серьезно уменьшилась площадь, занимаемая

льдом (минимум в 2014г. составил 2% от площади моря). А также повторяемость легких условий: из 18 случаев за всю историю наблюдений 12 приходится на период с 1999г. В ряде работ показано, что перестройка процессов в 70-х годах согласуется со сменой знака в длительных тенденциях многих показателей атмосферы и гидросферы [3, 5, 6]

Многолетний ход среднегодовых значений аномалий температуры, а также аномалий средней ледовитости за август в море Лаптевых представлен на рисунке 3 в виде интегральных кривых накопленных аномалий температуры и ледовитости за период с 1940 по 2018 гг.

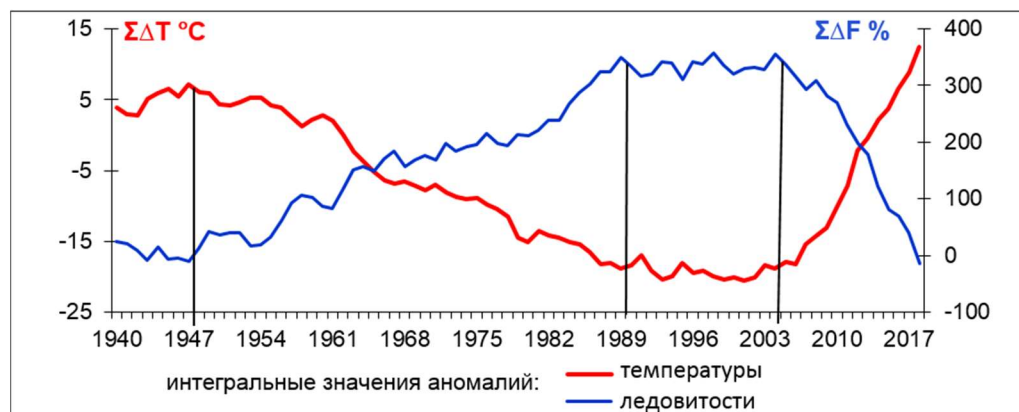


Рисунок 3 Ход интегральных значений среднегодовых аномалий температуры воздуха и аномалий ледовитости (август) в море Лаптевых за период с 1940 по 2018 гг.

В многолетнем ходе среднегодовых значений аномалии температуры воздуха можно выделить однородные периоды преобладания положительных или отрицательных аномалий, периоды однородной направленности процесса накопления аномалий. Многолетний ход аномалий температуры имеет обратную связь и хорошо согласуется с многолетним ходом преобладающих положительных и отрицательных аномалий ледовитости в период наибольшей разрушенности. Анализ многолетней изменчивости аномалии температуры и ледовитости позволил сопоставить и установить границы однородных периодов для моря Лаптевых, которые имели место с 1940 по 2018 гг. (таблица 2)

Таблица 2 - Средние за периоды устойчивых потеплений и похолоданий значения аномалии температуры (°C) и ледовитости (август) в море Лаптевых

Периоды	Продолжительность	Средняя аномалия температуры	Средняя аномалия ледовитости
1940-1947	8	0,6	-1,3
1948-1989	42	-0,6	8,6
1990-2004	15	0,0	0,4
2005-2018	14	2,2	-26,4

В период 1940-1947 гг. в полярном районе и в море Лаптевых отмечается потепление, начало которого по температурным данным наблюдается еще с 30х годов (с 1936г. по интегральным значениям аномалий температуры), известное как потепление Арктики 30-х годов. В море Лаптевых преобладали положительные аномалии температуры (0,6°C) и отрицательные аномалии ледовитости (1,3%) Максимум среднегодовых значений положительных аномалий температуры воздуха в этот период до 2,2°C и минимум ледовитости до 19% пришелся на 1943г.

В период 1948-1989 гг. произошла смена температурного режима. Преобладали отрицательные аномалии температуры. Положительный температурный тренд сменился на устойчивый отрицательный. Наиболее резкие понижения температуры отмечались в 60-70-х годах. В период похолодания устойчивые отрицательные аномалии температуры преобладали в холодные месяцы года, что в совокупности с прохладным летом и особенностями общей циркуляции обусловило рост положительных аномалий ледовитости на момент наибольшего разрушения в августе, когда море в значительной степени оставалось покрытым льдом. Особенно

высокие экстремальные за весь исследуемый ряд наблюдений значения отрицательных аномалий температуры воздуха в море Лаптевых до 3,0°C отмечались в 1979г. Максимум аномалии ледовитости (36,3%) для этого периода отмечен в 1962 г (таблица 3).

Таблица 3 Группы лет с наиболее крупные значения положительных и отрицательных аномалий ледовитости в море Лаптевых

№	Среднегодовая температура				Ледовитость (август)			
	Положительные аномалии		Отрицательны аномалии		Отрицательные аномалии		Положительные аномалии	
1	2012	5,0	1979	-3,0	2014	-55,7	1962	36,3
2	2018	3,5	1963	-2,4	2018	-54,2	1963	32,7
3	2011	3,1	1992	-2,2	2015	-41,6	1996	31,3
4	2016	2,7	1969	-1,9	2011	-39,7	1957	30,9

В период 1990-2004 гг. отмечались частые межгодовые перестройки циркуляции атмосферы и разнонаправленные колебания значений аномалий температуры и ледовитости. В среднем за период фон температуры и ледовитости близки к многолетней норме (таблица 2).

Период 2005–2018 гг. произошла смена температурного режима в полярной климатической системе. Этот период в море Лаптевых был наиболее теплый за весь ряд наблюдений. Высокий температурный фон, начиная с 2005 г. устойчиво превосходил норму. Особенно высокие, экстремальные за весь ряд наблюдений значения положительных аномалий температуры воздуха в море Лаптевых до 5,0 °С отмечались в 2012 г. (таблица 3). В этот же период наблюдается устойчивое уменьшение ледовитости в конце периода таяния и нарастание отрицательной аномалии на интегральной кривой (рисунок 3). В ряде случаев море очищается на 97-98% (2018, 2014), в эти же годы отмечены экстремально низкие за весь ряд наблюдения значения аномалии ледовитости до 54-55 % (таблица 3). Из 8 экстремально легких лет за всю историю наблюдений 6 приходится на этот период (таблица 1). Средняя за период отрицательная аномалия ледовитость составила 26,4 %.

Литература

1. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. 1952. Т. 34. 314 с.
2. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.:Гидрометеоиздат, 1971. –280 с.
3. Ivanov V.V., Vinogradov N.D. Meteorological forecasts. INSROP Working Paper No. 36-1996. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7-20
4. Юлин А.В, Бровин А.И. К вопросу о выделении градаций аномальности в рядах гидрометеорологических элементов // Труды ААНИИ. Т. 423. 1990. С.84-88
5. Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В. Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 5 – 11.
6. Тимофеева А.Б., Хотченков С.В., Юлин А.В. Климатическая изменчивость количества сплоченных льдов в море Лаптевых в период навигации В книге: Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития Труды II Всероссийской конференции. 2018. С. 624-627.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОЛОГОВ-БАКАЛАВРОВ

Л.А. Тимофеева

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

IMPLEMENTATION OF COMPETENCY-BASED APPROACH IN UNDERGRADUATE HYDROLOGY EDUCATION

L.A. Timofeyeva

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Обсуждаются некоторые причины, препятствующие эффективному внедрению компетентностного подхода в профессиональном гидрологическом образовании и условия изменения ситуации.

Reasons for inefficient implementation of competency-based training in hydrology education have been identified. Conditions for improving the situation are discussed.

Гидрология – междисциплинарная наука, объединяющая аспекты многих наук о Земле. С конца 1990-х годов, в связи с развитием новых методов и технических средств исследований и получения данных, в гидрологии существует растущий спрос на практические результаты обучения. Началась эра компетентностного обучения, направленного на практические достижения учащихся.

Идея и термин «компетентности» появились в 70-е годы прошлого столетия и нашли признание в США и в ряде стран Европы в связи с возникшей тогда проблемой индивидуализации обучения и изменением его направленности от обучения основам наук на интеллектуальное развитие отдельных учащихся [1].

Концепция модернизации российского образования также подчёркивает важность подготовки квалифицированного, компетентного работника, конкурентоспособного на рынке труда. При этом, понятия квалифицированный и компетентный часто используются как взаимозаменяемые. Будет полезно остановиться на терминологических различиях.

Квалификация – это минимальный объём основных знаний, обычно осваиваемых в процессе обучения и необходимых для занятия той или иной должности. Квалификация присваивается уполномоченной организацией (например, университетом) и подтверждает, что человек успешно закончил программу обучения (сдал экзамен) и владеет знаниями и умениями, требуемыми для работы по специальности [2].

Компетенция – это знания, умения и личностные качества, необходимые для решения определённых профессиональных задач. Таким образом, компетенция включает профессионально важные качества личности: поведение, этическое восприятие, суждение, мнение и т.д. Компетенции часто осваиваются непосредственно на рабочем месте в результате решения реальных задач [3]. Профессиональная компетенция – способность успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении профессиональных задач.

Представить различия между этими понятиями можно математически [4]. Компетенция (K) включает квалификацию (Q) и профессионально важные качества личности ($ПВК$):

$$K = Q + ПВК \quad (1)$$

Профессиональная компетенция ($ПК$) включает совокупность ключевых компетенций (K) и социально значимые качества ($СЗК$):

$$ПК = \sum K + СЗК \quad (2)$$

Компетентность – наличие знаний и опыта, необходимых для эффективной деятельности в заданной предметной области, а также способность выносить объективные суждения, принимать точные решения и осуществлять реальные действия [5].

Компетентностный подход в профессиональном образовании – это структурированный, неформальный подход, реализуемый, в основном, на рабочем месте. Такой подход поощряется

Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) и применяется, в соответствии с [6] в её 28 Региональных учебных центрах.

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) является частью одного из них с 1994 г. С 1930-х годов, в РГГМУ накоплен ценный опыт преподавания. Однако содержание бывших пятилетних инженерных программ не удалось эффективно включить в четырехлетние программы бакалавриата. Они остаются ориентированными на передачу знаний в ходе лекций, часто перенасыщенных устаревшим содержанием, мало связанным с профессиональным будущим студентов. В результате, не всегда гарантировано достижение практических результатов обучения. Да и установить их – определить цели обучения – зачастую довольно сложно, поскольку запросы различных работодателей существенно отличаются.

Одним из основных работодателей является Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). В 2011 г. Шестнадцатый Конгресс ВМО настоятельно рекомендовал Техническим комиссиям уделить приоритетное внимание разработке профессиональных стандартов для основных видов деятельности Национальных гидрометеорологических служб (НГМС). Такие стандарты должны включать описание средств и процедур проведения наблюдений, сбора, распространения и обеспечения доступа к гидрометеорологическим данным. Разработанные к настоящему времени ВМО профессиональные стандарты регламентируют, в основном, деятельность в области метеорологии и прогнозирования погоды [7]. Разработка стандартов в гидрологии не закончена. В такой ситуации можно было бы руководствоваться государственными профессиональными стандартами. Однако единого стандарта «гидролог» в России не существует, очевидно, в связи с широким спектром сфер деятельности гидрологов. Примером решения этой проблемы в отдельных отраслях может служить утверждение в 2018 г. профессионального стандарта «Инженер-гидрометеоролог в изысканиях для проектирования, строительства, ремонта и реконструкции».

РГГМУ осуществляет подготовку бакалавров и магистров прикладной гидрометеорологии согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования (ФГОС) (2015). Определяемая им область профессиональной деятельности выпускников-бакалавров очень широка и включает: инженерно-технологические и научно-производственные аспекты оперативного гидрометеорологического обслуживания отраслей народного хозяйства; современные и инженерно-технические методы и технологии мониторинга природной среды; анализ и прогноз состояния атмосферы, океана и вод суши и оценку их возможного изменения, вызванного естественными и антропогенными причинами; обеспечение безопасности жизнедеятельности, охраны окружающей среды и рационального природопользования на основе учета гидрометеорологических условий и климатических факторов; инженерно-технические методы и технологии мониторинга природной среды [8].

При этом результаты обучения сформулированы с точки зрения овладения общекультурными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями, а не выражены конкретными измеряемыми результатами. Можно предположить, что, ввиду описанных выше проблем, связанных с трудностями учёта потребностей работодателей и при отсутствии профессионального стандарта, достичь значимых практических результатов и реализовать компетентностный подход в полной мере не удастся.

Поскольку компетенции осваиваются в результате решения реальных задач на рабочем месте, то при компетентностном обучении необходимо создавать условия максимально приближенные к реальным, а решаемые задачи должны быть аутентичными. Но возможно ли это осуществить на практике при имеющейся материальной базе и существующем методическом обеспечении обучения? К сожалению, ответ будет отрицательным. Преподаватели часто используют те методы, которыми учили их и с которыми они лучше всего знакомы, не учитывая изменившиеся требования работодателей и ВМО.

Согласно Требованиям ВМО [3], персонал должен:

- компетентно определять потребности в обучении и планировать его результаты;
- выбирать способы обучения;
- разрабатывать учебные мероприятия и ресурсы;
- проводить и оценивать обучение.

Выполнение этих требований может потребовать полного или частичного изменения существующих учебных планов. С другой стороны, реализация этих требований, в рамках компетентностного обучения, на всех этапах цикла обучения должна приводить к значимым практическим результатам.

В настоящее время этого не происходит в должной мере, что подтверждают итоги обследования персонала НГМС, выполненного Бюро по образованию и подготовке кадров ВМО в 2017 г. Во многих странах был выявлен растущий дефицит адекватно образованных и подготовленных сотрудников, не смотря на предпринимаемые, согласно решениям Семнадцатого Конгресса ВМО (2015), меры по наращиванию потенциала в гидрометеорологии.

К таким мерам относится повышение квалификации преподавателей посредством участия в офф- и онлайн курсах и семинарах, разрабатываемых и проводимых Бюро по образованию и подготовке кадров. Однако россияне неохотно используют эту ценную возможность профессионального роста. Причины, на мой взгляд участницы нескольких таких курсов, не только в низком уровне владения английским языком, но и в недостаточной осведомлённости и отсутствии заинтересованности как со стороны потенциальных участников, так и руководителей структурных подразделений.

Тринадцатый симпозиум ВМО по образованию и подготовке кадров (2017) признал существующие проблемы и необходимость быстрого прогресса в инновационных гидрометеорологических исследованиях, требующего высококвалифицированного персонала. Симпозиум рекомендовал всем организациям, занимающимся обучением и подготовкой кадров для НГМС, повысить потенциал, эффективность и результативность обучения, сделав свои программы более практически ориентированными путём внедрения новых методик обучения, включая компетентностный подход. Указывалось на необходимость оказания поддержки его внедрению на всех уровнях профессионального гидрологического образования [9].

Приходится признать, что в полной мере реализовать компетентностный подход при обучении гидрологов-бакалавров не представляется возможным. В процессе обучения студенты получают определённую квалификацию, подтверждаемую результатами экзаменов и защиты выпускных работ, которые совершенно справедливо называются квалификационными. Но сформировать профессиональные компетенции в полной мере можно только на рабочем месте. Хотя некоторые из них возможно развить, создавая условия обучения, близкие к реальным рабочим условиям. Это требует высокой квалификации преподавателей и постоянного её повышения, в том числе путём освоения лучшего опыта, включая зарубежный, и более пристального изучения и практического применения рекомендаций ВМО.

Можно заключить, что успех компетентностного профессионального обучения невозможен без последовательного взаимодействия всех субъектов образовательного процесса: студентов, преподавателей, администрации ВУЗа и работодателей. Реализация такого всеобъемлющего взаимодействия, безусловно, длительный и не простой процесс. Но его необходимо осуществить для того, чтобы студенты-гидрологи в будущем могли стать компетентными специалистами, способными удовлетворить быстро растущие, связанные с водными ресурсами требования народного хозяйства и общества.

Литература

1. Балыхина Т.М. Структура и содержание профессиональной компетенции филолога. Методологические проблемы обучение русскому языку. Автореферат диссертации д-ра пед. наук. М.: 2000, 52 с.
2. Manual on the Implementation of Education and Training Standards in Meteorology and Hydrology. Volume I (Annex VIII to WMO Technical Regulations) Meteorology (WMO-No. 1083, 2012).
3. Guidelines for the Education and Training of Personnel in Meteorology and Operational Hydrology. Volume II: HYDROLOGY (WMO-No. 258, 2003).
4. Бизюлёва Г.В. Психолого-педагогическое сопровождение профессиональной адаптации учащихся и студентов. М.: НОУ ВПО Московский психолого-педагогический институт, 2008, 320 с.
5. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Компетентность> Дата обращения 15 октября 2019 г.

6. Competency Requirements for Education and Training Providers for Meteorological, Hydrological, and Climate Services, WMO, 20113 [Электронный ресурс]. URL: https://library.wmo.int/pmb_ged/etrp_competency-requirements_en.pdf. Дата обращения 10 октября 2019 г.
7. Competency Frameworks [Электронный ресурс]. URL: <https://public.wmo.int/en/resources/training/competency-frameworks>. Дата обращения 10 октября 2019 г.
8. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. N 214
9. An International Agenda for Education and Training in Meteorology and Hydrology, WMO-No. 1219. Statements of the 13th WMO Symposium on Education and Training SYMET-13.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА И АНАЛИЗА ОПАСНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

М. Л. Торопова, И. Н. Русин

ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова», Санкт-Петербург, Россия

METHODS FOR FORECASTING AND ANALYSIS OF DANGEROUS CONVECTIVE PHENOMENA ACCORDING TO NUMERICAL MODELING FOR ST. PETERSBURG

M. L. Toropova, I. N. Rusin

Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

Рассмотрены методы прогноза гроз при помощи показателей неустойчивости атмосферы по данным численного моделирования (модель WRF-ARW) с применением различных параметризаций пограничного слоя для территории Санкт-Петербурга.

Methods for forecasting thunderstorms using atmospheric instability indices based on numerical modeling data (WRF-ARW model) using various boundary layer parameterizations for the territory of St. Petersburg are considered.

Введение

Опасные конвективные явления, такие как грозы, ливни, град, шквалы, смерчи, связаны с развитием конвективных процессов в атмосфере. Известно, что развитие конвекции связано со статической (конвективной) неустойчивостью, которая, в свою очередь, зависит от распределения температуры (и влажности) по высоте, т.е. от стратификации атмосферы. Отсюда следует идея о том, что для анализа, оценки потенциала развития и прогноза конвективных явлений можно оценить стратификацию атмосферы [1]. Для удобства применения и использования в оперативной практике были разработаны многочисленные показатели неустойчивости, для расчета которых рассматривалось распределение по высоте температуры, температуры точки росы, относительной влажности, направления и скорости ветра, их градиенты и изменения в различных слоях атмосферы [2].

Во время разработки большей части методов оценки неустойчивости на основании анализа стратификации атмосферы, единственным оперативным источником данных о стратификации были данные аэрологических наблюдений. Это накладывало определенный отпечаток на разрабатываемые методы – в частности, в части построения прогностической стратификации по максимальной прогнозируемой температуре на день.

В настоящее время появились и активно используются в оперативной практике различные данные численного моделирования, что не могло не породить соответствующее разнообразие выходных данных. Однако многие метеорологические элементы до сих пор прогнозируются недостаточно точно. Важнейшим из них является температура у земли и в нижней части пограничного слоя атмосферы.

В настоящем исследовании предпринята попытка оценить, каким образом и в какой мере выбор способа описания процессов в пограничном слое определяет получаемые значения предикторов грозы. Для этого выполнен ряд численных прогнозов случаев конвекции (в том числе с развитием грозы) с различными вариантами параметризации пограничного слоя атмосферы при помощи модели WRF-ARW. Проведена оценка воспроизведения моделью вертикальных распределений метеорологических параметров (температуры и показателей влажности). На основании полученных прогнозов погоды и данных аэрологического зондирования рассчитаны некоторые показатели конвективной неустойчивости атмосферы.

Методика исследования

Для проведения настоящего исследования была сформирована выборка случаев развития конвекции и для них проведены численные расчеты при помощи модели прогноза погоды с различными вариантами параметризации пограничного слоя. Выборка случаев сформирована по данным наземных метеорологических наблюдений для станции 26063, Санкт-Петербург. Был рассмотрен период продолжительностью 10 лет (2008 – 2017 гг.), месяцы с мая по август

включительно. Выбор теплого периода года обусловлен максимальной в это время конвективной активностью. Сформированная выборка состоит из двух групп случаев: 1) случаи грозы (по данным наземных метеорологических наблюдений отмечена гроза на станции в срок наблюдения); 2) случаи конвекции «хорошей погоды» (отмечено развитие конвективных облаков – *Cumulus humilis, mediocris, congestus*, – не сопровождавшееся какими-либо опасными явлениями и не наблюдалось существенных перемен погоды со времени предыдущего срока наблюдения). Всего было рассмотрено 189 случаев развития конвекции – 100 случаев конвекции «хорошей погоды» и 89 случаев грозы.

Численные расчеты для указанной коллекции случаев проводились при помощи мезомасштабной негидростатической модели прогноза погоды WRF-ARW (Weather Research and Forecasting model, версия 3.7). Удобство и преимущества этой модели заключаются в свободном ее распространении и широком использовании модели мировым сообществом исследователей и прогнозистов. Модель содержит большой набор доступных параметризаций подсеточных процессов, которые подробно описаны, также в ней реализована концепция динамического даунскейлинга («спуска по масштабу»). Все это предоставляет исследователю большие возможности по планированию и проведению численных экспериментов.

При проведении экспериментов использовались 2 расчетные области с пространственным разрешением 27 и 9 км, соответственно. Были применены следующие параметризации подсеточных процессов: микрофизика – WSM 6-class graupel scheme, конвекция – Kain-Fritsch, длинноволновая радиация – rrtm, коротковолновая радиация – Dudhia scheme. Параметризация пограничного слоя атмосферы варьировалась. Было проведено 3 серии расчётов со следующими вариантами параметризаций погранслоя: 1) YSU - Yonsei University, 2) MYJ - Mellor-Yamada-Janjich, 3) ACM2 -Asymmetric Convective Model vers.2. Таким образом, для 189 случаев развития конвекции всего было проведено 567 численных экспериментов. Заблаговременность каждого «квазипрогноза» составила от 18 до 27 часов. Подробное описание физического смысла параметризаций и ссылки на первоисточники можно найти [3].

Исследования включало изучение погрешностей при воспроизведении моделью стратификации и изучение поведения показателей неустойчивости. Для того, чтобы оценить, насколько хорошо был воспроизведен вертикальный профиль каждого рассматриваемого метеорологического параметра, данные моделирования сравнивались с данными аэрологических наблюдений на станции Воейково (26063). Сравнение проводилось на 12-ти вертикальных уровнях (2 м над поверхностью земли, 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 гПа). Были получены разности прогнозируемого значения и наблюдаемого (погрешности), а также их статистические характеристики. В рамках исследования были рассмотрены следующие метеорологические параметры: температура, температура точки росы, дефицит насыщения, относительная влажность, отношение смеси водяного пара.

Были рассмотрены значений показателей неустойчивости атмосферы: при различных вариантах параметризации погранслоя и при различных погодных условиях (в том числе по данным наблюдений). Для этого в каждом случае рассматривались статистические показатели рассчитанных показателей неустойчивости (среднее, СКО, дисперсия, особенности распределения).

Для анализа были выбраны следующие показатели неустойчивости: K index (K), Cross totals (CT), Vertical totals (VT), Totals totals (TT), Delta-T index (DTI), а также показатели SWET и давление на уровне конденсации (PLCL). Такой выбор позволил явно указать на источник погрешностей при оценке неустойчивости в зависимости от способа параметризации пограничного слоя. В случае всплывающей частицы происходит анализ значительного слоя атмосферы и можно ожидать более сложной зависимости ошибок показателей неустойчивости от показателей воспроизведения стратификации.

Результаты воспроизведения стратификации

В результате проведенного исследования был выполнен анализ воспроизведения стратификации атмосферы в части отличий прогностических данных о данных наблюдений. Обобщая результаты исследования, следует отметить, что главной особенностью воспроизведения стратификации в модели WRF являются погрешности в приземных значениях температуры и температуры точки росы, абсолютное значение которых возрастает в случае

наблюдения грозы в рассматриваемый срок метеорологических наблюдений. При средней ошибке, осредненной по всем рассмотренным вертикальным уровням, погрешность воспроизведения температуры составляет 0°C при абсолютной погрешности $1,8^{\circ}\text{C}$. Однако у земли средняя погрешность достигает значения $1,9^{\circ}\text{C}$, а абсолютная погрешность составляет $2,8^{\circ}\text{C}$. До уровня 700 гПа погрешности уменьшаются, при этом преобладает тенденция к превышению значений прогностической температуры над данными наблюдений. Выше 700 гПа погрешность снова возрастает и преобладает обратная тенденция – модельная атмосфера оказывается «холоднее» реальной.

В основном подоблачном слое (т.е. в приземных значениях и в средней тропосфере) недооценивается влажность, что является очень важным при прогнозе конвекции. Влажность оказывается заниженной на всех уровнях модельной атмосферы. В среднем погрешность воспроизведения температуры точки росы составляет $-4,9^{\circ}\text{C}$, ее абсолютное значение - $6,9^{\circ}\text{C}$.

Примечательно, что в серии проведенных расчетов при помощи модели WRF при варьировании параметризации пограничного слоя средние показатели погрешностей практически не различаются – за исключением приземных и значений в пограничном слое. Наименьшие ошибки в пограничном слое наблюдались при использовании параметризации ACM2; у земной поверхности погрешность воспроизведения температуры для этой параметризации меньше на 1°C , чем в случае использования параметризации MYJ.

Результаты оценки неустойчивости атмосферы

Авторы попытались оценить, как меняются значения показателей неустойчивости в связи с приведенными выше погрешностями – аналогично работе [4], где также оценивались некоторые показатели неустойчивости.

Показано, что средние значения и другие статистические характеристики рассчитанных показателей неустойчивости не зависят от применяемой параметризации пограничного слоя (различия малы и статистически не значимы). Однако следует отметить, что для двух из рассмотренных показателей (SWET и PLCL) это не так. В случае грозы среднее значение индекса SWET примерно одинаково для всех вариантов модельных расчетов (от 266 до 268), в то время как значения индекса по данным наблюдений составляет 193. Таким различия могут быть связаны с тем, что при расчете также используются данные о характеристиках ветра, корректное воспроизведение которых может быть весьма затруднено и в настоящем исследовании не рассматривалось. Значение давления на уровне конденсации различается для каждого из вариантов расчетов и для данных наблюдений. Средние значения в соответствии с параметризациями погранслоя составляют 831 (YSU), 831 (MYJ), 902 (ACM2) и 929 гПа по данным наблюдений. Такие различия связаны тем, что при расчете всплывающей частицы используются приземные значения температуры, температуры точки росы и давления, которые отличаются при различных вариантах расчетов и существенно образом отличаются от данных наблюдений. Указанные особенности наблюдаются также и в случае конвекции «хорошей погоды».

Для примера приведем сравнение полученных статистических характеристик К индекса, ТТ и SWET аналогичным характеристикам, полученным в работе [5]. Средние значения ТТ для грозы в настоящем исследовании оказываются незначительно ниже аналогичных для станции Благовещенск (Западная Сибирь). Чуть сильнее различие значений К индекса, в нашем исследовании оно также занижено (32 для Сибири и 26 для Санкт-Петербурга). Существенными оказались различия для индекса SWET – данные моделирования дают значения выше средних для Благовещенска (266-268 и 195, соответственно).

Известно, что каждый отдельно взятый показатель неустойчивости демонстрирует достаточно невысокие показатели общей оправдываемости (от 5 до 55% для различных территорий [2,6]). Интересно рассмотреть показатели корреляции значений показателей и факта наличия опасного явления (грозы) [7]. Для этого был рассчитан точечно-бисериальный коэффициент корреляции, состояние погоды полагалось дихотомической переменной (0 – отсутствие грозы, 1 – наличие грозы). Коэффициент точечно-бисериальной корреляции не демонстрирует направление связи, поэтому принято рассматривать его абсолютное значение (от 0 до 1). Результаты приведены в таблице 1 и показывают отсутствие сильной связи между рассмотренными показателями неустойчивости и условиями погоды.

Таблица 1. Коэффициенты точечно-бисериальной корреляции факта грозы и показателей неустойчивости атмосферы, полученных на основании данных численного моделирования и наблюдений (Модель – данные, осредненные по всем вариантам модельных расчетов).

	YSU	MYJ	ACM2	Модель	Наблюдения
К	0,49	0,49	0,46	0,48	0,54
СТ	0,37	0,39	0,38	0,38	0,43
VT	0,45	0,44	0,41	0,43	0,33
TT	0,46	0,46	0,44	0,45	0,43
DTI	0,27	0,27	0,31	0,28	0,06
SWET	0,42	0,42	0,38	0,41	0,24
PLCL	0,25	0,30	0,41	0,32	0,48

Заключение

В настоящем исследовании показано, что при воспроизведении стратификации атмосферы наблюдаются значительные ошибки в приземных значениях метеорологических характеристик при всех включенных в рассмотрение способах параметризации пограничного слоя. Меньшие по абсолютному значению погрешности наблюдаются в средней и верхней тропосфере.

Показано, что на значения «простых» показателей конвективной неустойчивости (без всплывающей частицы, использующих только значения температуры и показателей влажности) эти погрешности не оказывают значимого влияния. Наблюдаются существенные различия при подключении в качестве составляющих предикторов значений характеристик ветра (случай индекса SWET).

Погрешности воспроизведения стратификации существенно сказываются на погрешностях расчёта уровня конденсации. Это, в свою очередь, влияет на точность вычисления характеристик всплывающей частицы, необходимых для расчета ряда индексов неустойчивости. Для всплывающей частицы расчет охватывает мощный слой атмосферы, поэтому ошибка будет существенно и нелинейно зависеть от стратификации. Тогда как в случае «простых» индексов ошибка в воспроизведении температуры и температуры точки росы только суммируется (или даже компенсируется) в индексе. Можно предположить, что данный эффект будет значительно усилен при оценке такого важного интегрального показателя неустойчивости, как энергия неустойчивости, а значит и других, зависящих от него.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант БРИКС_т 18-55-80020, 17-05-00965_а).

Литература

1. Пономаренко С. И., Лебедева Н. В., Чистяков А. Д. Методические указания. Оценка способов прогноза гроз и рекомендации по их использованию (под ред. к.г.н. О. П. Глазовой) — М: Московское отделение Гидрометеоздата, 1971. – 58 с.
2. Peppler R. A. A Review of Static Stability Indices and Related Thermodynamic Parameters. Illinois State Water Survey. Technical Report. Climate and meteorology section. – Illinois state water survey Champaign, IL 61820, October 1988. – 94 p.
3. Skamarock, W.C., Klemp, J., Dudhia, Jimy, Gill, D.O., Barker, Dale, Wang, Wei. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. // NCAR Technical Note – 2008. – 27. – 3-27.
4. Дементьева С. О., Ильин Н. В., Мареев Е. А. Расчет электрического поля и индекса молниевой активности в моделях прогноза погоды. // Известия РАН. ФАО. – 2015. – Т. 51. № 2. - С. 210 — 217.
5. Горбатенко В.П., Громницкая А.А., Золотухина О.И. Термодинамические условия образования опасных конвективных явлений в районе космодрома «Восточный». // Вестник Томского государственного университета. – 2015. - №400. – С. 330 - 336.
6. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Анализ результатов расчета грозовой активности с помощью индексов неустойчивости атмосферы по данным численной модели WRF-ARW // Метеорология и гидрология. - 2015. - № 1.- С. 27 – 38.
7. Peppler R.A., Lamp P.J. Tropospheric static stability and Central North American growing season rainfall. // Monthly Weather Review. – 1988. – v. 177. – pp. 1156 – 1180.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И НАТУРНЫХ ДАННЫХ

Травкин В.С. (1), Белоненко Т.В. (1)

(1) Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

SEASONAL AND INTERANNUAL VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF MESOSCALE EDDIES IN THE LOFOTEN BASIN ON THE SATELLITE AND IN-SITU DATA

Travkin V.S. (1), Belonenko T.V. (1)

(1) St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

Целью данной работы является изучение сезонной и межгодовой изменчивости мезомасштабных вихрей Лофотенской котловины на основе спутниковых альтиметрических и натурных данных.

The target of this work is to study the seasonal and interannual variability of mesoscale eddies of the Lofoten Basin based on satellite altimetry and in-situ data.

Лофотенская котловина, расположенная в центральной части Норвежского моря, является «горячей точкой Норвежского моря», т.к. характеризуется локальным максимумом вихревой кинетической энергии и является важнейшим транспортным регионом для теплых и соленых вод Атлантики на их пути в Арктический бассейн. В ходе океанологических экспедиций с начала 60-х годов XX века в районе Лофотенской котловины на глубинах порядка 300–1000 м была обнаружена внутривихревая антициклоническая линза – Лофотенский вихрь с центром в районе 70° с.ш. и 4° в.д. Установлено, что вихрь имеет средний радиус порядка 37 км, а также орбитальную скорость 30 см/с. Кроме того, зафиксировано колебание пространственного положения ядра данного вихря в течение года, достигающее значений 130 км [1].

Зимняя глубокая конвекция является необходимым условием существования этого уникального природного феномена, так как она создает благоприятные условия его ежегодной регенерации Лофотенского вихря. Другим механизмом, позволяющим поддерживать в центре котловины высокую антициклоническую завихренность, является захват мезомасштабных вихрей, отрывающихся от Норвежского течения. Мезомасштабные вихри представляют наиболее важную составляющую динамики Лофотенской котловины.

Целью нашей работы является изучение сезонной и межгодовой изменчивости характеристик мезомасштабных вихрей в районе Лофотенской котловины по спутниковым альтиметрическим данным и по данным реанализа GLORYS.

Указанная цель достигается путем использования данных за период 1993–2016 гг. массивов «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» и «GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030».

Первый массив базируется на алгоритме, который основан на методе идентификации и трекинга вихрей посредством аномалий уровня поверхности океана (SLA), за счет анализа альтиметрических снимков, описанного в работе [2]. Для создания этого массива применялся специально разработанный алгоритм автоматической идентификации и трекинга вихрей в поле аномалий уровня моря (SLA), основанный на анализе альтиметрических снимков [3]. Описание алгоритма дано в работе [4].

В основу данного алгоритма заложено разделение анализируемого поля аномалий уровня с дискретностью, равной 1 суткам на пиксели (квадраты со стороной $0,25^\circ$) и последующее выделение на их основе мезомасштабных вихрей. Алгоритм выделяет вихри как скопления пикселей (максимальный размер – 2000 пикселей), которые удовлетворяют определенному набору критериев (компактность, наличие экстремума аномалии уровня внутри этого скопления, а также равнозначность значений аномалий внутри контура этого скопления со знаком его экстремума).

Данный массив содержит информацию о следующих параметрах:

- амплитуда (см) – амплитуда определялась как разность между значением экстремума аномалии уровня внутри замкнутого контура SSH и средним значением аномалии уровня внутри данного контура. Для вихря любой полярности амплитуда представляет собой положительную величину.
- радиус (км) – определялся как величина, равная радиусу окружности, площадь которой совпадает с площадью пограничного замкнутого контура SSH, на котором орбитальная скорость вихря максимальна.
- орбитальная скорость (см/с) – значение средней геострофической скорости, приуроченное к наиболее удаленному от центра вихря замкнутому контуру SSH;
- время существования вихря – количество дней, в течение которых данный вихрь фиксировался в поле аномалий уровня

Второй массив представлен глобальным реанализом на основе спутниковых наблюдений с горизонтальной дискретностью равной $1/12^\circ$ и вертикальной дискретностью равной 50 уровням. Данный массив основан на глобальной системе прогнозирования CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) в реальном времени. Компонентом модели является платформа NEMO, базирующаяся на анализе поверхности океана ECMWF ERA–Interim. Спутниковые наблюдения ассимилируются с помощью фильтра Калмана пониженного порядка. Кроме того, схема 3D–VAR обеспечивает коррекцию медленно меняющихся крупномасштабных отклонений температуры и солёности. Массив включает в себя среднесуточные и среднemesячные данные по

температуре, солености, направлению морских течений, уровню моря, глубине перемешанного слоя и параметрах морского льда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00027).

Литература:

- 1) Белonenko Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю.Е., Ожигин В.К., Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря, Вестник СПбГУ, Науки о Земле, Сер. 7, Вып. 2., 2014, с. 108-114.
- 2) Schlax M. G., Chelton D. B., The “Growing Method” of eddy Identification and Tracking in Two and Three Dimensions, 2016, p. 1–7.
- 3) Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R. M., Global observations of nonlinear mesoscale eddies, Progress in Oceanography, 2011, 91, p. 196–214.
- 4) Williams S., Petersen M., Bremer P.-T., Hecht M., Pascucci V., Ahrens J., Hlawitschka M., Hamann B., Adaptive extraction and quantification of geophysical vortices, IEEE T. Vis. Comput. Gr., 2011, 17, p. 2088–2095.

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА РЕКИ ОБЬ

М.В.Третьяков¹, канд. геогр. наук, А.И. Шикломанов¹, канд. геогр. наук, Е.Н. Шестакова^{1,2}

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

FEATURES OF LONG-TERM CHANGES IN THE RUNOFF OF THE OB RIVER

M.V. Tretiakov¹, Cand.Sc., A.I. Shiklomanov¹, Cand.Sc., E.N. Shestakova^{1,2}

¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg University, St. Petersburg, Russia

В работе представлены результаты оценки многолетних изменений стока реки Обь, а также опыт восстановления стока до естественного состояния (без влияния водохранилищ) с применением модели трансформации стока, реализованной по методу Калинина-Милукова.

The paper presents the results of the assessment of long-term changes in the runoff of the Ob River, as well as the experience of restoring runoff to its natural state (without the influence of reservoirs) using the runoff transformation model implemented by the Kalinin-Milyukov method.

Введение

Речной сток крупных рек является интегральной характеристикой состояния водных ресурсов на территории водосборного бассейна. Он претерпевает существенные трансформации под действием климатических процессов и антропогенной деятельности.

Результаты изучения изменчивости и колебаний водного стока сибирских рек, относящихся к бассейну Северного Ледовитого океана, в том числе Оби, на основе данных наблюдений представлены в многочисленных работах по изучению реакции гидрологического режима на климатические изменения, в том числе динамику атмосферной циркуляции и режим осадков [1-7]. В большинстве работ отмечается, что для реки Оби характерна низкая межгодовая изменчивость годового стока, обусловленная высокой естественной зарегулированностью бассейна, и увеличение стока зимней межени в современный климатический период. Вводохозяйственная деятельность в свою очередь оказывает влияние на суммарный сток в связи с водопотреблением и переброской стока, заполнением водохранилищ и ежегодными потерями стока на испарение с зеркала водохранилищ. Отмечается, что с учетом всех этих факторов, в 80-е годы потери стока воды составили 3,45%, что больше ошибки расчета нормы стока [8].

Таким образом, в настоящее время анализ данных наблюдений за стоком реки, выполняемых на гидрологической сети, позволяет сделать выводы преимущественно о характере этих изменений под совместным влиянием природных и антропогенных факторов. Для понимания реальных причин изменений в гидрологическом режиме необходимо для целей управления водными ресурсами и оценки экологического состояния приемных водоемов необходимо количественно оценить характер влияния деятельности человека на водосборе и природных процессов.

В настоящей работе была предпринята попытка оценить изменения водного стока реки Обь под действием водохранилищ. Для этого была произведена реконструкция естественного стока

реки Обь без влияния водохранилищ с использованием метода трансформации гидрографа Калинина-Милюкова [9].

Материалы и методы

Восстановление стока реки Обь производилась методом трансформации гидрографа Калинина-Милюкова. Г.П. Калинин и П.И. Милюков [9] предположили, что реку можно разбить на характерные участки, на которых существует однозначная связь между объемами воды и расходами в замыкающем створе, что позволило получить функцию влияния для последовательных характерных участков. Параметры τ (время добегания) и n (количество характерных участков с одинаковым временем добегания) определяются путем подбора при наличии наблюдений за входными и выходными расходами и выбираются исходя из наименьшего значения среднеквадратичного отклонения. В связи с хорошей физической обоснованностью и простотой формулы, включающей всего два параметра, метод Калинина-Милюкова в дальнейшем использовался нами для восстановления естественного стока реки Обь.

Для калибровки модели и расчетов использованы данные о расходах воды в реках стандартной гидрологической сети в суточном разрешении, опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра (ГВК) (1936-2010 годы), а также данные Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) (2011-2016 годы) [10]. Отметим, что суточные данные, ежегодно поступающие в АИС ГМВО, отличаются от данных, публикуемых в изданиях ГВК. Это связано с их последующим исправлением и дополнением по результатам проверки, первичной обработки и критического анализа в оперативно-производственных подразделениях Росгидромета и редакционной проверки в УГМС [11].

Несмотря на расхождения между данными в АИС ГМВО и данными, публикуемыми в изданиях ГВК, мы сформировали единый массив суточных расходов воды и провели анализ рядов на однородность, в результате которой значимых различий не было выявлено.

Бассейн реки Оби был разбит на 5 характерных участков, с замыкающими створами р. Обь – г. Салехард (1), р. Обь – с. Белогорье (2), р. Обь – г. Колпашево (3), р. Иртыш – г. Тобольск (4), р. Иртыш – г. Омск (5). Для этих участков был произведен подбор параметров n (количество характерных участков с одинаковым временем добегания) и τ (время добегания) на основе данных наблюдений за входными и выходными расходами в программе Hугr v.1.2 [12]. Для участков 3 и 5 подбор параметров производился для условно-естественных периодов до заполнения крупных водохранилищ – Бухтарминского (1960-1966 гг.) и Новосибирского (1957-1959 гг.). Для 1, 2 и 4 участков параметры модели подбирались аналогично на основе периода наблюдений, максимально обеспеченного суточными данными. Пропуски в связи с отсутствием среднемесячных значений восполнялись на основе расчета значений среднесуточного гидрографа (р. Обь – г. Камень-на-Оби, р. Обь – г. Белогорье, притоки р. Обь и р. Иртыш). Неизмеренный приток к участкам определялся по разности стока на выходе и входе с участка и суммы притоков за условно-естественный период. Среднесуточные значения рассчитывались пропорционально стоку зональных притоков. Таким образом, для каждого участка была найдена функция влияния, оптимально соответствующая измерениям расхода на входе и выходе с участка. В качестве критерия качества подбора параметров было использовано среднеквадратическое отклонение (СКО).

Для участков 3 и 5 по данным о расходах на притоках и с использованием полученной функции влияния был рассчитан расход на замыкающем его створе (р. Обь – г. Колпашево, р. Иртыш – г. Тобольск), отражающий модельную ситуацию, при которой водохранилища не

существуют. Разница между наблюдаемым и восстановленным стоком была использована для расчета трансформации гидрографа на нижележащих участках (2 и 4). Для расчета трансформации гидрографа на замыкающем створе р. Обь – г. Салехард (участок 1) также была использована разница между наблюдаемым расходом и восстановленным на замыкающем створе 2 участка (р. Обь – г. Белогорье) для периода с 1952 по 2016 год.

Результаты и обсуждение

Предварительный анализ на однородность среднегодовых объемов стока воды Оби за два периода (1936-1980 и 1981-2010) показал, что данные однородны. Наблюдается нарушение однородности стока зимнего стока по среднему значению, а для всего периода наблюдений характерен положительный тренд на 5-% уровне значимости (тренд описывает дисперсию на 24%). С 1981 года тренд годового стока имеет положительный знак и является значимым. Вклад каждого месяца в эти изменения различный. Наибольшие изменения претерпевает сток в апреле-мае.

По участку 5 (р. Иртыш – г. Омск) рассчитанные значения оказались больше наблюдаемых за весь исследуемый период в среднем на $53 \text{ м}^3/\text{с}$ (98 км^3). Объем потерянного стока в 1960-1966 годы составил 33 км^3 при объеме заполняемого в это время Бухтарминского водохранилища 53 км^3 .

Для участка 3 (р. Обь – г. Колпашево) наблюдаемые значения оказались значительно больше рассчитанных в 1952-1968 годы. Однако в 1957-1959 годы на $8,8 \text{ км}^3$ было заполнено водохранилище Новосибирской ГЭС. До 2010 года измеренные расходы были преимущественно ниже их восстановленных значений. Такая ситуация может быть обусловлена неудовлетворительным качеством исходных данных по створу р. Обь – г. Колпашево. Так, авторы работы [13] выявили систематическую погрешность 12 % при определении расходов воды р. Обь у г. Колпашево до 1962 г., однако о природе этой ошибки информация не приводится. В изданиях ГВК последних лет в комментариях после таблиц со сведениями о расходах воды отмечается, что в створе р. Обь – г. Колпашево существует недоучет стока по пойме. Таким образом, в настоящее время требуется тщательная проверка данных для третьего участка.

Восстановление стока до естественного состояния позволило установить, что влияние водохранилищ на зимний сток ослабевает при продвижении выше по течению р. Обь.

Тем не менее, полученные результаты в целом согласуются с результатами предшествующих исследований [14]. Наиболее существенные изменения претерпевает суммарный сток Оби в марте и апреле. Под влиянием водохранилищ его норма увеличилась на 11 и 13% соответственно за современный климатический период. В противовес этому с июля по октябрь фактическая норма стока меньше рассчитанной на 5-7%.

Расчет среднемесячных норм для наблюдаемого и восстановленного стока по двум климатическим периодам позволил выявить вклад природного и антропогенного фактора в изменения, наблюдаемые с начала 80-х годов (Рисунок 1).

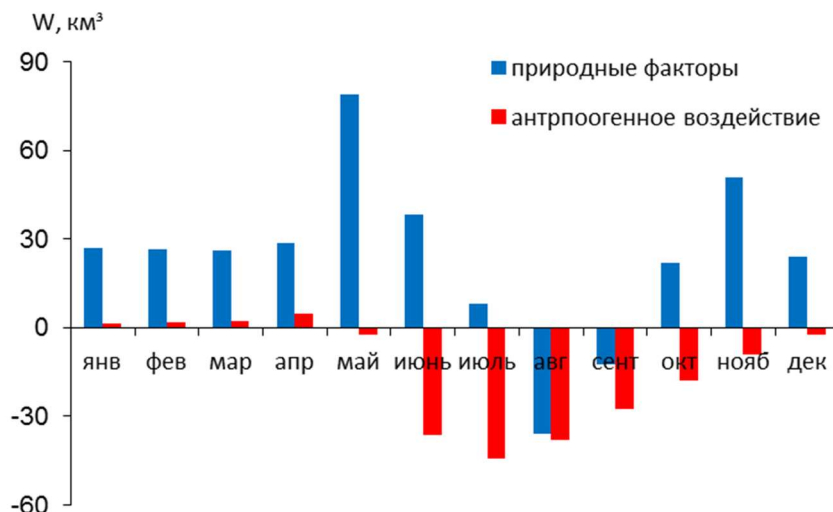


Рисунок 1. Вклад антропогенного и природного фактора в изменения нормы стока за 1981-2016 годы по сравнению с периодом 1936-1980 год

Таким образом, в наблюдаемые изменения зимнего стока наибольший вклад вносят природные факторы, тогда как хозяйственная деятельность на водосборе существенно влияет на норму стока половодья.

Заключение

Согласно данным наблюдений, для реки Оби характерно увеличение зимнего стока, а также значимое увеличение среднегодовых расходов воды за современный климатический период. При этом, наиболее существенные изменения претерпевают значения стока в марте-апреле.

Восстановление до естественного состояния стока реки Обь показало, что под влиянием водохранилищ его норма увеличилась в весенние месяцы за современный климатический период, а в летне-осенний период фактическая норма стока меньше рассчитанной на 5-7%.

В связи с тем, что р. Обь является крупным транзитным водотоком, увеличение стока, происходящее в верхнем течении, не оказывает значительного влияния на годовой сток реки. Влияние водохранилищ на зимний сток ослабевает при продвижении выше по течению р. Обь. Отмечено, что в наблюдаемые изменения стока холодного периода наибольший вклад вносят природные факторы, тогда как хозяйственная деятельность на водосборе существенно влияет на норму стока половодья.

На следующем этапе будет произведен перерасчет стока с неизученных территорий на участке 3 (закрывающий створ – г. Колпашево) для учета стока по пойме реки Обь с последующим перерасчетом стока для нижележащих участков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.

Литература

1. Агафонов Л. И. Сток нижней Оби и его изменения в XX столетии //Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2010. №. 4. С. 68-76.

2. Бабкин В.И. Речной сток и циклоническая деятельность в бассейне Оби, Енисея и Лены. М.: Научный мир, 2017. 545 с.
3. Симонов Ю. А., Христофоров А. В. Анализ многолетних колебаний стока рек бассейна Северного Ледовитого океана // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. №. 6. С. 645-652.
4. Хон В.Ч., Мохов И.И. Гидрологический режим бассейнов крупнейших рек Северной Евразии в XX-XXI вв.// Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 1. С. 3-12.
5. Шикломанов И. А., Шикломанов А. И. Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. №. 6. С. 645-654.
6. Berezovskaya S., Yang D., Kane D. L. Compatibility analysis of precipitation and runoff trends over the large Siberian watersheds // Geophysical Research Letters. 2004. V. 31. P. 1–4. doi:10.1029/2004GL021277.
7. Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W., Vörösmarty C.J., Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Shiklomanov I.A., Rahmstorf S. Increasing river discharge to the Arctic Ocean // Science. 2002. No 298(5601). P. 2171–2173
8. Магрицкий Д.В., Чалов С.Р., Агафонова С.А., Кузнецов М.А., Банщикова Л.С. Гидрологический режим нижней Оби в современных гидроклиматических условиях и под влиянием крупномасштабной водохозяйственной деятельности // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 1 (102). С. 106–115.
9. Калинин Г.П., Милуков П.И. Приближенный расчёт неустановившегося движения водных масс // Труды ЦИП. Вып. 6. Л.: Гидрометиздат. 1958. 72 с.
10. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 15.10.2019)
11. Муждаба О.В., Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Третьяков М.В., Терехова Р.А., Трунин А.А. К вопросу о достоверности гидрологической информации по поверхностным водным объектам суши Арктической зоны России // XV Международный научно-практический Симпозиум и выставка «Чистая вода России», 23–27 сентября 2019 года, г. Екатеринбург. Сборник докладов. (под ред. Прохоровой Н.Б., Валек Н.А., Крыловой Е.И., Кочева А.Б.). 2019. С. 162-169.
12. Shiklomanov A. I., Golovanov O., Lammers R. B., Tretjyakov M., Yang D. Dam/Reservoir-Induced Hydrological Changes in Large Siberian Rivers. AGU Fall Meeting Abstracts 12
13. Бачурин Г. В., Михайлов Ю. П. Водные ресурсы тайги: материалы XII расширенного заседания Научного совета Сибирского отделения АН СССР по комплексному освоению таежных территорий 15-16 ноября 1982 г. Ин-т географии СО АН СССР. 1984. 184 с.
14. Георгиади А. Г., Кашутина Е. А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия РАН. Серия географическая, 2016. №. 5. С. 70-81

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БИОТРОПНОСТИ ПОГОДЫ ДЛЯ ГОРНЫХ КУОРТОРОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (РЕГИОН КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД)

¹М.А. Трубина, ¹Н.П. Поволоцкая, ¹Кириленко А.А., ¹Просольченко А.В. ²Сеник И.А.

¹ [Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии ФГБУ СКФНКЦ ФМБА, г. Пятигорск](#)

² [ФГБУН «Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН», г. Москва](#)

MODEL ASSESSMENT OF THE BIOTROPIC WEATHER FOR MOUNTAIN RESORTS OF THE NORTH CAUCASUS (CAUCASUS MINERAL WATER REGION)

¹M.A. Trubina, ¹N.P. Povolotskaya, ¹Kirilenko A.A., ¹Prosolchenko A.V. ²Senik I.A.

¹FSBI «Pyatigorsk state research institute of resort study of Federal Medical-Biological Agency», Pyatigorsk

²FGBUN «Institute of Atmospheric Physics named after A.M. Obukhov RAS», Moscow

Рассматриваются актуальные проблемы оценки биотропности погоды, оперативного предупреждения о неблагоприятных погодных условиях в системе санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и рекреационного туризма для целей оздоровления населения России в регионе Кавказские Минеральные Воды.

Actual problems of the weather biotropic assessment, operational warning of adverse weather in the system of resort, medical rehabilitation and recreational tourism for the purpose of improving the population of Russia in the Caucasus Mineral Waters region are considered.

Актуальность. Погода и климат оказывают многостороннее влияние на здоровье человека, а процессы адаптации человека к различным климатическим условиям зависят от медико-географических и биоклиматических особенностей регионов проживания человека, состояния его здоровья и генетических факторов. Предвидение развития гелиогеофизических процессов дает возможность значительно ослабить влияние на здоровье людей неблагоприятных погодных факторов и предупредить их отрицательные последствия. Для этого разрабатываются специализированные прогнозы погоды для медицинских целей или т.н. «*медицинские прогнозы погоды*», которые в основном применяются для целей курортной медицины. Медицинская оценка погоды и климата проводится с целью определения степени благоприятности территорий для курортного лечения, отдыха и туризма, возможности использования методов климатотерапии и климатопротекции.

Оценка биотропности погоды и климата способствует повышению эффективности санаторно-курортного лечения и рекреационного отдыха. Она включает оценку объема и качества климатолечебных ресурсов по месяцам и сезонам; определение возможности акклиматизации человека в различных природных зонах; выявление неблагоприятных погодных условий, вызывающих метеопатические реакции у пациентов; осуществление медико-метеорологического прогнозирования и профилактики гелиометеопатических реакций (ГМР). Знание механизмов и степени воздействия неблагоприятных (биотропных) факторов погоды на здоровье, а также профессиональный медицинский прогноз погоды позволяют медикам провести профилактику ГМР организма человека при различных изменениях типов погоды.

В последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес современного общества к вопросам здорового образа жизни, профилактики, медицинской реабилитации, восстановительной медицине, а также рекреационному и медицинскому туризму в горных местностях Северного Кавказа. В санаторно-курортном лечении и медицинской реабилитации в лечебно-оздоровительных целях особая роль отводится использованию природных лечебных ресурсов (ПЛР), что позволяет достигать наилучших результатов при минимальных затратах времени и средств (Программа РФ «Развитие здравоохранения», постановление Правительства от 26.12. 2017 г. № 1640, подпрограмма 3). Природные лечебные ресурсы и курортные богатства нашей страны велики и многообразны [1].

Известно, что родоначальником курортного дела в России является активный реформатор – царь Петр I и первым курортом стал курорт «Марциальные воды» в Карелии под

Петрозаводском, где находится долина железистых минеральных источников, обладающих уникальными медицинскими свойствами. Специальным Указом 20 марта 1719 года, были прописаны «*Дохтурские правила, как при оных водах поступать*» и указ «*О целительных водах, открытых на Олонце*», где по подобию западной врачебной науки того времени, где описывались способы употребления, сезонность, режим дня, диеты. Так был основан первый российский курорт – Марциальные Воды, положивший начало развитию санаторно-курортной отрасли в России. Следующим курортом в 1721 году стал горный курорт Минеральные Воды на Северном Кавказе.

Созданная в России система санаторно-курортного лечения с использованием ПЛР не имеет аналогов в мировой практике. Общая эффективность ее высока и составляет 75-80%, при этом значительно повышаются общий адаптационный потенциал, стрессоустойчивость и защитные силы организма человека, а продолжительность жизни при повторных курсах курортной терапии увеличивается от 3 до 15 лет [2]. Главной стратегической задачей санаторно-курортной сферы во все времена было и остаётся сохранение и приумножение здоровья нации. Сегодня эта задача является одним из важнейших государственных приоритетов, влияющих и на развитие общества, и на состояние национальной безопасности. Одной из стратегических задач является реализация программы развития превентивной и персонализированной медицины с применением ПЛР. Одновременно должна решаться задача для планирования и реализации мероприятий по охране «здоровья здоровых» в санаторно-курортных организациях.

Медицина XXI века развивается по пути широкого внедрения в лечебно-профилактическую практику инновационных технологий для совершенствования защитных сил организма, расширения специфической и неспецифической профилактики заболеваний. Однако вопросы массовой диагностики гелиометеочувствительности и организации с современных позиций гелиометеопрофилактики изучены пока недостаточно, что и определило направление исследований – изучить прогнозирование медицинских типов погоды и организацию профилактики метеопатических реакций на курорте. Особое значение имеет модель оценки биотропности погоды для горных курортов Северного Кавказа и система оперативного предупреждения о приближении погод с высоким индексом патогенности и разработки мер профилактики гелиометеопатий.

Цель: изучение роли системы медицинского прогноза погоды (МПП) с учетом биоклиматических, экологических, гелиогеомагнитных факторов в повышении эффективности курортной реабилитации (КР) различных социально-значимых заболеваний (СЗЗ) для горных районов Северного Кавказа в регионе Кавказских Минеральных Вод в условиях глобального изменения климата и ускорения процесса урбанизации.

Кавказские Минеральные Воды (КМВ) являются уникальным *особо охраняемым эколого-курортным регионом России*. Он расположен в Ставропольском крае и включает в себя известные федеральные курорты Кисловодск, Пятигорск, Ессентуки и Железноводск. Уникальность курортного региона обусловлена целебным климатом, своеобразными ПЛР, исключительным разнообразием типов и разновидностей минеральных вод, месторождения которых компактно сосредоточены на относительно небольшом участке территории. По разнообразию минеральных вод региону нет равных не только в России, но и во всем мире – более 80 источников и скважин с минеральными водами 24 различных типов. Регион КМВ располагает одним из лучших в России месторождением лечебных грязей – озером Тамбукан.

По мнению ВОЗ отмечающиеся изменения климата и загрязнение атмосферы являются самой большой угрозой для глобального здравоохранения в XXI веке. На горных курортах КМВ эти изменения влияют, прежде всего, на качество природных лечебных ресурсов (реабилитационные, санационные, оздоровительные, рекреационные свойства приземной атмосферы и природного ландшафта), формируют новые структуры внутренней связи человека с окружающей средой, которые требуют переосмысления, корректирования принципов и методов оценки этих связей. Необходимы радикальные перемены в подходах исследования качества реабилитационных и патогенных свойств приземной атмосферы, а также параметров солнечной радиации и гелиогеомагнитной активности применительно к задачам реабилитации людей с различными СЗЗ.

Специализированные прогнозы погоды для медицинских целей

Организация профилактики ГМР, как важная мера по предупреждению обострения заболевания, является частью курортного восстановительного лечения. Доказано, что клинические метеопатические реакции проявляются в виде обострения основного заболевания (наиболее метеолабильны кардиологические больные, менее подвержены влияниям погоды пациенты с заболеваниями легких, центральной нервной системы и опорно-двигательного аппарата). Отличительные признаки ГМР от обострения основного заболевания – это одновременное и массовое развитие патологических проявлений у однотипных больных в неблагоприятные погодные условия; кратковременное ухудшение состояния здоровья и его синхронность с изменениями погоды; относительная стереотипность повторных нарушений у одного и того же больного в аналогичной погодной ситуации. Для повышения эффективности курортного лечения людей, часто страдающих повышенной гелиометеочувствительностью, крайне важна адаптация к климату курорта и своевременное проведение мер по предупреждению ГМР [3]. В ряде стран мира: в Европе, Азии, Австралии, Новой Зеландии, США, Канаде подготовлены и внедрены в практику планы действий по защите здоровья, в частности психологической поддержки населения в периоды экстремальных погодных явлений.

Следует отметить, что приоритет создания первых МПП и разработки основ для его практического применения в отечественной медицине принадлежит России. Впервые в 1964 году МПП был создан для зоны курортов влажных субтропиков в целях правильной оценки возможных метеотропных реакций и проведения рациональной метеопрофилактики [4]. И.И. Григорьевым, Н.В. Роменским, М.М. Тен и И.Г. Пармоновым была разработана принципиально новая морфодинамическая классификационная схема типизации метеосиноптических и гелиогеофизических характеристик в медицинских целях, все разнообразие погодных условий и гелиогеофизических показателей подразделялись «на медицинские типы погоды» [5].

Основные классификации МПП

1. Морфодинамическая классификация И.И. Григорьева с соавт. включает 4 типа погоды:

Тип 1 – весьма благоприятная погода.

Тип 2 – благоприятная погода.

Тип 3 – неблагоприятная погода.

Тип 4 – особо неблагоприятная погода.

Медицинский прогноз погоды представляет собой научный анализ (расчет) предполагаемого состояния погодных условий в целях возможного предотвращения их неблагоприятного влияния на организм метеочувствительных людей. МПП составляется на сутки (день, ночь) и более длительное время (36 – 48 час) на основании аэросиноптических материалов (приземных и высотных карт, номограмм и др.) с учетом особенностей спутниковой информации, мезоклиматических условий, а также информации с метеогеофизических искусственных спутников и геофизических станций. Кроме того, учитываются данные, характеризующие атмосферное электрическое поле и геомагнитное поле земли.

2. В динамической классификации погод В. И. Русанова введено понятие «погода момента», учитывается значение изменчивости метеофакторов и выделяется 4 класса погод: клинически благоприятный, характеризующийся межсуточным повышением атмосферного давления и температуры воздуха; клинически менее благоприятный при межсуточном понижении давления и температуры; клинически неблагоприятный при межсуточном понижении давления и повышении температуры; клинически очень неблагоприятный при межсуточном повышении давления и понижении температуры [6]. Каждый класс погоды характеризуется строго определенными интервалами температуры и влажности воздуха, скорости ветра и нижней облачности. В данной классификации отражается влияние параметров атмосферы на состояние человека от крайне суровой погоды до очень жаркой и сухой. Классификация была разработана для районов Сибири.

3. Медицинская типизация погоды И.В. Бутьевой и В.Ф. Овчаровой основана на синоптико-метеорологическом подходе с учетом содержания кислорода в воздухе. В качестве основных принципов МПП и профилактики метеопатических реакций у больных заболеваниями сердечно-сосудистой системы выделяются четыре основных эффекта погоды: спастический; тонизирующий; гипоксический; гипотензивный. МПП составляется на основе

метеорологических и синоптических данных текущих суток, прогноза погоды и синоптической ситуации в конкретном климатогеографическом регионе с учетом среднесуточного и среднесрочного отклонения конкретных метеорологических условий от средних многолетних (т.е. типичных) данных, к которым обычно хорошо адаптирован организм человека. При составлении ММП учитывается динамика кислородного режима атмосферы равнинных районов в суточном и сезонном аспектах, а также при смене погодных условий [7].

4. Медицинская типизация погоды Н.П. Поволоцкой с соавт. (в основу МПП положена морфодинамическая классификация погод И. И. Григорьева с соавт.) является инновацией в системе МПП на горных курортах, для которых характерны явления природной высотной гипобарии, атмосферной гипоксии, повышенного фона биологически активной ультрафиолетовой солнечной радиации, которые с одной стороны используются в курортной практике в качестве мощных лечебно-оздоровительных факторов, а с другой – при определенных условиях внешней среды требуют особого подхода к их контролю и предупреждению нежелательных ГМР (реакций дезадаптации, метеопатических реакций, обострения хронических заболеваний, сердечно-сосудистых, мозговых и иных катастроф) [3, 8, 9]. В соответствии с морфодинамической классификацией все разнообразие вариантов погодных условий можно подразделить на четыре медицинских типа погоды, различающихся по категории биотропного действия: 1 тип – благоприятная погода, 2 тип – относительно благоприятная погода, 3 тип – неблагоприятная погода и 4 тип – крайне неблагоприятная погода.

Новации связаны с новой информационной моделью МПП, предназначенной для пациентов и медицинских сотрудников здравниц курортов КМВ, и с введением в методологию подготовки МПП модифицированных показателей биотропности погоды – индексов биотропности различных медико-метеорологических модулей, на основе которых рассчитывается интегральный показатель ИПП. Режим погоды по степени биотропности на курортах КМВ оценивается с помощью интегрального индекса патогенности погоды (ИИПП), который рассчитывается на основе множества индексов патогенности «ki» для отдельных медико-климатических модулей (циркуляционных, барических, радиационных, теплбалансовых, гигротермических, аэрозольных и газовых наблюдений входят измерения температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, солнечной освещенности, уровня ионизации в воздухе – легких положительных и отрицательных ионов, описание подстилающей поверхности, почвы, растительности).

В рамках модели были разработаны классификаторы для определения градаций степени биотропности для различных медико-метеорологических модулей, подтвержденных результатами комплексных эмпирических медико-климатических исследований в отделе курортной биоклиматологии ПГНИИК ФГБУ ФМБА России (климатоадаптация, метеопатические реакции, биоклиматические условия) на основе динамического и синоптического прогнозов погоды Гидрометцентра России и прогноза загрязнения атмосферы Института физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН.

В работе над МПП используются данные биоклиматического мониторинга; методики МПП, утвержденные ФМБА России; синоптический прогноз Ставропольского гидрометцентра; прогноз аэрозольного загрязнения приземной атмосферы ФГБУ ИФА им. А.М.Обухова РАН; прогноз глобального ультрафиолетового индекса Центральной аэрологической обсерватории Гидрометслужбы РФ, прогноз геомагнитной активности ИЗМИРАН [9]. В зависимости от целевой аудитории в рамках данной модели разрабатываются МПП трех видов: научно-методический прогноз; прогноз для пациентов и сотрудников клиник, спа-гостиниц и оздоровительных центров; биометеорологический прогноз для экологического, спортивного и рекреационного туризма.

Результаты

Одним из ключевых моментов в организации профилактики ГМР у метеочувствительных пациентов в санаторно-курортных учреждениях КМВ является «Медицинский прогноз погоды». Основываясь на результатах отклика у метеозависимых пациентов, лечившихся в клиниках ФГБУ ПГНИИК ФМБА России, уточнены критерии патогенности для различных климатопогодных модулей (теплбалансовых, барических, циркуляционных, радиационных, аэроионизационных, гелиогеофизических, экологических), методология оценки индекса патогенности погоды и медицинского типа погоды. Для курортов КМВ за последние пять лет

было разработано девять новых методов КР для наиболее распространенных СЗЗ (ишемическая болезнь сердца (ИБС), синдром раздраженного кишечника (СРК), метаболический синдром (МС), артериальная гипертензия (АГ), основанных на рациональном использовании ПЛР и новых технологий профилактики ГМР (путем сочетанного применения транскраниальной мезодиэнцефальной модуляции и климатоландшафтотерапии).

Интегративный подход к медико-климатическим исследованиям позволил уточнить критерии оптимальных условий биоклимата на горных курортах: тепловой баланс ± 600 Вт/м²; индекс патогенности погоды $>25\%$; природная аэроионизация 1200–2800 ион/см³ при КУИ 0,6–1,0; аэрозольное загрязнение <4 частиц/см³ для частиц аэрозоля диаметром 500 – 1000 нм и суммарном загрязнении атмосферы не выше 0,2 ПДК; бактериостатичность парковых растений 13–100%; отсутствие в приземной атмосфере патогенной пыли растений; уровень saniрующих летучих метаболитов растений не выше 1–3 мкг/м³; глобальный UVI (ВОЗ) не выше 3,0; отсутствие опасных атмосферных явлений. Использование новаций в системе МПП, углубление и расширение междисциплинарной программы биоклиматического мониторинга, маршрутных исследований состояния горного ландшафта при разработке курортной климатоландшафтотерапии содействовали повышению эффективности курортной реабилитации распространенных социально-значимых заболеваний (ИБС, СРК, МС, АГ) на 20–35%.

Заключение

В работе использованы междисциплинарные комплексные методы исследования: экспериментальные, клинические, лабораторные, иммунологические, биоклиматические, ландшафтные, статистические, мониторинговые, моделирования и др. Новые подходы к анализу климатопогодных модулей в модели КМВ позволили уточнить методологию оценки индекса патогенности погоды и уровня риска появления метеопатических реакций пациентов. Оправдываемость МПП на курортах КМВ увеличилась с 88% до 95%.

Литература

1. Федеральный закон «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах» от 23.02.95 г. № 26-ФЗ //СЗРФ, от 27.02.1995 г., № 9, ст.713 (в современной редакции).
2. Разумов, А.Н. Здоровье здорового человека (научные основы восстановительной медицины) / А. М. Сточик, И. П. Бобровницкий, В. С. Шинкаренко, А.В. Соколов; под общ. ред. А.Н. Разумова, В.И. Покровского. – М., 2007. – 544 с.
3. Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата / Коллективная монография. Под общ. ред. акад. А.И. Григорьева; Российская академия наук. – М.: Наука, 2014. – 428 с.
4. Григорьев К.И., Поважная Е.Л. Методике медицинских прогнозов погоды 50 лет. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2014; 1: 57–63.
5. Григорьев И.И., Роменский Н.В., Парамонов И.Г. Методические указания по медицинской классификации погод и профилактике метеотропных реакций на курортах субтропической черноморской климатической области. Сочи; 1963.
6. Русанов В.И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. — Томск: Изд-во ТГУ, 1981.
7. Овчарова В.Ф., Бутьева И.В., Швейнова Т.Г., Алешина Т.П. Специализированный прогноз погоды для медицинских целей и профилактика метеопатических реакций // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 1974; 2: –С 109–190.
8. Система медицинского прогноза погоды на федеральных курортах Кавказских Минеральных Вод: Методическое пособие /Авторы: И.Г.Гранберг, Н.П.Поволоцкая, Г.С.Голицын, Н.В.Ефименко, Л.И.Жерлицина, К.Г.Рубинштейн, И.А.Сеник, В.А.Васин, С.В.Ткачук, М.С.Артамонова, А.А.Кириленко, М.Д.Козлова, З.В.Кортунова, Ф.А. Погарский, Л.О.Максименков. – ФГУ «ПГНИИК ФМБА России»: ИФА им. А.М.Обухова РАН: Гидрометцентр России. – Пятигорск, 2009. – 23 с.
9. Курортология Кавказских Минеральных Вод. Том 1 / Под общей редакцией д.м.н., проф. В.В. Уйба. Научное издание. Пятигорск: ФГУ «Пятигорский Государственный НИИ курортологии ФМБА России». – 2010. – 353 с.
10. Ефименко Н.В., Жерлицина Л.И., Поволоцкая Н.П., Товбушенко Т.М., Трубина М.А., Кириленко А.А., Сеник И.А. Системный подход к использованию гелиогеофизических факторов в подготовке медицинского прогноза погоды для федеральных курортов Кавказских Минеральных Вод // Космос и биосфера: тезисы докладов XIII Международной крымской конференции. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2019. – С 64-67.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БОЛЬШИХ РЕК РОССИИ НА
ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

А.А.Трунин¹, О.В. Муждаба¹

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург,
Россия

NEW DATA ON THE MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF LARGE RIVERS OF RUSSIA BASED ON
THE USE OF GIS TECHNOLOGIES

A.A.Trunin¹, O.V. Muzhdaba¹

¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Рассчитаны значения площадей водосборов больших рек, впадающих в моря Северо-Ледовитого океана. Работа проводилась в геоинформационных системах на цифровых картах, зарегистрированных в Росреестре. Величины получены полуавтоматическим способом, математическими и картографическими методами с использованием цифровой модели рельефа и векторных данных. Расхождение с данными Государственного водного реестра составляет до 10%.

Values of basins of the major rivers flow into the Arctic Ocean are estimated. The survey is based on GIS digital maps registered in Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography. The values are calculated using semiautomatical method of mathematical and mapping study with digital elevation model and vector data. Discrepancy with Federal Water Resources Agency data is as large as 10%.

Введение

В настоящее время современные ГИС-технологий широко применяются в географических и гидрологических исследованиях, в решении водохозяйственных задач, что вывело их на качественно новый уровень. При этом особое место занимает развивающаяся теория и методология бассейнового подхода к изучению природных процессов и явлений [1].

После введения в действие нового Водного кодекса РФ в 2007 г. на федеральном уровне были созданы геоинформационные системы - Государственный водный реестр (ГВР) и Государственный мониторинг водных объектов (ГМВО) – уникальные по своему составу, охвату и реализации автоматизированные информационные системы, организованные по бассейновому принципу. Однако при формировании атрибутивных тематических баз данных морфометрических характеристик водных объектов, сведения о них были заимствованы из изданий Государственного водного кадастра Росгидромета, в том числе полученных при оцифровке и переводе в электронную форму многотомного Справочника «Гидрологическая изученность», изданного в середине 1960-х годов [2]. Следовательно, уточнение характеристик водных объектов в ГВР на основании современных технологий не проведено, хотя в региональных исследованиях такие оценки публикуются постоянно [3-6,9]. Важно отметить, что общей методологии вычислений не выработано, цифровые картографические основы различны, единая процедуры обновления таких сведений в Государственном водном реестре не разработана.

Подчеркнем, что размер площади водосборной территории является главным критерием для выделения гидрографических единиц бассейнового и подбассейнового уровня территории Российской Федерации [7, п.18]. Водосборная площадь водного объекта генетически определяет количество и качество стока, закладывая тем самым основные параметры природных водных ресурсов, поэтому ее количественная оценка лежит в основе решения многих гидрологических и водохозяйственных задач, используется в инженерных и водобалансовых расчетах. Таким образом, крайне важно провести уточнение водосборных площадей гидрографических единиц бассейнового и подбассейнового уровня. К ним, в первую очередь, относятся большие реки площадью более 30 тыс.км² [7, п.7], впадающие в арктические моря Северо-Ледовитого океана.

Материалы и методы

Впервые гидрографическое районирование территории Российской Федерации осуществлено специалистами ФГУП «Центр Регистра и Кадастра» по заданию Росводресурсов в 2009 г.[8]. Также данный вопрос, включая применение ГИС-технологий и единых картографических основ, был детально рассмотрен специалистами ГГИ при разработке руководящих и нормативных документов [9,10]. Новизна предлагаемых расчетов состоит в использовании картографической основы, утверждённой Росреестром [11] в 2018 г. и реализации специально разработанных для гидрологии алгоритмических средств, а также в охвате водосборной площади СЛО в целом.

В современных ГИС существуют функции пространственного анализа данных, связанные с обработкой атрибутивной и геометрической информации. В нашей задаче для вычисления площадей водосборов применялись математические и картографические методы, реализованные в программном пакете ArcMap v.10.0.

Методы пространственного анализа основаны на моделировании поверхности в точках измерений. ГИС, адаптированные для решения прикладных задач, позволяют аппроксимировать поверхность, применяя известные методы: обратных взвешенных расстояний (IDW), преобразование нерегулярной сети (TIN), метод кригинга (Krige), ANUDEM, сплайн-интерполяция. Методы глобальной и локальной интерполяции, а также детерминированные и геостатистические методы детально описаны [12], главные из них перечислены ниже.

Метод обратных взвешенных расстояний относится к жесткому интерполированию и основан на весовой функции. Данный метод является наиболее простым, что позволяет применять его при отсутствии дополнительной информации о рассчитываемой матрице рельефа.

Метод кригинг, в отличие от детерминированных методов, создает вероятностную модель, что позволяет рассчитать матрицу с учетом корреляционных связей и выполнить оценку точности.

Интерполяция сплайн-методом заключается в приближенном вычислении аппликаты посредством полиномов. Данный метод входит в семейство методов, основанных на вычислении параметров специализированной функции. Этот метод успешно применяется в картировании гармонических полей (магнитное, гравитационное и т.д.).

Особенностью метода ANUDEM является возможность учета точечных и линейных данных с разными весами. При большем весе «горизонталей» алгоритм сначала строит генерализованную морфологию поверхности, основываясь на кривизне горизонталей. Далее в качестве источника информации по высотам добавляются значения горизонталей. Горизонталы служат надежными индикаторами водотоков и линий водоразделов. Для расчета «Направление стока» (Flow Direction) используется программный пакет ArcMap v.10.0. Этот алгоритм берет поверхность в качестве входных данных и выводит растр, показывающий направление стока из каждой ячейки. Существует восемь действительных выходных направлений, относящихся к восьми соседним ячейкам, в которые может перемещаться поток. Этот подход обычно называют моделью потока в восьми направлениях, он рассмотрен в статье [13].

Для построения цифровой модели рельефа использовались векторные данные: горизонталы, точечные значения высот, а также реки и озера в соответствии с методикой, предложенной в работе [14].

В нашем случае на основе примененного метода ANUDEM рассчитана цифровая модель рельефа с помощью опции «Spatial Analyst-Topo to Raster». Для вычисления матрицы рельефа использовались линии горизонталей, значения высот, линии рек, полигоны озер. Матрицы стока и аккумуляции рассчитаны инструментом «Spatial Analyst-Hydrology-Flow Direction, Flow Accumulation». Для получения контура водосбора выбиралась река (в представленном варианте, Оленёк) и применялась опция «Spatial Analyst-Hydrology-Watershed».

На рис. 1 показан водосбор реки Оленёк рассчитанный по описанной выше технологии.

Выводы

В результате выполненной работы рассчитаны значения площадей водосборов для 10 главных и больших рек, впадающих в арктические моря. Работа проводилась в геоинформационных системах на цифровых картах, зарегистрированных в Росреестре. Величины получены полуавтоматическим способом, математическими и картографическими методами с использованием цифровой модели рельефа и векторных данных. Расхождение с данными Государственного водного реестра составляет до 10%.

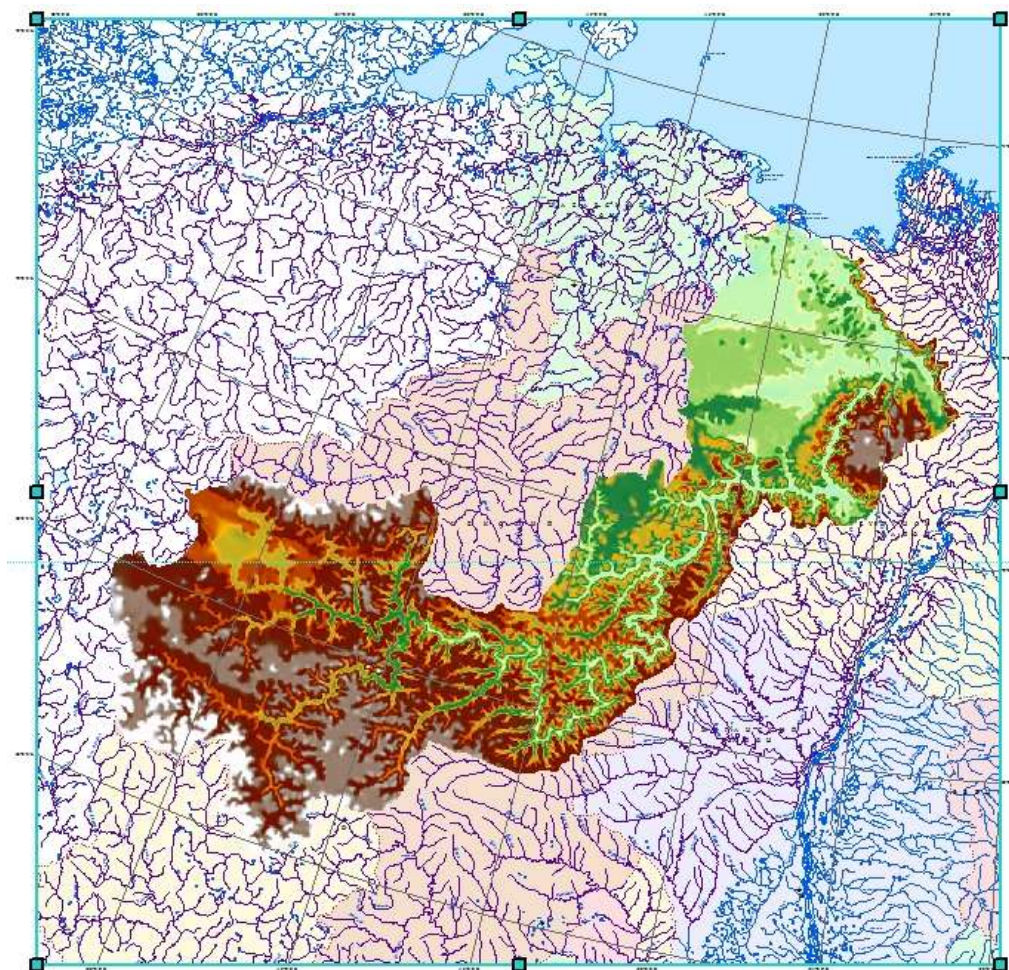


Рис 1. Водосбор реки Оленёк.

Необходимо уточнение сведений в ГВР о морфометрических характеристиках водосборных площадей рек, являющихся гидрографическими и водохозяйственными единицами бассейнового деления территории РФ. Такие же работы следует провести для средних и малых рек, изменение морфометрических характеристик которых обусловлено природными и антропогенными изменениями за последние десятилетия. Анализ следует проводить на основе современных методов геоинформационных технологий и на единых цифровых картах Росреестра. Для проведения этих работ рекомендуется утвердить методические основы, некоторые из которых рассмотрены в работе.

Литература

1. Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки. // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14. М., 2004. С.7–32
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т.1 Кольский полуостров, Т.3 Северный край, Т.15 Алтай и Западная Сибирь, Т.16 Вып.1 Енисей, Т.17 Лено-Индигирский район, Т.19 Северо-Восток. – Л.: Гидрометеиздат. 1963 – 1967
3. Калинин В.Г., Пьянков С.В. Использование гидрографических характеристик рек и их бассейнов в гидрологических расчетах // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 11. – С.75–80.
4. Калинин В.Г., Пьянков С.В. Гидрологическая информационная система «Бассейн Воткинского водохранилища» // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 5. – С.95–100

5. Орлова Е.В. Определение географических и гидрологических характеристик бассейна Печоры с использованием ГИС-технологии // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 4. – С.81–88
6. Измайлова А. В., Ульянова Т. Ю. Информационная система Озера России // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. – 2014. – № 6. – С.21–28.
7. Приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 112 «Об утверждении Методики гидрографического районирования территории Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68601/ (дата обращения: 14.09.2019).
8. Мотовилов Ю.Г., Омеляненко В.А. Гидрографическое районирование территории Российской Федерации // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. – 2009. – № 2. – С.77–81.
9. СТО ГГИ 52.08.40-2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам – СПб.: ООО "РПЦ Офорт", 2017. – 148 с.
10. Р 52.08.874-2018 Определение гидрографических характеристик картографическим способом СПб.: 2018. – 172 с.
11. Цифровые географические основы. URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru> (дата обращения: 09.10.2019).
12. Сравнение методов интерполяции. ESRI. URL:<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-spatial-analyst-toolbox.htm> (дата обращения: 09.10.2019)
13. Jenson S., Domingue J. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 1988. – 54. – P. 1593–1600.
14. Hutchinson M. F., Gallant J. C. Digital Elevation Models and Representation of Terrain Shape.// *Terrain Analysis: Principles and Applications* /Eds. J. P. Wilson, J. C. Gallant. – N. Y.: John Wiley & Sons, 2000. – P. 29–50

ОПЫТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕК ТУАПСИНСКОГО РАЙОНА (По материалам учебных практик)

В.Л.Трушевский¹ канд. техн. наук, Т.М. Потапова¹, канд. хим. наук, Т.В.Паршина¹, А.А.Коваленко¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

EXPERIENCE OF HYDROLOGICAL RESEARCHES OF THE RIVERS OF THE TUAPSIN DISTRICT

(Based on training practices)

V.L. Trushevsky¹ candidate of technical sciences, T.M. Potapova¹, candidate of chem. sciences, T.V. Parshina¹, A.A. Kovalenko¹

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Рассмотрены основные результаты полевой практики студентов гидрологов ИНОЗа СПбГУ на реках Туапсинского района. Проведена оценка стока по данным гидрометрических, гидрохимических и морфологических наблюдений в рамках стандартных маршрутных гидроэкологических наблюдений. Изложены особенности измерения расходов воды в горных условиях Туапсинского района Кавказа. Приведены данные полевых и лабораторных исследований химического состава для девяти рек черноморского склона Кавказа.

Ключевые слова: водосбор, полевая гидрология, комплексные исследования, измерение водного стока, расчет ионного стока горных рек.

The main results of field practice of students of hydrologists SPbSU on rivers of Tuapse district were considered. The runoff was assessed according to hydrometric, hydrochemical and morphological observations within the framework of standard route hydroecological observations. Features of water flow measurement in mountain conditions of Tuapse region of Caucasus are presented. Data of field and laboratory studies of chemical composition for nine rivers of the Black Sea slope of the Caucasus are given.

Keywords: drainagebasin, field hydrology, integrated studies, measurement of water flow, calculation of ion flow of mountain rivers.

Специальная полевая практика студентов СПбГУ по гидрологии дает возможность студентам понять место науки о водных потоках в системе географических наук, а также важность знаний в этой области для нужд народного хозяйства.

Основным содержанием практики является изучение закономерностей взаимосвязи водных потоков с разнообразными компонентами ландшафта, позволяет студентам овладеть методикой проведения полевых гидрологических исследований и последующей обработки полученных данных.

Специальные практики по гидрологии проводятся после второго курса – это исследования озера и водосбора зимой и летом, открытие водомерного поста на средней реке и комплексные исследования горной реки. Последняя практика связана со спецификой работы в горных условиях и особенностями горной гидрологии. Кроме того, без знакомства с горными реками невозможно изучение такого направления как «Опасные гидрологические явления». Поэтому уже несколько лет студенты кафедры выезжают на базу СПбГУ «Горизонт» в Туапсинском районе Краснодарского края РФ.

В основу гидрологических исследований, помимо методических указаний ВМО [1] и пособий по гидрологии кафедры [2, 3, 4], положены новейшие методические разработки сотрудников [5], где рассмотрены общие методические основы полевой гидрологии.

В рамках полевых практик студенты осваивают и выполняют базовые виды гидрометрических исследований процессов формирования стока горной реки. Включая доступный комплекс гидрометрических измерений, ландшафтные описания и исследование гидрохимических характеристик воды. Данные методические подходы были апробированы в ходе полевых работ на реках Туапсинского района, проводимых студентами кафедры гидрологии суши СПбГУ с 2013 в рамках комплексных экспедиций.

Специальные экспедиционные исследования помимо научных целей, таких как - наблюдать в естественных природных условиях за плохо изученными сторонами гидрологических процессов, согласно методических указаний и СНиПов [6] позволяют:

- получить необходимую информацию о конкретных объектах и детально ознакомиться с особенностями территории;

- организовать специфические наблюдения на этих объектах за развитием опасных гидрологических процессов и явлений в целях их прогнозирования и заблаговременности предупреждения;

- провести специальные наблюдения для получения или уточнения параметров и характеристик используемых расчетных методов и численных моделей.

Согласно программы практики на горной реке в начале августа 2016 - 2018 гг. силами студентов вторых курсов кафедры гидрологии суши в 2016 г.: Амаро Медина Д. Р., Боронина А.С., Немчинов Е.О., Салеева Д.А., в 2017 г.: Корнаухов И.Д, Кузнецова М.Р., Маринина С.В., Пашовкина А.А, Урванцева А.А и в 2018 г. – Авдеевич Д.А, Ладонова В.О., Панютин Н.А., Укис А.А., Хомякова В.А. были выполнены:

- Рекогносцировочные работы: гидрографическое обследование участка реки, выбор подходящего участка для организации водомерного поста и проведения гидрометрических работ.

- Геодезические работы: разомкнутый теодолитный ход для привязки исследуемой территории на местности, замкнутый теодолитный ход для привязки участка водомерного поста, нивелирный ход для высотного обоснования территории и построения продольного профиля реки с отбивкой отметок уровня высоких вод (УВВ), получение GPS координат точек на местности.

- Гидрометрические работы: промеры глубин и измерение скоростей течения различными способами, измерение уклона водной поверхности и построение поперечных профилей до уровня высоких вод.

- Гидрохимические работы: определение электропроводности и кислотности, температуры воздуха, а также отбор проб воды для проведения химического анализа в лабораторных условиях.

- Проектирование гидрометрического сооружения в районе водомерного поста.

Экспедиционные выезды осуществлялись на объекты исследования в 2016 г. реки: Агой, Небуг, Ту, Нечепсухо, Шапсухо, Джубга, Бжид, в 2017г. на реки: Ту, Кабак, Псебе, Джубга, Шепсухо, Нечепсухо, а также на водопаде Фата Невесты, в 2018 г. на реки: Ту, Кабак, Псебе, Нечепсухо.

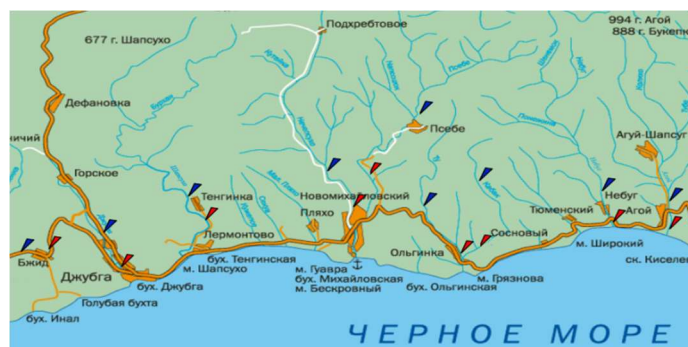


Рис. 1. Места измерения расхода воды и отбора проб на гидрохимический анализ.

К наиболее значимым факторам, влияющим на формирование стока в рассматриваемой территории можно отнести: особенности орографии, геологические и геоморфологические условия, особенности грунтов и растительного покрова, климатические условия, склоновые процессы, антропогенное влияние.

Гидрографическая сеть Туапсинского района Краснодарского края характеризуется большим количеством небольших порожистых рек. В основном это малые горные реки и ручьи. Большая часть их них – временные водотоки, пересыхающие в засушливое время года, и полноводные весной и в период паводков.

Особенности формирования стока рек Туапсинского района Черноморского побережья Кавказа определяли полевые изыскания в период практики [7]. На вышеперечисленных девяти реках за три года было открыто по три гидрологических водомерных створа в верхнем (по возможности), среднем и нижнем течении (рис. 1). На каждом назначался подходящий участок и разбивался гидрологический створ для измерения расхода вертушкой (ИСП – 1М), поплавковым,

электролитическим методом, а также методом контроля добегания ионного паводка. В небольших притоках и родниках расход был измерен объемным методом. Далее были рассчитаны расходы воды, в том числе и максимальный половодный расход. Так же были взяты пробы воды и сделан их полевой химический анализ.

Камеральная обработка полученных материалов включала: построение план-схемы реки Кабак, продольного профиля реки Кабак, плана участка водомерного поста (на реках Кабак и Ту), поперечного и продольного профиля долины до бровки для всех поперечников водомерного поста, поперечных профилей до уровня высоких вод для всех створов исследуемых рек, расчёт расходов воды осуществлялся для всех центральных створов на выбранных участках различными методами. (Пример такой работы таблица 1, за 2016 год).

Таблица 1. Сводная таблица расхода воды, измеренного различными способами

Водный объект	Q, м ³ /с (вертушкой)	Q, м ³ /с (поплавковым методом)	Q, м ³ /с (методом добегания ионного паводка)	Q, м ³ /с (электролити ческим методом)	Половодн ый расход, м ³ /с
р. Ту (верхнее течение)	0,001	-	0,001	0,01	16,2
р. Ту (нижнее течение)	0,024	0,02	0,027	0,027	20,5
р. Небуг (верхнее течение)	0,16	0,19	-	-	73,8
р. Небуг (нижнее течение)	0,17	-	-	-	138
р. Агой (верхнее течение)	0,11	-	-	-	50,3
р. Агой (нижнее течение)	0,16	-	-	-	67,4
р. Джубга (верхнее течение)	-	0,003	0,06	0,04	25,2
р. Джубга (нижнее течение)	0,07	-	0,06	0,06	27,5
р. Нечепсухо (верхнее течение)	0,24	-	0,44	0,24	18,8
р. Нечепсухо (нижнее течение)	0,53	-	0,55	0,55	478
р. Бжид (верхнее течение)	-	-	-	-	4,86
р. Бжид (нижнее течение)	0,032	0,02	-	-	6,48

Полученные результаты позволяют сделать ряд выводов: недостоверность поплавкового метода; значение выбора контрольных створов при использовании метода ионного паводка - не менее 80%-е перемешивание в замыкающем створе, а также существенное значение определения УВВ для величины половодного расхода.

Камеральная обработка морфометрических данных, включая подготовку исходных материалов, построение профилей створов и построение кривых площадей, а также расчет и построение кривых расходов для расчета максимальных половодных расходов осуществлялось на основе «программы выполнения расчетов по данным промеров и геодезической съемки морфо профилей русла реки и затопляемой части речной долины», (А В. Кокорев (Валдайский филиал ГУ «ГГИ») Руководство пользователя Profiles2010 [8].

Ниже приведен пример построения Кривых площадей и Кривых расходов верхнего створа реки Агой (2016г.) (рисунки 2-3):

$$H_{УВВ} - 2,05 \text{ м} \quad Q - 49,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

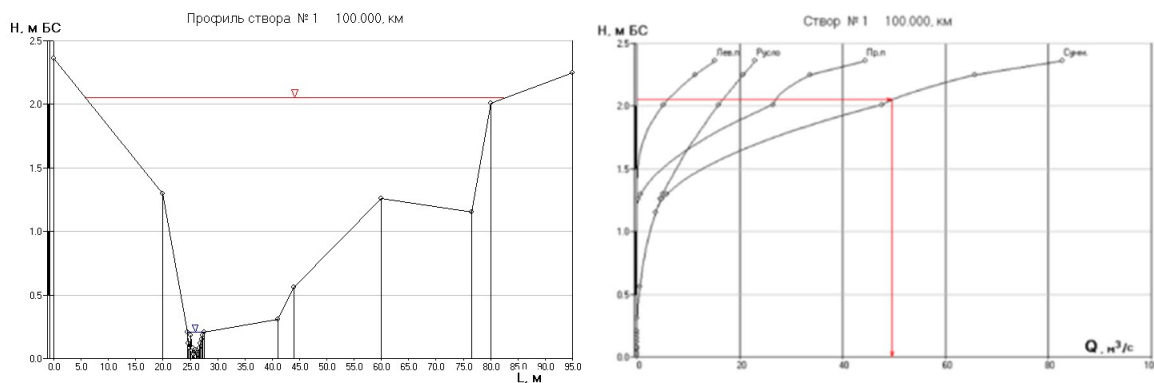


Рис. 2, 3. Кривые площадей и Кривые расходов для верхнего створа реки Агой

Гидрохимические работы включали полевой анализ химического состава и свойств воды на гидростворах и взятие проб на химический анализ. Так как природные воды являются по составу сложными растворами солей, газов и органических веществ (гуминовых кислот) естественного происхождения, то в разных физико-географических условиях формируются воды различной солености, кислотности и жесткости, что и определяет качество природных вод. Наш опыт таких исследований - экспедиции (2013-2014 гг.) СПбГУ, на реках Северский Донец и Айдар и аналогичные изыскания в бассейне реки Оскол, Белгородской области [9, 10].

В процессе экспедиционных выездов на реки Агой, Небуг, Ту, Нечепсухо, Шепсухо, Джубга, Бжид, Кабак, Псебе, Джубга, Шепсухо, Нечепсухо и из родника в п. Тенгинка помимо измерения расхода воды были взяты пробы воды для определения гидрохимических показателей. Описывались характеристики мест отбора проб и органолептические показатели. К наименее минерализованным с атмосферным типом питания относятся воды р. Шепсухо в верхнем и нижнем течении. Максимальная (до 700 мг/л) минерализация выявлена в воде р. Ту – преимущественно грунтового типа питания с возможным морским влиянием. Воды родника Тенгинка, р. Нечепсухо и р. Джубга относятся к водам средней минерализации и имеют смешанное питание – поверхностно-стоковое, атмосферное и грунтовое.

Таблица 2. Сводная таблица данных по ионному стоку для рек Кавказа

Номер пробы	Название реки	Расход воды м ³ /с	Ионный сток, кг/сутки
1	р.Агой (нижний створ)	0,16	148
2	Р.Агой (верхний створ)	0,11	110
3	Р.Небуг (нижний створ)	0,17	161
4	Р.Небуг (верхний створ)	0,16	163
5	нижнее течение р. Джубга	0,07	96,1
6	верхнее течение р. Нечепсухо	0,53	583,3
7	среднее течение р. Ту	0,001	2,6
8	среднее течение р. Нечепсухо	0,24	379,9
9	нижнее течение р. Шепсухо	0,24	88,4
10	верхнее течение р. Шепсухо	0,53	278,5
11	родник в п. Тенгинка	0,36	610,3
12	верхнее течение р. Джубга	0,54	709,6
13	р. Бжид, нижнее течение	0,032	21,88
14	р. Бжид, среднее течение	0,02	35,74

В таблице 2 представлены расходы воды и рассчитанный ионный сток для исследуемых створов рек. Таким образом, воды исследованных рек по ионному составу относятся к гидрокарбонатно-

натриевым, мягким (0,9-1,8 градусов жесткости) малой и средней минерализации (102-380 мг/л), нейтральным или слабощелочным (рН=7,5-8,5).

При анализе уклонов рассматриваемых рек даже в нижнем течении, выявлены непривычно большие величины: от 1-5‰ до 10-23‰, что очевидно увеличивает скорость прохождения паводочных волн.

Литература

1. Руководство по гидрологической практике (ВМО-№ 168)
2. Трушевский В.Л. Полевая гидрологическая практика. Учебно-методическое пособие. Под ред. В.С. Вуглинского. Раздел 2. СПбГУ. 2000 г.
3. Трушевский В.Л., Паршина Т.В. Методические указания по проведению летней практики по ботанической географии и почвоведению. Часть 1. СПб, Изд. СПбГУ. Глава «Природные особенности проведения практики» с. 82-90, 148-152.
4. Учебно-методический комплекс практики Полевая (учебная) практика по метеорологии и гидрологии. ФГБОУ ВПО Красн. ГПУ им. В.П. Астафьева, факультет биологии, географии и химии. 2012.
5. Виноградова, Т. А., Пряхина, Г. В., & Мосолова, Г. И. (2014). Методические основы полевой гидрологии и организации комплексных экспедиционных работ на горных водосборах. Вест. СПбГУ. Сер. 7: ГЕОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ, (4), 189-196.
6. Руководящий документ. Дополнение к наставлению гидрометеорологическим станциям и постам, вып.5, ч.1. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. РД 52.08.163-88., Гидрометеоздат, Л., 1989.
7. Трушевский В.Л., Паршина Т.В. Практикум по гидрометрии. СПбГУ., СПб., 2007. Методы изучения гидрологического режима водных объектов Л.: Гидрометеоздат, 1982 –391с.
8. Кокорев А. В. Программа выполнения расчетов по данным промеров и геодезической съемки морфо профилей русла реки и затопляемой части речной долины», Руководство пользователя Profiles. 2010. Валдайский филиал ГУ «ГТИ». 2010. 25с.
9. Трушевский В.Л., Потапова Т.М., Мысина А.С. Новые сведения о гидрохимическом состоянии рек бассейна Северский Донец. В кн.: Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Сб. д IX Межд. Науч. конф. аспирантов и студентов, Донецк. Донецкий национальный технический университет. 2015. С. 15-16.
10. Трушевский В.Л. и др. Гидроэкологические исследования поверхностных и подземных вод Белгородской области. Materials of the international scientific and practical conference «Science and education - 2014» 5-6 September 2014, V.13 Biological sciences Ecoje/ Belgorod – Sheffield Science fond education LTD 2014/ 73-76 p/

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА, РАССЧИТАННЫЕ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ

А. И. Тюгалева¹, Р. И. Май^{2,1}, канд. геогр. наук

¹Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Санкт-Петербург, Россия

MAIN CHARACTERISTICS OF THE ICEBERG DRIFT CALCULATED ON THE BASIS OF THE NUMERICAL MODEL IMPLEMENTATION

A. I. Tiugaleva¹, R.I. May^{2,1}, Ph.D.

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

При помощи численной модели воспроизводятся скорости дрейфа айсбергов различных геометрических параметров и масс с часовой дискретностью. По полученным временным рядам скоростей дрейфа происходит оценка режимных характеристик: рассчитывается средняя скорость дрейфа и изменчивость скорости дрейфа. Оцененные режимные характеристики скоростей дрейфа айсбергов могут быть учтены при проектировании и обеспечении безопасной эксплуатации сооружений на арктическом шельфе.

The numerical model is used to reproduce the drift velocities of icebergs of different geometric parameters and masses with hourly discreteness. According to the obtained time series of drift velocities, an estimate of the operating characteristics is obtained: the average drift velocity and the variability of the drift velocity are calculated. Estimated operational characteristics of drift velocities of different icebergs can be taken into account when designing and ensuring the safe operation of structures on the Arctic shelf.

Введение

Айсберги представляют большую угрозу для судоходства и морских сооружений на арктическом шельфе. Для работы в таком районе необходимо знать режимные характеристики опасных ледяных образований. В первую очередь, это средние скорости дрейфа и их изменчивость. Первые оценки режимных характеристик айсбергов основываются на анализе данных авиационных и судовых наблюдений. Одним из главных минусов такого подхода является нерегулярность судовых и авиаразведок. Спутниковая информация помогает значительно улучшить качество оценок, однако современные спутниковые методы тоже имеют свои погрешности – точность обнаружения зависит от параметров самого айсберга, угла визирования, состояния поверхности моря и т.д. [1]. Инструментальные измерения траекторий дрейфа айсбергов достаточно дороги и не могут в полной мере охватить районы, для которых требуется знание режимных характеристик скоростей дрейфа. Численные модели дрейфа айсбергов могут восполнить этот пробел – на них можно реализовать гипотетические случаи нахождения айсбергов в интересующих районах и оценить статистические характеристики их дрейфа.

Описание модели дрейфа айсберга

Основным уравнением моделей дрейфа айсберга является уравнение движения, описанное в работе [2]. Кроме этих сил в модель так же включены сила взаимодействия айсберга и морского

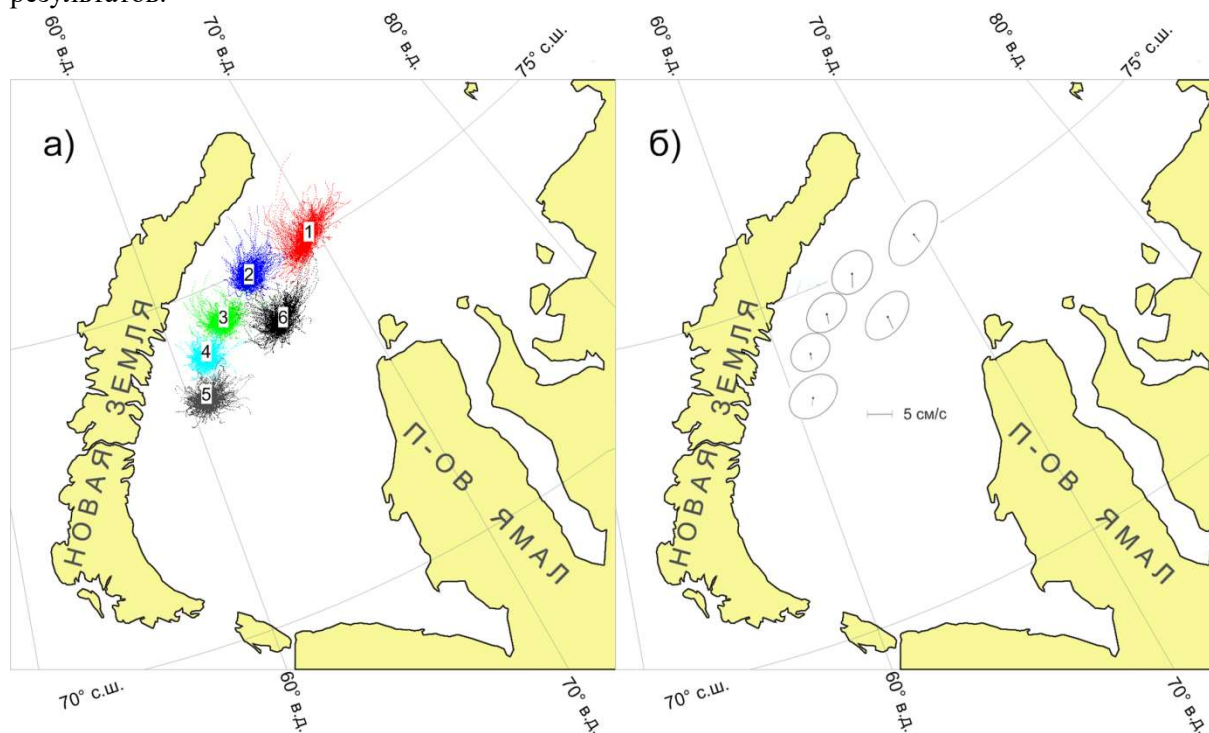
льда, и сила волнового воздействия на айсберг. При помощи языка программирования MatLab была реализована численная модель и были построены траектории движения айсберга от северо-восточных берегов Новой Земли в акватории Карского моря.

Данные о состоянии океана и морского льда берутся из системы диагноза и прогноза ТОРАЗ4. Основная цель ТОРАЗ – прогнозирование океанических течений в арктическом регионе [3]. Помимо этого, данная система воспроизводит уровень поверхности моря, температуру и соленость на различных горизонтах, характеристики ледовой обстановки. Система ассимилирует данные, полученные как со спутников, так и данные *in situ*, полученные с гидрографических судов. Данные покрывают весь арктический регион к северу от 65°с.ш. В модели берутся данные с дискретностью один час и пространственным разрешением 12,5x12,5 км. Данные о ветре берутся из атмосферного реанализа ERA-Interim. Данные представлены с 6-часовой дискретностью и пространственным разрешением 0,75x0,75 градуса. Помимо вынуждающих сил для расчета траекторий дрейфа айсберга необходимо задать массу и другие геометрические параметры айсберга. В данной работе были использованы регрессионные соотношения для вычисления параметров айсберга [4,5].

Построение траекторий и расчет режимных характеристик дрейфа

Существует два подхода к расчету режимных характеристик дрейфа айсберга. Первый метод основан на построении траекторий дрейфа айсберга за определенный промежуток времени, в основе второго лежит ограничения пространства дрейфа айсберга небольшим расстоянием от точки генерации.

В первом случае происходит расчет дрейфа одного и того же айсберга при смене внешних полей: айсберг дрейфует в течение 7 дней, затем происходит запись его траектории и айсберг возвращается в начальную точку. Таким образом, получаем набор траекторий при изменении полей вынуждающих сил. Такой метод позволяет оценить, как будет вести себя определенный тип айсберга в различных гидрометеорологических условиях. Минус такого метода заключается в том, что размеры района, в которых происходит дрейф, будут варьироваться от сезона. В таком случае не исключены наложение изучаемых районов друг на друга и неверная трактовка результатов.



а – недельные траектории дрейфа айсбергов, исходящих из 6 точек. б - вектора среднего дрейфа айсбергов и эллипсы среднеквадратического отклонения дрейфа для 6 точек Карского моря.

Рис. 1. Пример расчета режимных характеристик скорости дрейфа айсбергов для 6 точек Карского моря.

Во втором случае происходит расчет дрейфа различных айсбергов, которые друг за другом распространяются из точки генерации в пределах заданного района. Дрейф айсберга не ограничен временем. Такой подход позволяет отследить генеральное направление дрейфа айсберга, независимо от смены метеорологических параметров и формы айсберга. Неточность результатов может быть вызвана построением нехарактерных траекторий (например, при прохождении циклональных структур, под воздействием ветра, вращающегося по окружности, айсберг может двигаться по петлеобразной траектории. Если это движение будет проходить в пределах заданного региона, оно так же будет включено в расчет, и приведет к ошибкам в расчетах).

В данной работе произвольным образом было выбрано 6 точек на акватории Карского моря, для которых выполняется расчет режимных характеристик скоростей дрейфа айсбергов (рис. 1) [6]

На рисунке 1а представлены траектории айсбергов, дрейфовавших в течение одной недели от места начального положения. После семи дней дрейфа траектория записывалась в память компьютера, а айсберг возвращался в начальную точку для воспроизведения новой траектории, обусловленной гидрометеорологическими условиями.

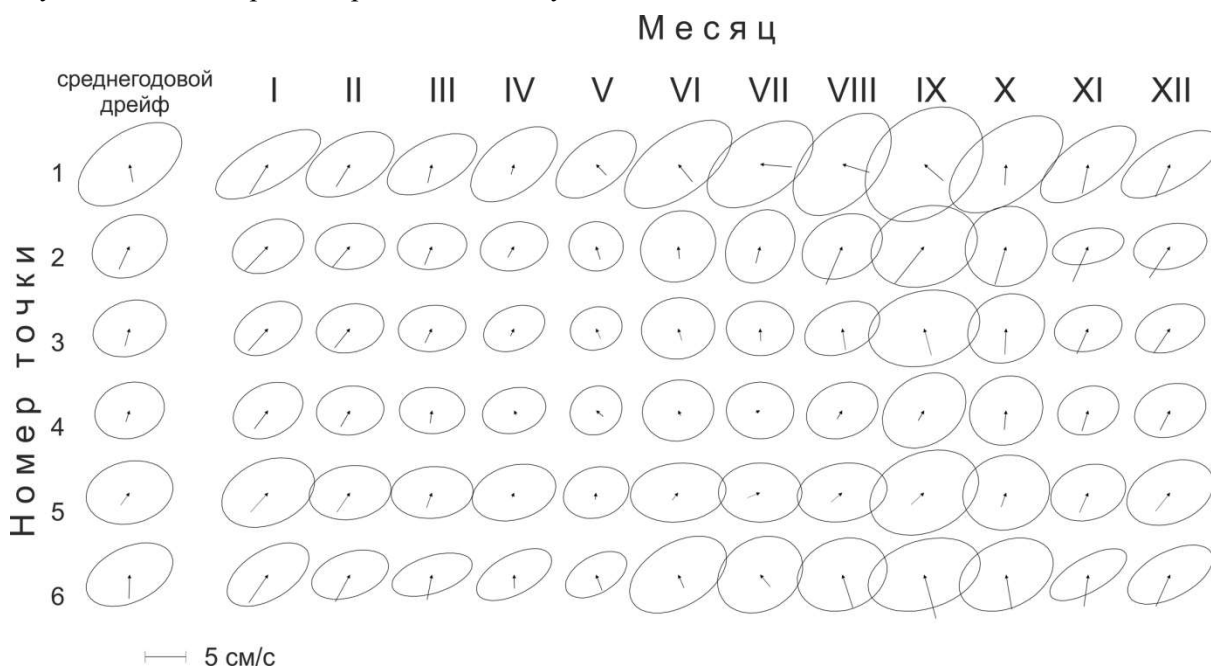


Рис. 2. Сезонная изменчивость характеристик скорости дрейфа айсбергов для 6 точек Карского моря.

Для точки № 1 максимальная среднемесячная скорость дрейфа айсберга составила почти 3,5 см/с в январе, в летние месяцы среднемесячная скорость дрейфа айсберга меньше аналогичного показателя для зимних месяцев. Максимальные значения среднеквадратического отклонения скоростей дрейфа айсберга для данной точки достигают почти 8 см/с. Эллипс среднеквадратического отклонения имеет выраженное сжатие (коэффициент сжатия от 0,3 до 0,7) и ориентацию на северо-восток – юго-запад. Коэффициент вариации для всех точек всегда

больше единицы, что означает, что изменчивость скоростей дрейфа айсбергов всегда превосходит скорость однонаправленного квазипостоянного дрейфа. Для точки № 2 характерны интенсификация скорости дрейфа айсберга в августе и сентябре (максимальная среднемесячная скорость дрейфа немногим более 5 см/с), и ослабление среднемесячных скоростей дрейфа в весенние месяцы (около 2 см/с). Практически во все месяцы средний перенос айсбергов в точке №2 направлен на север - северо-восток.

Максимальный модуль среднемесячной скорости дрейфа айсбергов в точке № 3 отмечается в сентябре (более 4 см/с). Минимальное значение среднемесячной скорости дрейфа составило 0,5 см/с в марте, из-за чего коэффициент вариации превысил значения 10 (т.е. изменчивость скорости дрейфа на порядок больше скорости среднего переноса айсбергов), хотя максимальное значение дисперсии скоростей дрейфа приходится на тот же месяц, что и максимальная скорость среднего дрейфа айсбергов. Генеральный дрейф айсбергов в радиусе 20-30 км от точки № 3 направлен преимущественно на север-северо-восток.

Для точки № 4 максимальные значения модуля среднемесячного дрейфа айсбергов составляют 1,5-2,0 см/с (отмечаются с июля по октябрь), что несколько меньше аналогичных параметров, оцененных в точках 1-3. Величина большой полуоси эллипса среднеквадратического отклонения скоростей дрейфа айсбергов в этой точке не имеет выраженного сезонного хода и колеблется в пределах (3-5 см/с).

В точке № 5 сезонный ход среднемесячных значений модуля дрейфа айсбергов также имеет максимальные среднемесячные скорости дрейфа (более 2,5 см/с), приходящиеся на летние месяцы (июль-август). Среднемесячный перенос для февраля практически отсутствует.

В точке № 6 модуль среднемесячного переноса дрейфа айсбергов имеет максимум в августе-сентябре (более 4 см/с), минимум - в весенние месяцы: около 1,5 см/с. Выраженного сезонного хода в среднемесячной дисперсии скоростей дрейфа айсбергов сезонной изменчивости нет: большая полуось эллипса среднеквадратического отклонения меняется от 4 до 6 см/с (Рис 2.).

Заключение

Анализ скоростей дрейфа в Карском море показал, что изменчивость скоростей дрейфа превалирует над скоростью среднемесячного переноса айсбергов. В этой части акватории среднемесячный перенос айсбергов происходит преимущественно в северном и северо-восточном направлении. Такие результаты моделирования совпадают с оценками генерального направления дрейфа, описанные в работе [7]. Основной дрейф айсберга имеет северное-северо-восточное направление, и только 1 из 57 айсбергов двигался на юг, захваченный Восточно-новоземельским течением.

Для модуля скорости среднемесячного переноса айсбергов отмечается выраженный сезонный ход: как правило, в летние и осенние месяцы модуль среднемесячного дрейфа айсбергов максимален, и минимален в весенние месяцы.

Предложенные методы оценки режимных характеристик айсберговой опасности могут быть полезны при проектировании и планировании эксплуатации гидротехнических сооружений на шельфе арктических морей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60109 «Исследование процессов формирования и эволюции опасных ледовых явлений и ледяных образований в Арктике при современных изменениях климата»

Литература

1. Миронов Е.У., Смирнов В.Г., Бычкова И.А., Кулаков М.Ю., Демчев Д.М. Новые технологии обнаружения айсбергов и прогнозирования их дрейфа в западном секторе Арктики//Проблемы Арктики и Антарктики; 2015, №2(104), 21-32.

2. Тюгалева А.И., Май Р.И. Численное моделирование дрейфа айсберга//Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития»; 2018, 655-658.
3. Bertino L., Evensen S., The DIADEM/TOPAZ monitoring and prediction system for the North Atlantic//Third Eurogoos conference «Building the European capacity in operational oceanography»; 2007, vol 7.
4. Май Р.И., Павлова Е.А., Тюгалева А.И., Хотченков С.В. Регрессионные соотношения между геометрическими параметрами айсбергов//Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития»; 2018, 415-418.
5. May R. I., Guzenko R. B., Mironov Ye. U., Naumov A. K., Skutin A. A., Skutina E.A., Sobotuk D.I., Zamarin G. A., Kornishin K.A., Efimov Ya.O. , Mamedov T.E. Geometry and mass of icebergs in the Russian Arctic//Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference; 2019, 655-662.
6. Tiugaleva, A.; Guzenko, R.; Klyachkin, S.; May, R. Method of iceberg hazard estimation in the Kara Sea, based on realizations of the numerical model//19th international multidisciplinary scientific geoconference «SGEM 2019»; 2019, 977-984.
7. Buzin I.V., Nesterov A.V., Gudoshnikov Yu.P., Pashali A.A., Kornishin K.A., Efimov Ya.O., Stragnikov D.S., The main results of iceberg drift studies in the Russian Arctic throughout 2012-2017//Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference; 2019, 691-698

ИСТОРИЯ ГИДРОМЕТА В ЛИЦАХ

А.И.Угрюмов

Российский Государственный Гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

THE HISTORY OF HYDROMET THROUGH PERSONS

A.I.Ugriumov

Russian State Hydrometeorological university Saint-Petersburg

История Российского Государственного Гидрометеорологического университета (Гидромет) показана как результат деятельности его талантливых руководителей и преподавателей. Названы наиболее выдающиеся люди университета и показан их вклад в развитие гидрометеорологического образования в СССР и в России.

The history of the Russian State Hydrometeorological university (Hydromet) is demonstrated as a result of activity of its talented leaders and professors. The more outstanding persons are named and their contributions for hydrometeorological education in USSR and Russia are shown.

Историю творят люди. И жизнь нашего гидрометеорологического вуза, которому вскоре исполнится 90 лет, не исключение. Именно усилиями людей, создавшими его и поддерживающими преподавание на высоком научно-теоретическом уровне, МГМИ-ЛГМИ-РГГМУ быстро стал ведущим в стране по подготовке метеорологов, гидрологов и океанологов. Достаточно сказать, что свыше 80% фронтовых и штабных гидрометеорологов в годы Великой Отечественной войны были выпускниками нашего вуза.

История возникновения Московского гидрометеорологического института (МГМИ) – уникальна. Именно конкретные люди, выпускники геофизического отделения физфака МГУ, стали его создателями: И.Г.Петровский, будущий ректор МГУ, и В.А.Белинский, ставший потом признанным авторитетом в области общей и динамической метеорологии. Конечно, их поддержал начальник Единой Гидрометслужбы СССР А.Ф.Вангенгейм, но инициатива исходила от студентов! Такого в мировой практике не найти. Первым директором МГМИ был назначен В.А.Белинский, недавний студент.

В первые годы существования МГМИ в нем преподавало целое созвездие великолепных математиков: знаменитый впоследствии президент АН СССР с 1961 по 1975 гг. академик М.В.Келдыш, будущий основатель Сибирского отделения АН СССР академик М.А.Лаврентьев, Н.Е.Кочин, создатель динамической метеорологии, вместе с И.А.Кибелем впервые в мире разработавший принципы численного прогноза погоды.

Именно в МГМИ, а потом и в ЛГМИ зародились целые направления гидрометеорологической науки. За 5-7 лет преподаватели МГМИ сумели создать тот золотой фонд учебников, который служил многим поколениям и студентов и специалистов. Имена их авторов нельзя вспоминать без содрогания: В.В.Шулейкин, С.П.Хромов, В.А.Бугаев, М.А.Великанов, Е.В.Близняк, Н.Н.Зубов, М.С.Аверкиев, А.Аполлов. Многие учебники «созрели» и оформились в эвакуации института, в Ленинабаде. Так и пошла гидрометеорологическая наука по СССР и России - из наших с вами стен.

С 1944 года наш институт-университет «живет» в Ленинграде-Петербурге. И здесь целая плеяда прекрасных преподавателей. Среди них был и Л.Т.Матвеев, В.А.Березкин, В.И.Воробьев, В.В.Тимонов, А.С.Зверев, К.И.Кудрявая, Л.Г.Качурин, Д.Л.Соколовский, Е.С.Рубинштейн, О.А.Дроздов,

М.И.Юдин, П.Н.Тверской. Из ГГО пришли М.И.Будыко, Д.Л.Лайхтман и М.Е.Швец, из Главного гидрологического института (ГГИ) - А.А.Соколов, Б.П.Панов и В.А.Урываев, из Арктического научно-исследовательского института (АНИИ) - известный полярный исследователь

Н.И.Евгенов, основоположник ленинградской школы долгосрочных прогнозов погоды А.А.Гирс, Д.Б.Карелин, В.М.Шапаев и многие другие.

В 1950-1960 годы институт уже мог гордиться целой плеядой своих выпускников, выросших в крупных ученых и руководителей отечественной Гидрометслужбы. Среди них начальник Гидрометслужбы СССР в 1950-1962 гг. А.А.Золотухин, многолетний заместитель начальника Гидрометслужбы В.И.Корзун, руководители управлений центрального аппарата службы Х.П.Погосян и К.А.Хзмалян, директора научно-исследовательских институтов В.А.Урываев (ГГИ), А.А.Юшак (ГОИН), П.А.Урываев (ДВНИГМИ), Н.В.Пушков (ИЗМИРАН), Н.И.Дружинин (Гидромелиоративный институт). Два выпускника стали Героями Советского Союза, руководителями исследований в Арктике и Антарктике, легендарными полярниками. Это М.М.Сомов и Е.И.Толстикова. В это время более 50 выпускников ЛГМИ стали профессорами и докторами наук, составившими элиту гидрометеорологии.

Известно, что достижения вуза во многом зависят от ректоров, его возглавляющих. Первым директором ЛГМИ стал гидролог по специальности, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой водных исследований Виктор Иванович Полтавцев. Следующим ректором был Олег Александрович Алекин. Он возглавлял институт в 1964-1971 гг., будучи уже известным гидрохимиком, профессором, а впоследствии и членом-корреспондентом Академии наук СССР. В 1972-1980 гг. ЛГМИ возглавлял океанолог, доктор физико-математических наук, профессор Юрий Петрович Доронин. В 1980-1988 гг. институтом руководил океанолог и гидролог, доктор географических наук, профессор Николай Павлович Смирнов. В 1988 г. ректором ЛГМИ стал доктор физико-математических наук, профессор Лев Николаевич Карлин..... С каждым из них связаны выдающиеся достижения ЛГМИ-РГГМУ.

Свое 90-летие РГГМУ встречает полным сил и возможностей. Единственный в мире специализированный вуз по гидрометеорологии - источник квалифицированных кадров не только российской, но и международной гидрометеорологии. И этот престиж вузу дали многие поколения ректоров и преподавателей.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДООЧИСТКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Д.В. Фасолько, Е.М. Акентьева, М.В. Ключева, В.А. Задворных

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, г. Санкт-Петербург, Россия

ANALYSIS OF INFLUENCE OF OBSERVED CLIMATE CHANGE ON THE FUNCTIONING OF WATER DISPOSAL AND WATER TREATMENT SYSTEMS OF ST. PETERSBURG

D.V. Fasolko, E. M. Akentyeva, M. V. Klyueva, V.A. Zadvornyykh

Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

В докладе анализируются наблюдаемые изменения климата Санкт-Петербурга. Для этого были выбраны климатические индексы, которые оказывают наибольшее влияние на водные ресурсы и городские системы водоотведения.

The report analyzes the observed climate change for St. Petersburg. For this, we selected the main climatic parameters that influence water bodies and urban water disposal system.

С 1 января 2019 года стартовал проект приграничного сотрудничества между Россией и Финляндией «Повышение адаптационного потенциала при управлении городскими водными ресурсами» (RAINMAN). Он направлен на разработку адаптационных мер к текущим и будущим изменениям климата, которые влияют на систему управления водными ресурсами в городах Санкт-Петербург, Хельсинки, Миккели и Лахти.

В рамках этого проекта специалистами ФГБУ «ГГО» был проведен анализ наблюдаемых изменений климата для Санкт-Петербурга.

В ходе работы были выбраны основные климатические параметры, влияющие на водные объекты и системы водоотведения, и проанализированы их изменения. Они включают климатические показатели температуры, осадков, снежного покрова, ветра[1]. В докладе рассматриваются наиболее значимые изменения этих индексов.

Несмотря на то, что температура воздуха не является определяющим фактором, влияющим на состояние водных объектов, существует ряд параметров теплового режима, которые необходимо учитывать для обеспечения устойчивого функционирования систем водоотведения с учетом наблюдаемых изменений климата.

Прежде всего, температура воздуха оказывает влияние на водные ресурсы города в части поверхностных вод. Для гидрологического режима водных объектов в рассматриваемом районе большое значение имеют температуры воздуха в зимний период. Показателем суровости зимы является сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха.

На рис. 1 представлены суммы отрицательных среднесуточных температур воздуха за период с 1881 по 2017 гг. Очевидно, что на метеостанции Санкт-Петербург отмечается тенденция уменьшения этой суммы. За 137 лет общее уменьшение отрицательных сумм (в соответствии с трендом) составило 360°C.

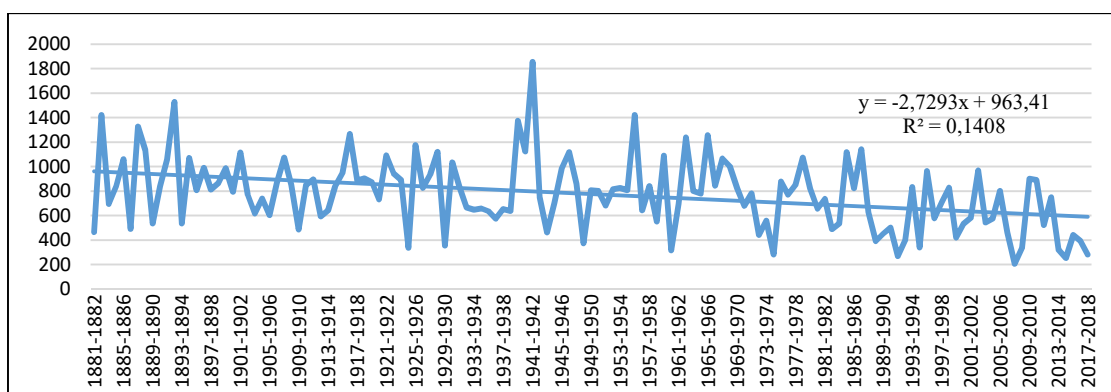


Рис 1. Суммы отрицательных среднесуточных температур воздуха (°C) по данным метеостанции Санкт-Петербург

Рост сумм отрицательных температур вызван как повышением зимних температур, так и уменьшением продолжительности периода с устойчивыми морозами. Продолжительность периода устойчивых морозов связана в основном с более ранним их прекращением весной. Соответственно, период с ледовыми явлениями на водных объектах также существенно сокращается. Ледообразование начинается значительно позже, а весенние процессы, такие как вскрытие льда на реках, происходят раньше.

Для оценки уровня грунтовых вод необходима информация об оттепелях и о переходах температуры через 0 °C. Эти характеристики влияют на процесс активного снеготаяния, что значительно увеличивает объемы поверхностного талого стока, а с улично-дорожной сети смываются противогололедные реагенты, впоследствии попадающие в системы очистки сточных вод.

По данным за 1891-2006 гг. в Санкт-Петербурге наблюдается в среднем 8-9 периодов оттепели в год. В декабре они наблюдаются почти ежегодно (97% лет), в январе и феврале — реже, но также часто (в 85% лет в январе и в 80% лет в феврале), в марте — ежегодно.

На рис. 2 приведен временной ход числа дней с оттепелью и с переходом температуры через 0 °C за период с 1966 по 2017 гг. Видно, что обе характеристики имеют тенденцию к уменьшению, что связано с сокращением периода с устойчивыми морозами, т.к. количество оттепелей за один только январь возрастает, согласно тренду, на 1 случай за 10 лет.

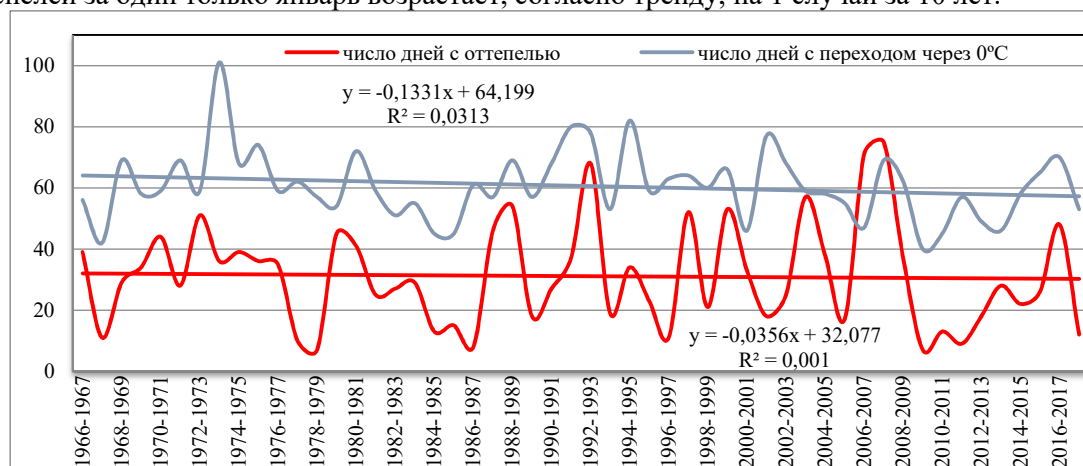


Рис. 2. Число дней с оттепелью и с переходом через 0 °C для метеостанции Санкт-Петербург

Снежный покров является важным фактором, воздействующим на функционирование систем водоснабжения, водоотведения и водоочистки.

Запасы воды в снеге и режим снеготаяния определяют объем и скорость поступления талых вод в системы водоотведения. Большие объемы талых вод затрудняют очистку воды, т.к. происходит разбавление стоков и резко понижается их температура. Эти процессы неблагоприятно отражаются на эффективности биологической очистки.

В период с 1966 года максимальная высота снежного покрова уменьшалась примерно на 3 см за 10 лет (рис. 3а). Максимальный запас воды в снеге уменьшался в этот период на 11 мм за 10 лет (рис. 3б). Однако значимость этих изменений невелика. Доля тренда в общей изменчивости этих характеристик не превышает 17%. Поэтому надо иметь в виду, что на фоне общего уменьшения снеготазпасов в отдельные годы по-прежнему весьма возможны их экстремальные значения.

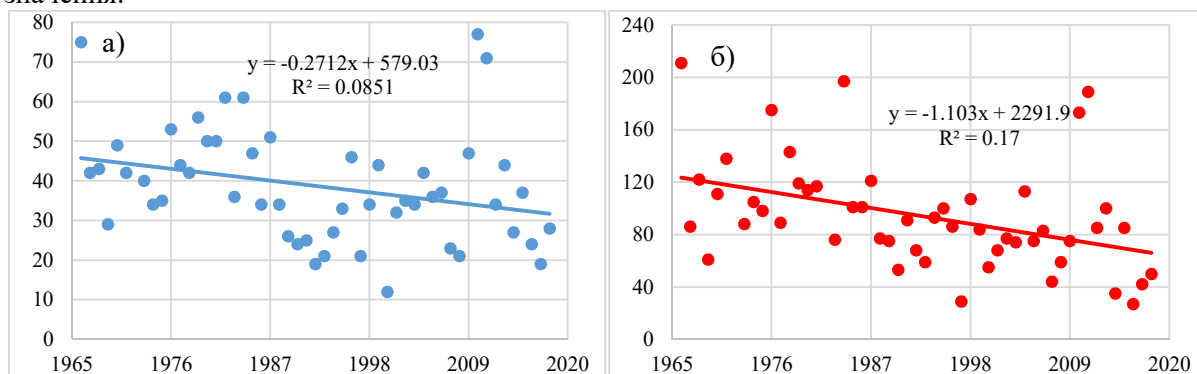


Рис. 3. Годовая изменчивость характеристик снежного покрова для метеостанции Санкт-Петербург: а) высота максимального снежного покрова, мм; б) максимальный запас воды в снеге, мм

Надо отметить, что уменьшение снеготазпасов происходит на фоне возрастания зимних осадков. Это объясняется тем, что из-за роста температуры воздуха в холодный период года увеличивается доля жидких и смешанных осадков. Это приводит к уменьшению максимальной высоты снежного покрова и максимальных снеготазпасов.

Режим увлажнения оказывает существенное влияние на системы водоотведения и в значительной степени определяет особенности управления водными ресурсами территории. От него зависит объем поверхностного стока, а следовательно, и объемы аккумулирующих емкостей, и мощность проектируемых очистных сооружений поверхностного стока.

Как видно на рис. 4, суммы осадков, как за теплый, так и за холодный период года, имеют тенденцию к увеличению. Наибольшую значимость имеет тренд суммы осадков в холодный период, когда доля трендовой составляющей в общей изменчивости достигает 44%. Однако если рассматривать ряд только за последние 50 лет (с 1966 г), то тренды становятся незначимыми.

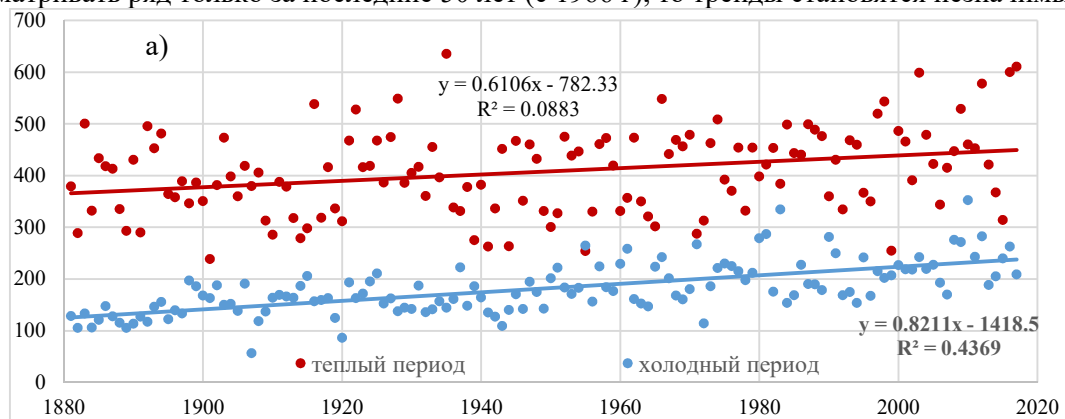


Рис. 4. Суммы осадков для теплового и холодного периодов по данным метеостанции Санкт-Петербург, мм

Анализ данных наблюдений за осадками показал, что с начала 21 века произошли изменения статистической структуры выпадения осадков - небольшой, в основном незначительный рост общего количества осадков сопровождается значимым увеличением доли ливней и сокращением вклада обложных дождей.

В последние годы в Санкт-Петербурге участились так называемые нерасчетные дожди, на которые не рассчитана городская система ливневой канализации. Существующая ливневая

канализация может принять без подтоплений до 7,2 мм осадков, выпавших за 20 минут. Во время нерасчетных дождей нагрузка на ливневую канализацию возрастает до трех раз. Такие дожди являются причиной подтопления территорий и выхода на поверхность сточных вод вследствие переполнения трубопроводов. В результате происходит ухудшение санитарного состояния подтапливаемых территорий.

На рис. 5а представлено распределение суточного максимума осадков, построенного по данным 34 осадкомеров PLUVIO за 2015-2019 гг. (полученных от ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»). В 2015 году было перекрыто значение многолетнего суточного максимума. Предыдущее значение составляло 76 мм, обновленный максимум составил 99 мм.

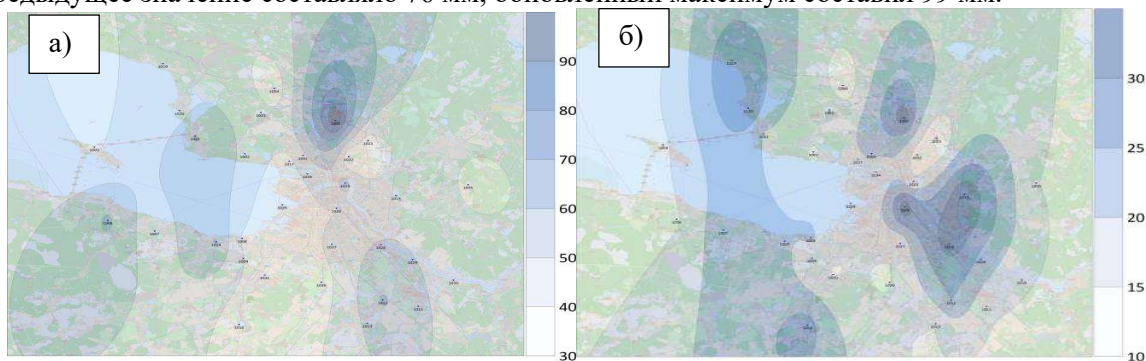


Рис. 5. Распределение осадков за 2015-2019 гг для г. Санкт-Петербург: а) Распределение суточного максимум осадков, мм; б) распределения максимальных сумм осадков, выпавших за 20 мин, мм

На рис. 5б представлена карта распределения максимальных сумм осадков, выпавших за 20 мин, построенная по данным осадкомеров PLUVIO за 2015-2019 гг. Распределение максимальных сумм осадков объясняется комплексным воздействием близкой водной поверхности, рельефа местности и городской среды. Городская застройка вызывает торможение воздушного потока и формирование восходящих потоков воздуха. Избыточный нагрев нижних слоев атмосферы над городом также способствует формированию восходящих потоков, что теоретически должно приводить к увеличению количества осадков. Кроме того, увеличение загрязнения атмосферы над территорией города приводит к росту количества ядер конденсации, что способствует образованию облаков. Однако, в процессе воздушного переноса, влияние этих факторов наиболее выражено в подветренной части города.

Таким образом, наблюдаемые изменения климата отрицательно влияют практически на все части системы управления водными ресурсами. Увеличение количества осадков и их интенсивности может привести к значительному увеличению нагрузки на дренажные системы и гидротехнические сооружения, вызывая затопление городских территорий. Наблюдаемая тенденция к увеличению суточной суммы осадков приводит к перегрузке мелиоративной системы. Наличие оттепелей зимой создают благоприятные предпосылки для фильтрации влаги в почву и питания наиболее динамичных водоносных горизонтов верховодки и верхних ярусов. Интенсивный сток верховодки в зимний период уменьшает количество влаги, фильтрующейся в грунтовые воды, и препятствует пополнению их запасов.

Литература

1. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики (2017). – СПб. 162 с.
2. Климат Санкт-Петербурга и его изменения (2010) . – СПб. 255 с.

ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ОКЕАНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

А.М. Федоров^{1,2}, Т.В. Белоненко¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

²Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, г. Санкт-Петербург, Россия

PATTERNS OF THE OCEAN EDDIES INTERACTIONS IN THE LOFOTEN BASIN OF THE NORWEGIAN SEA

A.M. Fedorov^{1,2}, T.V. Belonenko¹,

¹Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

²Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, Saint-Petersburg, Russia

Описываются особенности вихревой динамики Лофотенского бассейна Норвежского моря. Рассматривается ряд ситуаций взаимодействия по полям относительной, потенциальной завихренности, параметра Окубо-Вейса, а также результатов лагранжевого моделирования.

Features of the vortex interactions in the Lofoten basin of the Norwegian Sea are described. We consider several situations of the eddy interactions according to the spatial distributions of the potential and relative vorticity, Okubo-Weise parameter, as well as results of the lagrangian tracking of particles.

Динамика Лофотенской котловины, которая находится в центральной части Норвежского моря, выступает объектом изучения исследователей со всего мира. Главной особенностью является антициклонический Лофотенский вихрь (ЛВ), в полях температуры и солёности которого наблюдаются положительные аномалии [1]. Динамические особенности Лофотенской котловины представлены множеством мезомасштабных вихрей, которые образуются, либо зарождаются в самой котловине, либо являясь результатом бароклинной неустойчивости огибающих ее ветвей крупномасштабных течений, взаимодействуя друг с другом тем или иным способом.

Используемые данные:

- 1) Продукт GLORYS12V1 вихреразрешающий реанализ глобального океана с разрешением $1/12^\circ$ (около 8 км) на 50 горизонтах для периода, в который имеются альтиметрические наблюдения – 1993-2016. Вместо полей аномалий альтиметрического уровня использовались поля аномалий уровня реанализа.
- 2) Результаты лагранжевого трекинга частиц, были предоставлены Лабораторией нелинейных динамических систем Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН [2]. Анализируются 2 типа карт: длин траекторий частиц – S-карты (рис.2,а) и распределений вод в зависимости от происхождения – O-карты (рис.1).

Анализируются два типа мезомасштабных вихревых структур, для которых рассчитывается относительная завихренность и параметр Окубо-Вейса W [3]:

- 1) Вихри – замкнутые структуры с ненулевой относительной завихренностью; положительным значениям относительной завихренности соответствуют циклонические вихревые образования, отрицательным – антициклонические. В вихре значения параметра Окубо-Вейса $W < 0$.

2014–08–25

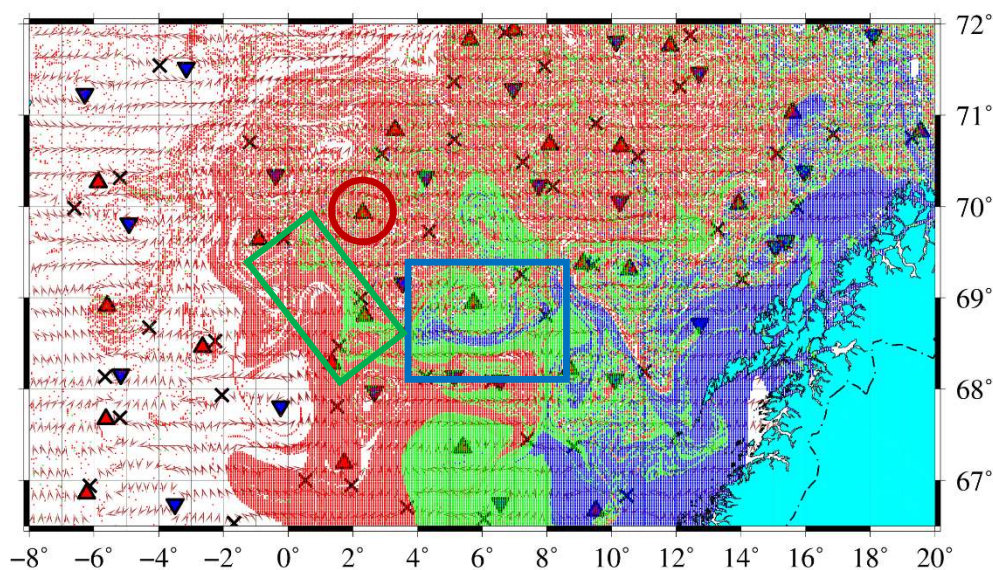


Рис.1. О-карта Лофотенской котловины: Красный цвет соответствует водам Norwegian frontal current, зеленые Norwegian current, а синие Norwegian coastal current. Зеленый прямоугольник показывает заток зеленых вод, а синий прямоугольник – синих (согласно рис.1), Красным кругом выделено положение квазипостоянного Лофотенского вихря. Зеленым треугольником показаны эллиптические точки циклонов, красным антициклонов.

Мезомасштабные вихри делятся на две группы, исходя из геометрического критерия: «симметричные» и «несимметричные» вихри.

1.1. К первой группе относятся вихри, для которых суммарная площадь областей, отклоняющейся от круга πR^2 , где R – радиус вихря, составляет не более 35% от площади круга [4].

1.2. Ко второй группе относятся вихревые структуры, где данное условие не выполняется. Из-за своей формы эти структуры неустойчивы и быстро диссипируют [5].

2) Вихревые нити или филаменты – области с ненулевой относительной завихренностью, например, области сдвиговых течений. Здесь параметр Окубо-Вейса W положителен. К филаментам относятся зоны сдвиговых течений, где присутствует ненулевая относительная завихренность, однако в формуле для W доминируют сдвиговые составляющие [6].

Результаты лагранжевого трекинга частиц (рис.1; рис.2,а) используются для наглядной демонстрации транспорта вод мезомасштабными вихрями из восточной части котловины в центральную, где расположен Лофотенский квазипостоянный вихрь. При этом воды переносятся не отдельным изолированным вихрем, а проходят через серию слияний и дипольных структур. Наиболее информативным трассером из стандартных океанических параметров является соленость, ее пониженные значения позволяют продемонстрировать транспорт прибрежных вод в центральную часть Лофотенского бассейна.

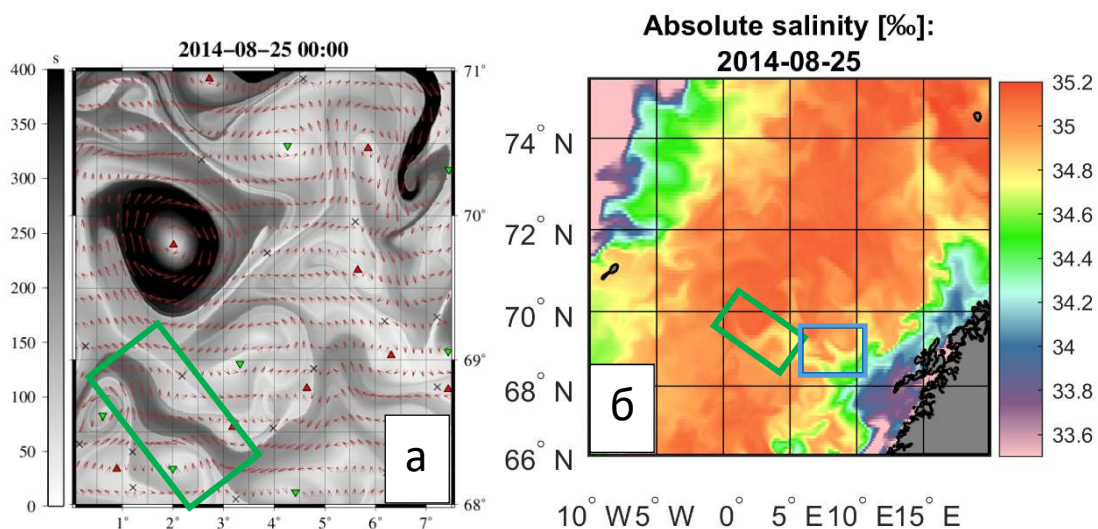


Рис.2. S-карта (а), карта длин траекторий, которое проходят частицы за 15 суток [км], зеленым треугольником показаны эллиптические точки циклонов, красным антициклонов. Пространственное распределение солёности [‰] (б), зеленый прямоугольник показывает заток зеленых вод, а синий прямоугольник – синих (согласно рис.1).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Благодарность за предоставленные данные М.В. Будянскому, М.Ю. Улейскому, С.В. Пранцу. Лаборатория нелинейных динамических систем Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН.

Литература:

1. Белоненко Т.В., Колдунов А.В., Сентябов Е.В., Карсаков А.Л. Термохалинная структура Лофотенского вихря Норвежского моря на основе экспедиционных исследований и по данным гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 63. №4. 2018. С. 502-519
2. Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю. Порядок в хаосе океанских течений. // Природа. №3. 2013. с.3-13.
3. Isern-Fontanet J., Font J., García-Ladona E., Emelianov M., Millot C., Taupier-Letage T. Spatial structure of anticyclonic eddies in the Algerian basin (Mediterranean Sea) analyzed using the Okubo–Weiss parameter // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. Vol. 51. № 25–26. 2004. P. 3009-3028. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.09.013>.
4. Kurian J., Colas F., Capet X., McWilliams J.C., Chelton D.B. Eddy properties in the California current system // Journal of Geophysical Research: Oceans. V. 116. 2011. P. C08027. doi:[10.1029/2010JC006895](https://doi.org/10.1029/2010JC006895).
5. Schecter, D. A., Montgomery, M. T. On the symmetrization rate of an intense geophysical vortex. // Dynamics of Atmospheres and Oceans. V. 37. I. 1. 2003. P. 55-88. doi:10.1016/S0377-0265(03)00015-0.
6. Белоненко Т.В., Шоленинова П.В. Об идентификации синоптических вихрей по спутниковым данным на примере акватории северо-западной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 13. № 5. 2016.С. 79-90

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСБОР- ВОДОЕМ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО МОРЯ И ВОДОСБОРА

Н.Н.Филатов - ИВПС КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

В.В.Меншуткин- Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

Filatov N.N. – Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, Russia,

Menshutkin V.V.- Institute of Regional Economics RAS,,St. Petersburg, Russia

e-mail: nfilatov@rambler.ru, menshutkina.n@gmail.com

В докладе представлена разработка когнитивной модели оптимального управления системой море -водосбор на примере Белого моря и водосбора (Беломорья). Модель включает параметры, характеризующие климат, водные и наземные системы моря и водосбора, экономику, рыболовство, сельское хозяйство, минеральные ресурсы, а также население. С использованием когнитивного моделирования исследуются только качественные изменения, происходящие в системе при разном комплексе условий. Критерием оптимизации служит уровень жизни населения региона. Рассматривались сценарии различных климатических условий, уровня инвестиций в производственные фонды, особенности очистки промышленных и бытовых стоков, развитие сельского хозяйства и рыболовства. С помощью когнитивной модели были выполнены 10 экспериментов с разными сценариями. Для каждого сценария определены режимы управления, обеспечивающие наиболее высокий уровень жизни населения. Наивысший уровень жизни населения достигается при сценарии, который характеризуется благоприятными климатическими условиями (потеплением выше климатической нормы 1960-1990 гг.), достаточным наличием минеральных ресурсов и инвестиций. Максимальный уровень развития сельского хозяйства может нанести ущерб окружающей среде. Разработанная когнитивная модель как средство стратегического планирования выполнена на качественном уровне.

A cognitive model is developed for the optimal management of system of the water-watershed system on the example of the White Sea. The model includes parameters characterizing climate, water and land systems of the sea and watershed, economics, fisheries, agriculture, mineral resources, and also the population. Qualitative changes that occur in the system under a different set of conditions are studied using cognitive modeling. The criterion for optimization is the living standards of the population of the region. Scenarios of various climatic conditions, the level of investment in production assets, especially the treatment of industrial and domestic wastes, the development of agriculture and fisheries were considered. It was realized 10 experiments with different scenarios were performed using the cognitive model. The regimes of management are defined that provide the highest standard of living for the population for each scenario. The highest living standard of the population is achieved under the scenario, which is characterized by favorable climatic conditions (warming above the climatic norm of 1960-1990), sufficient availability of mineral resources and high level of investments. The maximum level of agricultural development is possible, but to the detriment of preserving the environment. The developed cognitive model as a means of strategic planning is executed at a qualitative level.

Введение

Предлагаемая модель представляет собой развитие когнитивных моделей эколого-экономических моделей [1,2] и рассматривается на примере Белого моря и его водосбора (Беломорье). Модель имеет иерархическую структуру, включающую в себя пять подмоделей, объединенных общей системой управления (рис.1). Подмодель **экономика** предназначена для определения валового регионального продукта или ВРП (обозначим как Y) и связанного с ним процесса очистки сточных вод ($POLL$). ВРП расходуется на изменение уровня жизни населения (LEV_LIFE) и оказывает воздействие на сопряженные подсистемы – рыболовство ($FISH$), внесение удобрений ($FERT$) и внутренние нужды, такие как затраты на развитие производственных фондов (K).

Подмодель **демография** обеспечивает подмодель экономики сведениями о наличии трудоспособного населения ($L - POP2$) в возрасте от 18 до 60 лет. В этой подмодели осуществляется определение уровня жизни населения (LEV_LIFE), величина которого является целевой функцией оптимального управления всей системой. Прототипом подмодели демографии послужила модель развития мегаполиса [3] с изменениями, направленными на создание возможности стыковки с другими подмоделями системы. Как и в подмодели экономики, временной шаг модели принят равным одному году.

Подмодель **водные экосистемы** ответственна за имитацию процессов продуцирования органического вещества и его передачу по трофической сети водоема до биомассы популяции промысловой рыбы в море. Для Белого моря ограничимся сельдью и навагой. Популяции этих рыб под воздействием рыболовства ($FISH$) обеспечивает получение основного вылова ($YIELD$), который является компонентом питания населения ($FOOD$). Состояние водных экосистем зависит от изменений климата ($CLIMAT$) и загрязнения промышленными и бытовыми отходами ($POLL$). Качество воды (WAT_QW) существенно влияет на уровень жизни населения (LEV_LIFE).

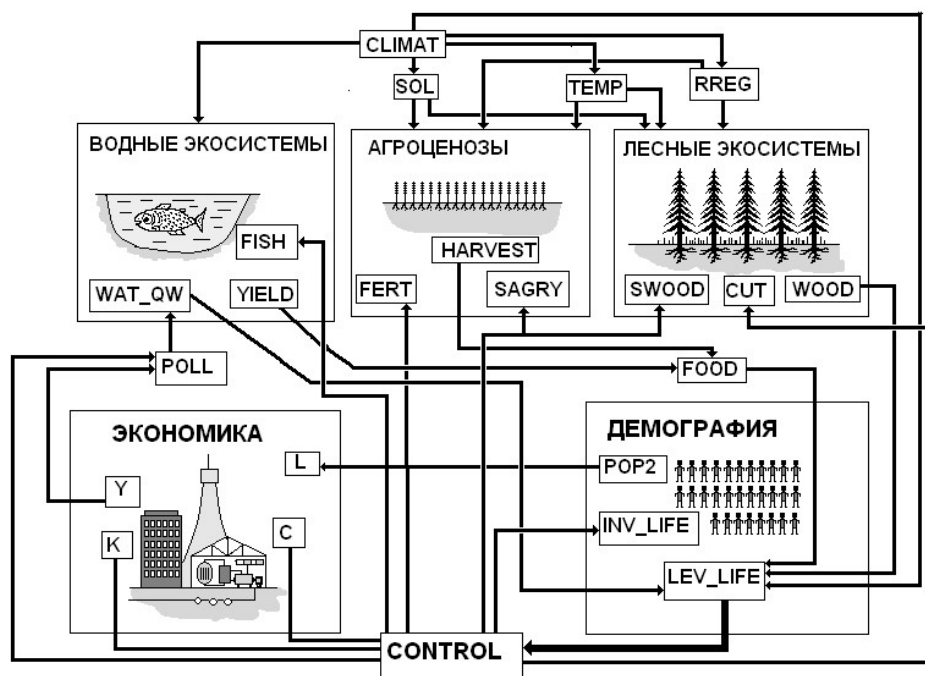


Рис.1. Общая блок-схема эколого-социо-экономической модели региона. Условные обозначения приведены в тексте

Подмодель **агроценозы** формирует сведения о сельскохозяйственной деятельности в регионе, в частности, величину урожая (HARVEST). Состояние агросистем также как и лесных экосистем определяется климатом (солнечной радиацией SOL), температурой воздуха TEMP и осадками RREG). Существенной характеристикой подмоделей в блоке агроценозы является величина площади, занимаемых сельскохозяйственными угодьями (SAGRY), которая находится в конкурентных отношениях с площадями занятых лесами и населенными пунктами региона.

Подмодель **лесные экосистемы** отвечает за информацию о реакции лесов на изменения климатических условий (SOL, TEMP и RREG), интенсивность вырубki (CUT), загрязнении окружающей среды (POLL) и сокращении территории, занимаемой лесами, под влиянием развития сельского хозяйства и расширения площади урбанизированных территорий (SWOOD).

Блок управления всей системой (CONTROL) направлен в настоящем случае на повышение уровня жизни населения (LEV_LIFE) путем инвестиций в промышленность, сельское лесное хозяйство, рыболовство и рыбозаводство, ина природоохранные мероприятия.

Подмодель экономики. Прототипом подмодели экономики выбрана модель Солоу-Свана ([Solow-Swan](#)) [4]. При этом используется вариант с дискретным временем, а моделирующий алгоритм выполнен в виде когнитивной модели.

Переменными подмодели, определенными как действительные числа в диапазоне от 0 до 1, являются: Y - валовой региональный продукт, A - уровень технического прогресса, K - капитал или производственные фонды, L - численность работоспособного населения, N - общая численность населения, INV - инвестиции, C – потребление. TT – шкала времени.

Численность населения в момент времени $t+1$ определяется исходя из его численности в предыдущий момент t и коэффициентом v_i по соотношению логистического роста. Рабочая сила или численность работоспособного населения и полной занятости рассчитывается как доля от общей численности. Уровень технического прогресса полагается возрастающим в зависимости от коэффициента технического прогресса. Производственная функция, которая представляет зависимость произведенного продукта (Y) от производственных фондов (K), рабочей силы (L) и уровня технического прогресса (A) определялась по формуле Кобба-Дугласа.

Величина производственных фондов, в следующий момент времени, увеличивалась за счет инвестиций (INV), носокращалась за счет амортизации (коэффициент nu). Рост скорости амортизации производственных фондов(nu) ведет к сокращению продукции. Пример функционирования подмодели экономики при постоянных внешних воздействиях, при численности населения и уровня технического прогресса и при падении численности населения и уровня технического прогресса в момент $t=50$ лет.

Количественная оценка уровня жизни населения (LEV_LIFE) представляется весьма трудной задачей [5]. Уровень жизни населения снижается при высокой численности населения и при низких инвестициях в регион, а также низкое качество воды. И наоборот, нетронутая природа, хороший климат (для Севера под «хорошим»будем считать его современное потепление) повышают величину LEV_LIFE.

Следуя принципу возможного упрощения, водная экосистема представлена в подмодели популяцией промысловой рыбы, состоящей из 6 возрастных групп, и величин, характеризующих биомассу фито-, зоопланктона, и бентоса. Важность включения рыб в модель обусловлена тем, что рыболовство влияет значительно на условия проживания населения Беломорья. В основу подмодели положены модели, разработанные для более сложных объектов, в которых учитывались принципы сохранения вещества и энергии, например для Ладожского озера и Финского залива [3]. Первичная продукция фитопланктона (phyto) полагается зависящей от солнечной радиации, представленной в полной модели переменной CLIMAT, и концентрацией

биогеов (phos) с имитацией закона Либиха при помощи операции конъюнкции в вероятностной логике. Биомассы зоопланктона (zoo) и бентоса (benthos), как кормовой базы промысловой рыбы, определяются как звенья трофической цепи, причем полагается, что развитие бентоса подвержено негативному влиянию ухудшения качества воды (wat_qw).

Заключение. Когнитивное моделирование обладает специфическими чертами, которые необходимо учитывать как при создании моделей, так и при оценке получаемых результатов. В отличие от традиционных моделей [3, 6], когнитивные модели не используют принципы сохранения. Это относится не только к законам сохранения вещества и энергии в моделях водных и почвенных сред или биологических объектов, но и в экономике. Это, естественно, обедняет возможности когнитивного моделирования, хотя позволяет рассматривать как единое целое соединение объектов различной природы, как это сделано в настоящей работе.

Работа выполняется в рамках Госзадания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН и Института региональной экономики РАН (AAAA-A19-119-021390164-1).

Литература

1. Меншуткин В.В., Минина Т.Р. Когнитивное моделирование как аппарат исследования эколого-экономических систем. // Региональная экономика и развитие территорий. Сб. научных статей ИПРЭ РАН. СПб. 2018. 1(12). ISBN 978-5-8088-1284-0. с.157 -163
2. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н., Дружинин П.В. Состояние и прогнозирование социо-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования // Арктика: экология и экономика. 2018 -№2(30). ISBN 2223-4594. DOI 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17/ С.4 -17.
3. Меншуткин В.В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск. 2010. 410 с.
4. Курзенев В.Т., Матвеев В.Д. Экономический рост. СПб. Питер. 2018. 608 с.
5. Гузинаров М.Б., Ильясов Б.Г., Вакиева Е.Ш., Герасимова И.Б. Когнитивная модель формирования показателя уровня жизни // Вестник УГАТУ . 2013 т.17, №2(53), с.216-226.
6. Ross D. Economic Theory and Cognitive Science: Microexplanation. [A Bradford Book](#). MIT Press. 2019. [454](#) p.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

К.В. Фокина¹, К.Ю. Булгаков²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

NUMERICAL MODELLING OF BREEZE CIRCULATION

K.V. Fokina¹, K.Yu. Bulgakov²

¹Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

²Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Приводится описание разработанной двумерной негидростатической модели бризовой циркуляции, описываемой уравнениями, записанными в терминах вихря и функции тока. Представлены результаты численных экспериментов.

The description of the developed two-dimensional non-hydrostatic model of breeze circulation, governed by the equations written in terms of vorticity and stream function, is provided. The results of numerical experiments are presented.

Введение

Учет бризовой циркуляции, возникающей в результате термического контраста между сушей и морем, является практически важным для изучения различных задач, актуальных для атмосферы прибрежных зон. Среди таких задач можно отметить расчет переноса загрязняющих примесей и увлажнения воздуха в крупных приморских районах, а также влияние бризов на хозяйственную деятельность человека.

В настоящее время изучение бризовой циркуляции сводится в основном к использованию доступных численных моделей, таких как WRF или MM5, которые позволяют получить информацию о бризах в различных географических районах [1]. Число разработанных непосредственно для бризовой циркуляции двумерных и трехмерных моделей относительно невелико [2].

В данной работе приводится описание разработанной двумерной модели бризовой циркуляции. Уравнения, составляющие определяющую систему уравнений, записаны в терминах вихря и функции тока, что не было отмечено в ранее проведенных работах по изучению бризовой циркуляции. Целью проведенного моделирования стало показать возможность применения в модели предложенного подхода и рассмотрение особенностей развития циркуляции в течение суток с различными температурными контрастами между поверхностями суши и моря.

Описание численной модели

Моделирование бризовой циркуляции выполняется путем численного решения негидростатических уравнений, записанных для несжимаемой атмосферы, и применяется к прямой береговой линии.

Определяющую систему составляют следующие эволюционные уравнения:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = \frac{1}{\rho^2} J(P, \rho) - J(\Omega, \Psi) + F_{\text{турб}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = -J(\Theta, \Psi) + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \Theta}{\partial z}, \quad (2)$$

где Ω — вихрь скорости; Ψ — функция тока; Θ — потенциальная температура воздуха; $F_{\text{турб}}$ — турбулентное трение вихря скорости.

$J(P, \rho)$ — Якобиан, описывающий бароклинность; $J(\Omega, \Psi)$ — Якобиан, описывающий адвекцию вихря; $J(\Theta, \Psi)$ — Якобиан, описывающий адвекцию потенциальной температуры.

Для расчета атмосферного давления используется уравнение движения для вертикальной компоненты скорости:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + J(w, \Psi) + g \right). \quad (3)$$

Система также дополняется диагностическими уравнениями: уравнение состояния, уравнение Пуассона для потенциальной температуры и определение вихря через функцию тока

$$P = \rho R T, \quad (4)$$

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}}, \quad (5)$$

$$\nabla^2 \Psi = \Omega. \quad (6)$$

Горизонтальная и вертикальная компоненты скорости определялись из соотношений, определяющих функцию тока:

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial z}, \quad (7)$$

$$w = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}. \quad (8)$$

Размер области интегрирования составляет 25×2 км с шагом сетки $\Delta x = 100$ м и $\Delta z = 30$ м. Шаг по времени определяется из условия Куранта—Фридрихса—Леви, что позволяет достигать наиболее оптимальной скорости вычислений.

В начальный момент времени температура поверхности суши и моря считается одинаковой, затем, температура поверхности суши меняется в течение суток путем изменения амплитуды турбулентного потока тепла.

Дифференциальные уравнения решались методом конечных разностей. Для построения конечных разностей по времени используются две трехуровневые схемы второго порядка точности – центральных разностей и Адамса—Бэшфорта. К эволюционным уравнениям применяется метод расщепления по физическим процессам, предложенный Марчуком [3]. Для решения уравнения (4) использовался метод верхней релаксации. Процессы, связанные с турбулентностью, учитываются в модели посредством параметризации.

Результаты численных экспериментов

На основе разработанной модели было проведено три эксперимента, где разность температур между поверхностью суши и моря составляла 5, 10 и 15°C соответственно.

Развитие пространственно-временной структуры бриза для первого эксперимента представлено замкнутыми контурами функции тока в различные моменты времени на рисунке 1.

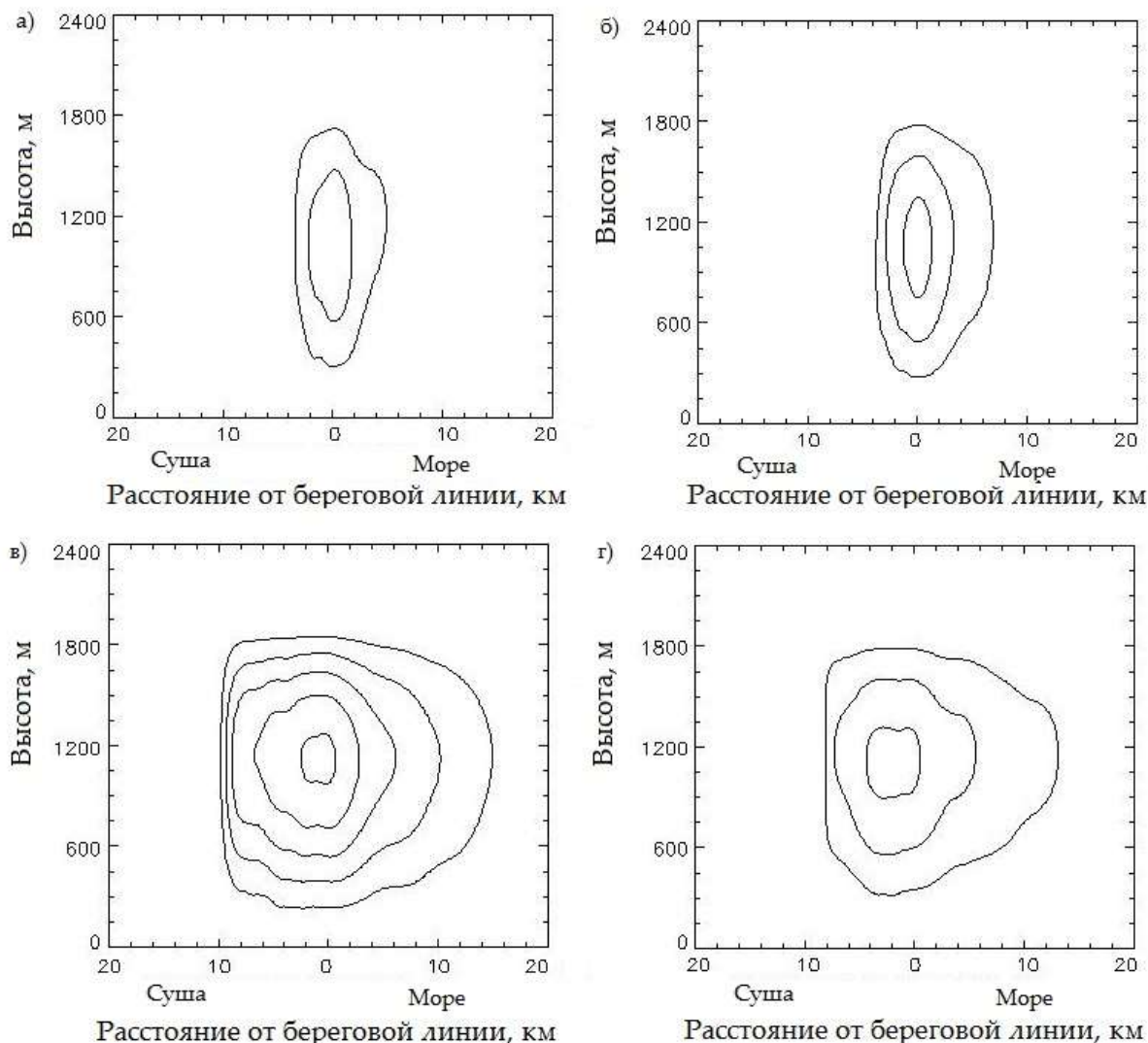


Рис. 1. Эволюция бризовой циркуляции при максимальной разнице между температурой поверхности суши и моря 5°C через 2 ч (а), 4 ч (б), 7 ч (в), 10 ч (г) после начала вычислений. Последовательность иллюстраций описывает развитие морского (дневного) бриза в течение суток с момента зарождения (2–3 часа после начала вычислений) и до его затухания (12–13 часов после начала вычислений). Отмечается, что в стадии зарождения бризовая циркуляция локализована непосредственно вблизи береговой линии. Затем, за последующие 2–3 часа она распространяется как в сторону суши, так и в сторону моря на расстояние около 2–4 км.

Как следует из рисунка, спустя 7–8 часов вычислений система достигает максимального развития, что выражено в ее горизонтальном и вертикальном масштабах, а также в значениях бризовых скоростей. Так, максимальное расстояние, на которое распространилась циркуляция в сторону суши для рассматриваемого эксперимента, составило около 10 км, а скорость ветра при этом составила 7–8 м/с. Далее наблюдалось постепенное затухание циркуляции с ее последующим переходом в ночной бриз.

Анализ поля ветра позволил сделать вывод о том, что вертикальная структура циркуляции состоит из прямой и обратной ячейки, последняя проявляется менее отчетливо по вертикали, что согласуется с известными представлениями.

В таблице 1 представлены рассчитанные в ходе экспериментов значения средних бризовых скоростей для всех случаев в течение суток. Также по полученным иллюстрациям развития циркуляции были оценены приблизительные расстояния, на которые бриз проникал вглубь суши.

Таблица 1. Значения характеристик бризовой циркуляции в разные моменты времени, полученные на основе численных экспериментов.

Время после начала вычислений, ч	Н — расстояние, на которое распространилась циркуляция вглубь материка, км			V — модуль средней скорости ветра, м/с		
	Номер эксперимента			Номер эксперимента		
	1	2	3	1	2	3
2	2—4	4—6	3—5	2—3	1—2	4—5
5	10—12	15—17	18—20	4—5	6—7	8—9
8	10—12	17—19	20—22	3—4	4—5	5—6
11	5—7	11—13	11—13	1—2	1—2	2—3
14	4—6	5—7	3—5	1—2	1—2	1—2
17	—	—	—	1—2	1—2	1—2

Стоит отметить, что в целом система имела схожую тенденцию развития для всех рассматриваемых случаев. Значения бризовых скоростей вместе со значениями горизонтальных и вертикальных масштабов имеют линейную зависимость от термически вызванного возмущения.

Выводы

В результате численного моделирования с высоким пространственным и временным разрешением были достаточно достоверно воспроизведены основные характерные черты развития бризовой циркуляции, которые свойственны ранее полученным представлениям о феномене. Это делает возможным использование подхода к системе уравнений, предложенного в работе. Показана зависимость масштабов циркуляции от значений прогрева подстилающей поверхности, определены бризовые скорости.

Результаты исследований, выполнены в рамках государственной программы № 0149–2019–0015.

Литература

1. Барабанов В.С. Влияние бризов на поле ветра в Черноморском регионе по данным массива ССМР // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : Сб. научн. тр. 2009. Вып. 19. С. 370—373.
2. Crosman E.T., Horel J. D. Sea and lake breezes: a review of numerical studies // Boundary-Layer Meteorology. 2010. V. 137. P.1—29.
3. Marchuk G.I., Splitting-up methods for solving non-stationary problems // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1995. № 35. P. 843—849.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ В МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЯХ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОСБОРА Р. МЕЗЕНЬ

И.В. Соломонова¹, канд. техн. наук, А.В. Фролов¹, д-р техн. наук

¹Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

STATISTICAL INHOMOGENEITY IN THE LONG-TERM VARIATIONS OF THE WATER BALANCE OF DRAINAGE BASIN R. MEZEN

I.V. Solomonova, Cand.Sc., A.V. Frolov, Dr.Sc

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Рассматриваются вопросы неоднородности в многолетних колебаниях водного баланса р. Мезень. Показано, что возможны ситуации, когда при практически неизменном математическом ожидании имеют место значительные изменения дисперсий. Применение динамико-стохастической модели многолетнего стока р. Мезени позволило получить оценки дисперсии испарения с водосбора этой реки, отвечающих дисперсиям стока и осадков.

The problems of heterogeneity in long-term fluctuations of the river runoff are considered. It is shown that situations are possible when with practically unchanged mathematical expectation significant changes in variances take place. Application of the dynamic stochastic model of long-term runoff of the river Mezen made it possible to obtain estimates of the variance of evaporation from the catchment of this river, corresponding to the variance of runoff and precipitation.

Введение

Проведенные нами ранее исследования показали, что в многолетних колебаниях стока рек Европы, России, Северной Америки и Австралии существуют относительно длительные интервалы времени (в основном 50 и более лет), характеризующиеся существенным различием дисперсий (на 30-60%) между ними [1–4]. В некоторых случаях различается и автокорреляция. Особенностью выявленной неоднородности оказалось практическая неизменность средних величин стока для рассмотренных интервалов. Таким образом, ряды наблюдений стока рек оказались неоднородными по вторым моментам (дисперсии, коэффициенту автокорреляции), но однородными по средним значениям. Описанная ситуация, когда на первый взгляд не происходит никаких изменений стока реки (среднее не меняется), может создавать проблемы, например, связанные с наводнениями, или, наоборот, с дефицитом воды. Возможно, что такое поведение многолетнего стока некоторых рек обусловлено наблюдаемыми изменениями климата. Тогда эти изменения должны сказаться (тем или иным образом) на всех компонентах водного баланса рек. Поэтому, для получения более полной картины реакции многолетних колебаний речного стока на климатические изменения в речном бассейне необходимо проведение анализа, помимо собственно стока, основных стокоформирующих факторов (осадков, испарения, температуры воздуха). Что было и сделано в бассейне реки Мезень.

Материалы и методы

Сток Мезени не зарегулирован, изъятия из стока незначительны, поэтому режим стока этой реки можно считать практически не искаженным прямым техногенным воздействием.

Проанализированы многолетние ряды годовых величин речного стока Мезени (Малонисогорская, 1921–1999 гг.), а также ряды годовых слоев осадков и испарения в её бассейне. Характеристики многолетних изменений среднегодовой температуры воздуха, усредненные по бассейну р. Сев. Двина (примыкающий бассейн к бассейну р. Мезень), были приняты как оценки для соответствующих процессов в бассейне р. Мезень.

Климат по определению [5] – это статистический ансамбль состояний, проходимых климатической системой за достаточно длительные промежутки времени. Неоднородности соответствующих рядов наблюдений могут проявляться вследствие реакции стока на изменения климата на водосборе. Для выявления таких зависимостей требуются достаточно длительные интервалы времени, необходимые для получения относительно надежных оценок статистических характеристик исследуемых процессов. Всемирная метеорологическая организация в качестве периодов, характеризующихся относительной стационарностью климатических условий, рекомендует использовать не менее чем 30-летние интервалы. Для большей надежности оценок моментов распределения рассматриваемых процессов, ряды наблюдений были разделены на две примерно равные части. В данном случае на 39 (1921–1959 гг.) и 40 (1960–1999 гг.) лет. Для этих интервалов получены средние значения, дисперсии и коэффициенты автокорреляции.

Для нахождения оценок статистических характеристик испарения с бассейна был применен метод, основанный на использовании динамико-стохастической модели стока [6, 7]. В рамках этой модели, речной сток рассматривается как выходной процесс гидрологической системы. Входными процессами являются годовые осадки и испарение, усредненные по территории речного бассейна.

Результаты

В многолетних колебаниях стока реки Мезень и осадков в ее бассейне были обнаружены два относительно длительных интервала времени (1921–1959 гг. и 1960–1999 гг.), характеризующиеся существенным различием по вторым моментам – дисперсии и автокорреляции. Дисперсия в рядах стока уменьшается в 1.8 раз (4749 и 2647 мм/год соответственно). В рядах осадков – в 2 раза (5838 и 2901 мм/год). Особенностью выявленной неоднородности оказалось практическая неизменность средних величин стока и осадков для интервалов 1921–1959 гг. и 1960–1999 гг.: 365 и 369 мм/год, 550 и 571 мм/год соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Статистические характеристики процессов на водосборе р. Мезень

Характеристика Процесс	Среднее		Дисперсия		Коэффициент автокорреляции	
	Интервал		Интервал		Интервал	
	I	II	I	II	I	II
Осадки, мм/год	550	571	5838	2901	0.12	-0.18

Сток, мм/год	365	369	4749	2647	0.31	-0.17
Испарение ^{*)} , мм/год	185	212	3660	3064	0.11	-0.44
Температура, °С	1.0	1.2	1.3	1.6	0.15	0.18

Обозначения: I – интервал 1921–1959 гг.; II – интервал 1960–1999 гг.; ^{*)}по динамико-стохастической модели [7]

Таким образом, можно констатировать, что ряды стока и осадков в бассейне реки Мезень являются однородными по математическому ожиданию и *не однородными* по дисперсии. Обращает на себя внимание и смена знака коэффициента автокорреляции (от одного интервала времени к другому) в рядах стока (0.31 и -0.17) и в рядах осадков (0.12 и -0.18) (табл. 1).

Применение динамико-стохастической модели многолетних колебаний стока [6, 7] Мезени показало соответствие изменений статистических характеристик стока и осадков, что позволило оценить изменения соответствующих характеристик испарения с водосбора. Средние величины осадков и стока для указанных интервалов времени отличаются незначительно. Изменение значений осадков от одного интервала к другому составляет 21 мм/год, стока – 4 мм/год. Однако средние величины испарения, вычисленные как разность между осадками и стоком, различаются сильнее – на 30 мм/год (182 и 212 мм/год для I и II интервалов соответственно) (табл. 1). Это различие находит некоторое подтверждение и в увеличении от I ко II интервалу среднегодовой температуры воздуха – от 1.0 °С до 1.2 °С, что должно было способствовать увеличению испарения. Таким образом, есть основания предположить, что, помимо влияния осадков на изменения статистических характеристик стока Мезени повлияло и изменение режима колебаний испарения. Так же, как и в рядах осадков и стока, в рядах испарения происходит смена знака коэффициента автокорреляции от одного интервала времени к другому, с 0.11 на -0.44.

Следует отметить, что исследования многолетних рядов стока, осадков, испарения и температуры воздуха для ближайших бассейнов к Мезени рек (по такой же методике) – С.Двины и Пинеги – показали похожие результаты. Т.е. в водном балансе этих рек прослеживается такая же закономерность, что и на Мезени – неизменность среднего от одного интервала к другому и существенное изменение дисперсии процесса. Отличаются только интервалы, когда зафиксированы изменения. Для С.Двины – 1891–1949 гг. и 1950–2008 гг., для Пинеги – 1915–1957 гг. и 1958–1999 гг.

Проведенные нами ранее исследования [2] многолетнего стока рек Европы, России, Северной Америки и Австралии показали, что в выявленных случаях изменения дисперсии при неизменном среднем (29 случаев из 64), от одного интервала к другому, она меняется не одинаково. Во всех этих случаях дисперсия стока рек Северной Америки, Австралии и Европы увеличивалась во втором интервале времени (за исключением четырех рек), в то время как дисперсия стока рек России вела себя противоположным образом, т. е. уменьшалась.

Изменение дисперсии от одного интервала к другому и смена знака коэффициента автокорреляции, говорит о том, что в режиме процесса происходят серьезные изменения (перестройка), возможно, климатического характера. Действительно, по рядам стока и осадков в бассейне рек (см., например, р. С.Двина [4], рис. 2) видно, что примерно в 50-е–60-е гг. прошлого столетия произошел «перелом», изменился «вид» графиков. Колебания стали больше тяготеть к среднему, без резких сильных изменений, каковые наблюдались ранее.

Изменения стока рек, атмосферных осадков, температуры воздуха, которые начали проявляться с 50-х–60-х годов XX в., многими авторами также связываются с климатическими изменениями: перестройкой атмосферной циркуляции; с изменениями в основных океанских течениях, например, Эль-Ниньо; общим количеством облачности (см., например, [8–11] и др.). По данным [12] происходят изменения характера общей циркуляции атмосферы, изменяются и границы циркуляционных эпох в секторах полушарий: 1899–1915 гг. эпоха блокирующих процессов, 1916–1956 гг. зональная эпоха, 1957 г. настоящее время – эпоха выходов циклонов из низких широт в высокие.

Выводы

Таким образом, выявленные изменения режима многолетних колебаний стока, осадков и испарения в бассейне р.Мезень, а именно, нестационарность по вторым моментам – дисперсии и коэффициенту автокорреляции, вероятнее всего связаны с перестройкой общей циркуляции атмосферы и мы имеем дело с долгосрочной (климатической) тенденцией в бассейне реки. Но с другой стороны, не во всех компонентах стокоформирующих факторов (например, одного из основного индикатора изменения климата – температуре воздуха) наблюдаются описанные выше изменения. Возможно, данную ситуацию можно трактовать не как следствие изменения климата в бассейне, а как проявление неких неоднородностей – разнонаправленных изменений климатических характеристик гидрометеопроцессов в течение достаточно длительных интервалов времени – в стоковых и др. рядах на определенных интервалах времени. Поэтому, для диагностики изменений водного режима рек в новых климатических условиях, необходимо выявление неоднородностей не только по средним значениям, но и по дисперсии, коэффициенту автокорреляции. Данный подход дает возможность получить более подробное представление о реакции многолетних колебаний речного стока на климатические изменения в речном бассейне. Для более точного ответа на эти вопросы требуется проведение дальнейших исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ФНИ гос. академий наук, тема № 0147-2018-0001 (№ гос. регистрации АААА-А18-118022090056-0)

Литература

1. Соломонова И.В., Фролов А.В. Неоднородности в многолетних колебаниях речного стока и основных гидроклиматических процессов в бассейне Северной Двины в условиях изменения климата // Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: Научно-технологические, 2018. С. 646-650.
2. Соломонова И.В. Статистические неоднородности в рядах годового стока рек // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: Химиздат, 2018. С. 594-597.
3. Фролов А.В., Соломонова И.В. Климатическая неоднородность в многолетних колебаниях водного баланса водосбора р. Северной Двины // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сборник научных трудов: посвящается Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН. Институт водных проблем Российской

- академии наук, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр. Новочеркасск: Лик, 2017. С.275-281.
4. Соломонова И.В., Фролов А.В. Статистические неоднородности в водном балансе крупных рек Архангельской области // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы II Всероссийской научно-практической конференции приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования Иркутского государственного университета. [Электронный ресурс]. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2019 г. С. 241-248.
 5. Монин А.С., Берестов А.А. Новое о климате // Вестник РАН. 2005. Т. 75, № 2. С. 126-138.
 6. Фролов А.В. Дискретная динамико-стохастическая модель многолетних колебаний речного стока // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 5. С.538-547.
 7. Фролов А.В. Оценка статистических характеристик многолетних колебаний испарения с крупных речных водосборов // Доклады академии наук. 2014. Т. 458, № 3. С.345-348.
 8. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Глава 2. Гидрологический режим и водные ресурсы. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. 34 с.
 9. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2014. 163 с.
 10. Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Анализ многолетних колебаний стока рек бассейна Северного ледовитого океана // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 6. С.645-652.
 11. Фролова Н.Л., Белякова П.А., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Зотов Л.В. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 3. С.243-255.
 12. Кононова Н.К. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899-2017 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 3. С. 108-123.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛНОВОДА ДЛЯ ВОЛН РОССБИ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ ТЕЧЕНИИ

А.В. Фролова¹, Т.В. Белоненко¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

DETECTION OF WAVEGUIDE FOR ROSSBY WAVES IN THE ANTARCTIC CIRCUMPOLAR CURRENT

A.V. Frolova¹, T.V. Belonenko¹

¹Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

На основе нового метода и данных спутниковой альтиметрии был определен и картирован волновод для волн Россби в Антарктическом Циркумпольном течении.

Based on the new method and satellite altimetry data, a waveguide for Rossby waves in the Antarctic Circumpolar Current was determined and mapped.

Введение

Океанические волны Россби представляют собой крупномасштабные волны Мирового океана. Волны Россби, проявляющиеся в океане в виде мезомасштабных (синоптических) вихрей, играют большую роль для описания крупномасштабной океанской циркуляции и глобальных климатических процессов на планете.

В области мощных струйных течений, таких как Антарктическое циркумпольное течение (АЦТ), линейная теория описания этих волн не работает, в частности, нарушается свойство перемещения волн Россби на запад. Поэтому для АЦТ волны Россби следует считать нелинейными в длинноволновом приближении [1]. На сегодняшний день еще не создана теория, описывающей распространение волн Россби в реальных условиях Южного океана, учитывающая топографию и изменчивость АЦТ [2].

Однако существование таких волн в Южном океане с их характерными мезомасштабными неоднородностями, перемещающимися на восток вместе с потоком, подтверждается спутниковой альтиметрией и анализом пространственно-временных диаграмм. На их основе можно оценить фазовые скорости волн Россби [3]. Данные подтверждают, что в районе АЦТ образуется волновод – область, где волны захватываются течением.

Основная идея определения местоположения волновода основана именно на таких оценках. Мы используем альтиметрические карты и анализируем скорости волн на разных широтах в районе АЦТ. Волны Россби в океане распространяются на запад с отрицательными скоростями, а их значения уменьшаются к полюсу. В какой-то момент они превращаются в ноль, и значения скоростей впоследствии становятся положительными. Это означает, что волны изменяют направление в этой точке, что указывает на границу волновода. Мы определяем широту, где скорость равна нулю, как северную границу волновода волн Россби. Направление скорости внутри волновода изменчиво и может быть как положительным, так и отрицательным. Южная граница волновода в АСС определяется аналогично.

Используемые данные и методы

В работе использовались альтиметрические спутниковые данные, предоставляемые Aviso+ (<http://www.aviso.altimetry.fr>). Пространственное разрешение данных составляет 0,25° широты и

долготы, временная дискретность – 7 суток, пространственное разрешение 7 км x 7 км. Данные представлены трехмерными массивами в формате NetCDF, полученными путем комбинирования данных со всех альтиметрических миссий в период с 1993 г. по настоящее время, включая спутники серии TOPEX/Poseidon (1993-2002), Jason-1 (2002-2008) и OSTM/Jason-2 (2008- настоящее время).

Для определения положения фронтов в Южном океане был использован массив данных, созданный на основе статьи Orsi et al. [4]. Определение фронтов проводилось на основе гидрологических станций в областях АЦТ и теоретических знаний о свойствах фронтов. В работе были выделены данные по расположению Полярного фронта, Субантарктического фронта, Субтропического фронта, Южного фронта АЦТ, южной границы АЦТ.

Метод Радона

Основой для обнаружения волн Россби в альтиметрических измерениях аномалий высоты является диаграмма Ховмёллера (изоплеты). Чтобы построить такую диаграмму берут данные аномалии уровня моря, где ось Y - долгота и ось X - время. На таких диаграммах отчетливо видны распространяющиеся на запад сигналы. Это области локальных максимумов и минимумов, движущиеся линейно справа налево при движении волн на запад. Скорость этих сигналов можно легко вычислить вручную, просто рассчитав тангенс угла наклона сигнала волны. Хотя такую процедуру легко выполнить вручную, но при вычислении скоростей распространения волн Россби для целых океанических бассейнов требуется более автоматизированный и объективный метод. Такой метод был введен австрийским математиком Иоганном Радонам в 1917 году. Преобразование Радона имеет множество различных применений: например, в медицине его используют в компьютерной рентгеновской томографии, также с его помощью производится обработка сейсмических данных для нахождения границ подземных пород. В спутниковом дистанционном зондировании океанов Chelton и Schlax [5] применили преобразование Радона в глобальном анализе волн Россби.

Результаты

На основе спутниковой альтиметрической информации показано взаимодействие волн Россби с АЦТ: в области АЦТ мезомасштабные вихри захватываются АЦТ и перемещаются на восток вместе с основным потоком. Севернее границы АЦТ мезомасштабные вихри, являющиеся проявлением волн Россби, перемещаются в западном направлении.

По пространственно-временным диаграммам рассчитаны «эмпирические» скорости перемещения вихрей для различных широт Южного полушария. По дисперсионному соотношению волн Россби в длинноволновом приближении рассчитаны теоретические скорости волн Россби. Показано, что величины теоретических скоростей уменьшаются к южному полюсу, а величины «эмпирических» – сначала уменьшаются до нуля, а потом начинают расти. В критическом слое происходит переход «эмпирической» скорости волн через ноль, и положение критического слоя определяет границу волновода АЦТ.

Был предложен новый метод определения границ волновода АЦТ. На рисунке 1 представлены границы волновода. Также эти границы были соотнесены с границами фронтов АЦТ. Результаты показали, что практически все фронты АЦТ входят в область волновода.

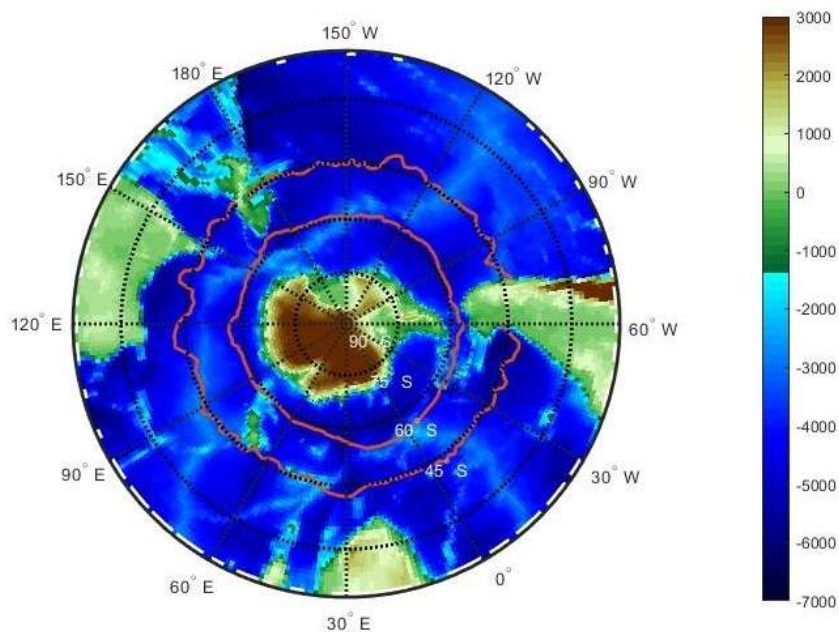


Рис.1. Граница волновода по данным скоростей за период 2008-2013 г.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 17-05-00034): «Синоптическая структура динамики морских вод и ее влияние на средние характеристики гидрофизических и биотических полей с использованием данных дистанционного зондирования».

This work was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research (No. 17-05-00034): «Synoptic structure of sea water dynamics and its influence on average characteristics of hydrophysical and biotic fields using remote sensing data».

Литература

1. Гневыхев, В. Г., Фролова, А. В., Кубряков, А. А., Собко, Ю. В., Белоненко, Т.В., 2019. Взаимодействие волн Россби со струйным потоком: основные уравнения и их верификация для Антарктического циркумполярного течения. Изв. Атм. Океана. Phys. (в печати)
2. Hughes, C. W., 1995. The Antarctic Circumpolar Current as a waveguide for Rossby waves. Journal of Physical Oceanography. 26 (7), 1375-1387.
3. Белоненко, Т. В., Фролова, А. В., 2019. Антарктическое Циркумполярное течение как волновод для волн Россби и мезомасштабных вихрей, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16 (1), 181–190.
4. Orsi, A. H., T. Whitworth III, Nowlin, W. D. Jr., 1995. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. Deep-Sea Research. 42, 641-673. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(01\)80124-8](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(01)80124-8).
5. Chelton, D. B., Schlax, M. G., 1996. Global observations of oceanic Rossby waves. Science. 272, 234- 238. <https://doi.org/10.1126/science.272.5259.234>.

ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ

Г.Т. Фрумин, Н.А. Малышева

Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург, Россия

ENVIRONMENTAL TOXICOLOGICAL APPROACH TO INTEGRATED ASSESSMENT OF SURFACE WATERS

G.T. Frumin, N.A. Malysheva

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Усовершенствован подход к комплексной оценке загрязненности водных объектов вредными веществами, базирующийся на концепции рисков летальных исходов при воздействии на дафний в широком диапазоне варьирования концентраций.

The approach to a comprehensive assessment of the pollution of water bodies by harmful substances based on the concept of the risks of deaths when exposed to daphnia in a wide range of concentration variations has been improved.

Ухудшение качества поверхностных вод суши — одна из важных проблем современности. Качество воды большей части водных объектов страны не соответствует требованиям [12,14], предъявляемым к водоемам рыбохозяйственного значения. Примерно пятая часть водных объектов не отвечает санитарно-гигиеническим требованиям [3] по качеству воды [16]. Существующие в настоящее время методы комплексной оценки загрязненности поверхностных вод принципиально разделяются на две группы. К первой относятся методы, позволяющие оценивать качество воды по совокупности гидрохимических, гидрофизических, гидробиологических, микробиологических показателей. Ко второй группе — методы, связанные с расчетом комплексных индексов загрязненности воды [5].

Развитие методов второй группы — комплексных (обобщенных) показателей загрязненности воды по времени запоздало по сравнению с развитием методов первой группы - классификаций качества воды [2].

В Российской Федерации с 2002 г. степень загрязненности вод оценивается гидрохимическими показателями с использованием «удельного комбинаторного индекса загрязненности воды» (УКИЗВ) (РД 52.24.643 — 2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»). В качестве норматива используют предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов, а также водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — наиболее жесткие (минимальные) значения из совмещенных списков, рекомендуемых для подготовки информационных документов по качеству поверхностных вод.

В последние десятилетия система ПДК подвергается справедливой и аргументированной критике и наметилась тенденция к оценке состояния водных объектов с точки зрения не потребностей конкретного природопользователя, а с позиций сохранения структуры и функциональных особенностей гидроэкосистемы, так как необходимо научиться

прогнозировать отклик экосистемы в целом на совокупное внешнее воздействие, а не какого-либо ресурсного звена, обуславливающего практический интерес потребителя [4,17,19].

Наряду с химическими показателями как в нашей стране, так и за рубежом, в последнее время для оценки качества вод все чаще используют биотестирование. В европейских странах при этом используются критерии качества воды (ККВ) для гидробионтов. Эти критерии разрабатываются в краткосрочных токсикологических экспериментах (ЛК₅₀ за 24, 48, или 96 часов). Используемые тест-организмы как в России, так и за рубежом, идентичны. Среди рыб — радужная форель, карп, окунь, щука; из беспозвоночных — дафния магна, хирономус плюмозус; из планктонных одноклеточных водорослей — сценедесмус, хлорелла [1,10,15].

Во второй половине XX века в связи с необходимостью оценки токсичности природных и сточных вод во многих странах мира стали использовать биотестирование на *Daphnia magna Straus*. *Daphnia magna Straus* признана самым универсальным тест-объектом по чувствительности и адекватности реагирования на различные загрязняющие вещества. Дафнии широко применяются в биотестировании в таких странах мира, как США, Германия, Франция, Венгрия и др. Во многих из них дафния принята как стандартный тест-организм. Дафнии как обязательный тест-объект включены в схему установления ПДК загрязняющих веществ и в РФ. В большинстве случаев (около 90%) наиболее слабыми звеньями, по которым идет нормирование и которые определяют конечные результаты установления предельно допустимых концентраций (ПДК), являются планктонные ракообразные (главным образом дафнии) [9].

Анализ существующих оценок качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям свидетельствует о том, что комплексная характеристика качества поверхностных вод представляет собой достаточно сложную проблему, по которой пока не найдено однозначного решения [7].

Цель исследования — оценка загрязнённости поверхностных вод суши на основе математических моделей, связывающих фактические концентрации вредных веществ с величинами рисков комбинированного действия острых токсических эффектов для представительного вида гидробионтов (*Daphnia magna*).

По данным литературы о токсичности вредных веществ для дафний были построены математические модели, связывающие величины рисков (вероятности) летальных исходов при воздействии на дафний в широком диапазоне варьирования концентраций [18] (табл.1). Первичные данные о летальных и эффективных концентрациях, вызывающих эффекты у 16%, 50% и 84% подопытных тест-объектов, заимствованы из литературы [6,9].

Таблица 1. Математические модели для расчётов рисков летальных исходов при воздействии вредных веществ на дафний

Вещество	Модель	Вещество	Модель
Cu ²⁺	Риск = 1 - exp(-25,103C ^{0,956})	Al ³⁺	Риск = 1 - exp(-0,2734C ^{1,53})
Pb ²⁺	Риск = 1 - exp(-0,2653C ^{1,1})	Фенол	Риск = 1 - exp(-0,0154C ^{1,2638})
Zn ²⁺	Риск = 1 - exp(-2,02C ^{1,168})	НП*	Риск = 1 - exp(-0,3851C ^{0,7124})
Mn ²⁺	Риск = 1 - exp(-0,007C ^{1,489})	NH ₄ ⁺	Риск = 1 - exp(-0,000000105 · C ^{5,5345})
Fe ²⁺	Риск = 1 - exp(-0,017C ^{1,319})	NO ₂ ⁻	Риск = 1 - exp(-0,2861C ^{0,8125})
Ni ²⁺	Риск = 1 - exp(-0,078C ^{2,0861})	NO ₃ ⁻	Риск = 1 - exp(-0,00186 · C ^{0,8103})

Примечание. НП* - нефтепродукты, С – концентрация, мг/дм³

Учитывая, что риск является вероятностной величиной, для определения риска комбинированного действия в соответствии с правилом умножения вероятностей, где в качестве сомножителей выступают не риски, а значения, характеризующие вероятности их отсутствия, было применено следующее уравнение [8]:

$$\text{Риск}_{\text{комб}} = 1 - (1 - \text{Риск}_1)(1 - \text{Риск}_2)(1 - \text{Риск}_3)\dots(1 - \text{Риск}_n), \quad (1)$$

где $\text{Риск}_{\text{комб}}$ — риск комбинированного действия совокупности вредных веществ, Риск_i — риск воздействия индивидуальных вредных веществ.

Для классификации качества воды по уровням их загрязненности металлами была использована модель «разломанного стержня» [13] (табл. 2).

Таблица 2. Классификация качества вод по величинам комбинированных рисков

Качество воды	Риск комбинированный, $\text{Риск}_{\text{комб}}$	Класс качества
Очень хорошее	0,00-0,04	I
Хорошее	0,04-0,09	II
Удовлетворительное	0,09-0,16	III
Плохое	0,16-0,26	IV
Очень плохое	0,26-1,00	V

Усовершенствованный эколого-токсикологический подход, базирующийся на моделях, приведенных в табл. 1 и формуле 1, был использован для оценки загрязненности водных объектов, расположенных в различных природно-климатических зонах (табл. 3).

Таблица 3. Качество воды некоторых водных объектов

Водный объект	Год(ы)	$\text{Риск}_{\text{комб}}$	Качество воды
Озеро Биенда-Стемме (Шпицберген)	2002-2010	0,02	Очень хорошее
Озеро Голубичное (Приморский край)	2013, август	0,02	Очень хорошее
Чудское озеро (российская акватория)	2018	0,09	Хорошее
Псковское озеро (вся акватория)	2018	0,11	Удовлетворительное
Озеро Теплое	2018	0,17	Плохое
Нарвское водохранилище (ст. НВ 2)	2011-2018	0,10	Удовлетворительное
Нарвское водохранилище (ст. НВ 4)	2011-2018	0,11	Удовлетворительное
Нарвское водохранилище (ст. НВ 5)	2011-2018	0,12	Удовлетворительное
Озеро Нижний Кольсай (Казахстан)	2015, август	0,12	Удовлетворительное
Плёт Бабинская Имандра	1993-1998	0,09	Хорошее
Плёт Йокостровская Имандра	1993-1998	0,14	Удовлетворительное
Плёт Большая Имандра	1993-1998	0,17	Плохое
Река Грендалсэльва	2002-2010	0,02	Очень хорошее
Река Нева, ст.6	2018	0,16	Удовлетворительное
Река Великая, ст.2	2018	0,06	Хорошее

Река Охта, ст.2	2018	0,30	Очень плохое
Река Шексна	2010-2012	0,08	Хорошее
Река Нарва, 11,2 км выше устья	2018	0,12	Удовлетворительное
Река Пиуза	2018	0,09	Удовлетворительное
Река Плюсса	2018	0,09	Удовлетворительное
Река Ардон, 100 м ниже от устья р. Уналдон (Северная Осетия)	2016, лето	0,12	Удовлетворительное
Река Уруп (Северный Кавказ)	2012, август	0,68	Очень плохое

Разработанный эколого-токсикологический подход может быть использован для оценки загрязнённости вредными веществами водных объектов различных природно-климатических зон, для анализа межгодовых, межсезонных и внутригодовых трендов загрязнённости водного объекта.

В данной статье приведён усовершенствованный подход к оценке загрязнённости водных объектов вредными веществами. В частности, предложена новая классификация качества вод, базирующаяся не на обратной шкале желательности Харрингтона, а на модели «разломанного стержня». Модель «разломанного стержня» позволяет давать более «жёсткую» оценку качества воды.

Существенным достоинством рассмотренного подхода к оценке загрязнённости водных объектов (водоёмов и водотоков) приоритетными (наиболее значимыми) загрязняющими веществами является то, что этот подход не использует систему общефедеральных ПДК. Тем более, что до настоящего времени не разработаны региональные ПДК для большинства водных объектов Российской Федерации.

Литература

1. *Александрова В.В.* Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод: Монография. — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. 119 с.
2. *Гагарина О.В.* Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учебно-методическое пособие. — Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2012. 199 с.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.
4. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. — СПб.: Наука, 2004. 294 с.
5. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер, водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. — М.Л.: Наука, 1964. 275 с.
6. *Захарченко М.П., Кошелев Н.Ф., Ромашов П.Г.* Гигиеническая диагностика водной среды. — СПб.: Наука, 1996. 247 с.
7. *Зубарев В.А.* Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Том 17, № 2. С. 71–77.

8. *Киселёв А.В., Фридман К.Б.* Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. — СПб.: Международный институт оценки риска здоровью, 1997. 103 с.
9. *Красовский Г.Н., Алексеева Т.В., Егорова Н.А., Жолдакова З.И.* Биотестирование в гигиенической оценке качества воды // Гигиена и санитария. 1991. №9. С. 13—16.
10. *Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А.* Экстраполяция токсикологических данных с животных на человека. — М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2009. 208 с.
11. *Макарова Н.В., Трофимец В.Я.* Статистика в Excel. — М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
12. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства от 04.08.2009 г. № 695.
13. *Мостеллер Ф.* Пятьдесят занимательных вероятностных задач с решениями. — М.: Наука, 1975. 112 с.
14. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства от 18.01.2010 г. № 20.
15. *Соколова С.А.* Актуальные проблемы экологического нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов: материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. — М.: Товарищество научных изданий КМК. 2011. С. 56-68.
16. *Строков А.А.* Особенности нормирования качества воды при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. №3. С.105—109.
17. *Тимофеева Л.А., Фрумин Г.Т.* Проблемы нормирования качества поверхностных вод // Учёные записки РГГМУ. 2015. №38. С. 215—229.
18. *Фрумин Г.Т., Жаворонкова Е.И.* Токсичность и риск воздействия металлов на гидробионтов // Экологическая химия. СПб.: ООО «Теза». 2003. 12(2). С. 93—96.
19. *Фрумин Г.Т.* Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование. — СПб.: Синтез, 1998. 96 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСА НИТРИФИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

О. В. Хаймина¹, Н.С. Денисов¹, Н.А. Коузова¹

1 – Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

APPLYING THE NITRIFICATION INDEX FOR EVALUATING THE POLLUTION LEVEL OF WATERS IN WESTERN PART OF THE GULF OF FINLAND

O.V. Khaimina¹, N.S. Denisov¹, N.I. Kouzova¹,

1 – Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Проанализирована динамика уровня загрязненности вод западной части Финского залива в период 1997 – 2016 гг. на основании индекса нитрификации. Показана возможность применения этого индекса для оценки класса качества морских вод.

The pollution level dynamic in western part of the Gulf of Finland since 1997 – 2016 was analyzed based on Nitrification index. The article shows the opportunity of applying Nitrification index for evaluating quality status of the sea waters.

Для акваторий, находящихся в условиях интенсивного антропогенного воздействия, актуальной проблемой является сохранение качества природных вод. Классы качества воды могут быть определены с использованием различных интегральных показателей [1-8], учитывающих как гидрохимические, так и гидробиологические характеристики, например, качество воды по трофно-сапробным показателям. Для морских вод традиционно используют Индекс Загрязненности Вод (ИЗВ) [4], рассчитываемый с учетом содержания растворенного кислорода и трех характерных для данной акватории загрязнителей. Доступность данных о концентрациях хлорофилла «а», а также о содержании биогенных элементов и растворенного кислорода, позволяет дополнить информацию о качестве морских вод с использованием индекса эвтрофикации E-TRIX [5] или методов HEAT (HELCOM Eutrophication Assessment Tool) [6, 7] и BEAST (The Black Sea Environmental Assessment Tool) [8], учитывающих ряд биологических показателей, в том числе состояние бентосных сообществ.

Еще одним интегральным показателем качества природных вод является индекс нитрификации [9], более простой при выполнении расчетов, но чаще используемый для оценки качества поверхностных вод суши:

$$I_{\text{nit}} = \frac{\text{NNO}_3 * 100\%}{\text{NNO}_3 + \text{NNO}_2 + \text{NNH}_4} ,$$

где NNO_3 – концентрация азота нитратов в ммоль/л;

NNO_2 – концентрация азота нитритов в ммоль/л;

NNH_4 – концентрация аммонийного азота в ммоль/л

Целью данного исследования являлась оценка возможности применения данного показателя для морских акваторий и сравнение полученных оценок с уже имеющимися по другим показателям [6,7,10]. Не смотря на то, что все интегральные показатели значительно различаются по диапазонам количественных оценок, переход к качественным оценкам (классам качества вод) позволяет сравнивать полученные результаты (см. таблицу 1).

В качестве объекта исследований был выбран участок акватории Финского залива, ограниченный координатами 59,77 с.ш., 23,26 в.д – 59,82 с.ш., 23,27 в.д. Сформированные на основании базы натуральных наблюдений ICES [11] ряды данных включали информацию о температуре воды, солености, содержании растворенного кислорода и концентрациях минеральных форм азота для поверхностного и придонного слоев. Период наблюдений - 1997-2016 гг.

Таблица 1. Классы качества природных вод и значения интегральных показателей, рассчитанные с использованием различных методов

Классы качества по E-TRIX	Классы качества по BEAST	Классы качества по ИЗВ	Классы качества по Init	Способность к самоочищению
Высокое (< 4)	High (<0,5)	Очень чистые (<0,25)	Очень чистые (99-97%)	Очень высокая
	Good (0,51-1,0)	Чистые (0,25-0,75)	Чистые (96-95%)	Высокая
Хорошее (4-5)	Moderate (1,01-1,50)	Умеренно загрязненные (0,75-1,25)	Умеренно загрязненные (94-85%)	Средняя
Посредственное (5-6)	Poor (1,51-2,0)	Загрязненные (1,25-1,75)	Загрязненные (84-65%)	Ниже средней
		Грязные (1,75-3,00)	Очень загрязненные (64-40%)	Низкая
Плохое (>6)	Bad (>2,01)	Очень грязные (3,00-5,00)	Грязные (39-10%)	Очень низкая
		Чрезвычайно грязные (>5,00)		

Выполненные расчеты индекса нитрификации показали наличие ярко выраженного внутригодового хода (см. рис. 1), что связано с изъятием азота нитратного в процессе образования первичной продукции в летний период. Для придонного горизонта в зимний период значения индекса нитрификации соответствуют 2-3 классу (чистым и умеренно-загрязненным водам), в то время как для поверхностного слоя условия нитрификации соответствуют преимущественно 1 классу (очень чистые воды). Теплый период класс качества вод для обоих слоев меняется на 4-6 (от загрязненных до грязных).

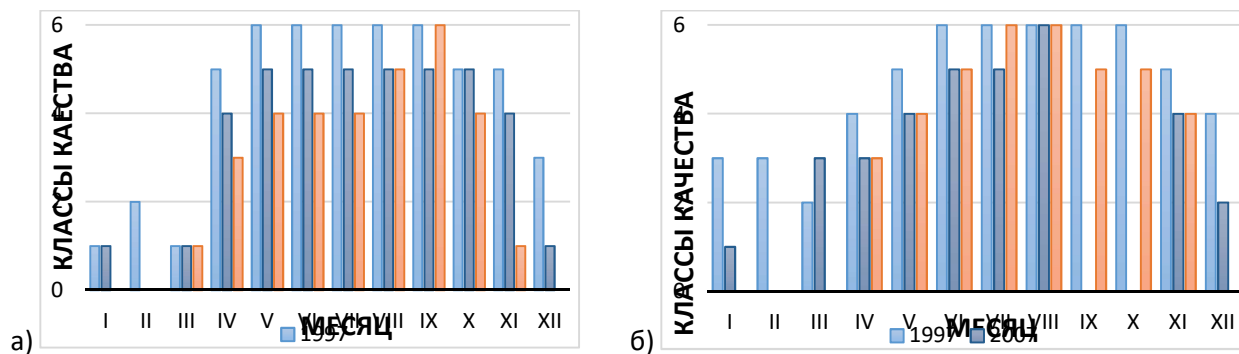


Рис. 1. Значения индекса нитрификации для поверхностного (а) и придонного (б) слое. Акватория Финского залива (59,77 с.ш., 23,26 в.д – 59,82 с.ш., 23,27 в.д.)

При переходе к анализу межгодовых изменений значений индекса нитрификации осреднение проводилось только для теплого полугодия апрель-сентябрь (см. рисунок 2), т.к. информация о концентрациях форм минерального азота в зимние месяцы для ряда лет на выбранном участке акватории отсутствовала. За последние 30 лет на выбранном участке акватории Финского залива по индексу нитрификации прослеживается незначительное улучшение состояния вод придонного (см. рис. 2) и поверхностного слоя. При этом качественная оценка в теплое полугодие изменилась с V класса (очень загрязненные) до III – IV классов (умеренно загрязненные – загрязненные).

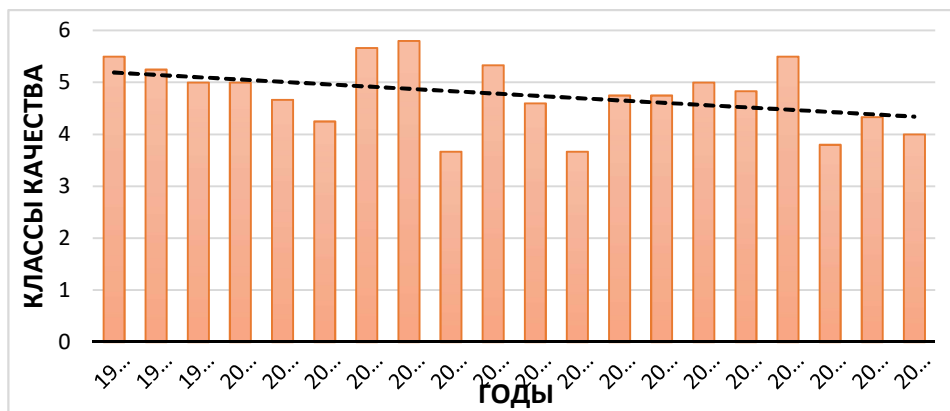


Рис. 2. Межгодовая изменчивость индекса нитрификации (в теплое полугодие) для придонного слоя. Акватория Финского залива (59,77 с.ш., 23,26 в.д – 59,82 с.ш., 23,27 в.д.)

Согласно информации HELCOM в период с 2011 год по 2016 год оценка качества вод Финского залива, рассчитанная по методу HEAT, также относилась к классу «poor» («загрязненные»). Следовательно, результаты, полученные с использованием индекса нитрификации, не противоречат оценкам HELCOM, и способность к самоочищению вод залива характеризуется как «ниже среднего» (см. таблицу 1). Схожая тенденция наблюдается и для вод Невской губы, где класс качества по ИЗВ за период с 1990 по 2016 гг. изменился от V (грязные) до IV (загрязненные) [12].

Таким образом, для оценки уровня загрязненности морских вод при отсутствии данных о концентрациях характерных загрязнителей или данных о планктонных и бентосных сообществах может быть использован индекс нитрификации.

Литература

1. ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Сайт Техэксперт. Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. Документы открытого доступа.– URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200026772>
2. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков Сайт Техэксперт. Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. Документы открытого доступа.– URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-1-3-07-82>
3. РД 52.24.637-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003.– 50 с.
4. Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 2017 год. Сайт ГОИН. – URL: <http://oceanography.institute/index.php/component/jdownloads/finish/41/1814>
5. Vollenveider R.A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index // *Enviromentrics*. – 1998. - No 9. – P. 329-357
6. HELCOM Eutrophication Assessment Manual.– URL: <http://www.helcom.fi/Documents/Eutrophication%20assessment%20manual.pdf>
7. Andersen J. H. P. Ахе, Н. Backer, J. Carstensen and other. Getting the measure of eutrophication in the Baltic sea: towards improved assessment principles and methods // *Biogeochemistry*. – 2011. – № 106. – P. 137–156.
8. Методики определения качества морской среды. Сайт ГОИН.– URL: <http://www.oceanography.ru/index.php/2013-10-25-13-45-55/2013-05-24-14-27-12>
9. Злышко А. С. Исследование загрязнения и самоочищающей способности экосистем малых водотоков урбанизированных территорий: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук: специальность 03.02.08 Экология (биология).– Владимир, 2013.– 23 с.
10. Ипатова С.В. Качество морских вод и донных отложений восточной части Финского залива по данным мониторинга ФГБУ «Северо-Западное УГМС» . Материалы конференции «Специализированное обеспечение информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды в больших городах». Ярославль, 2017.– URL: <http://www.oceanography.ru/index.php/component/jdownloads/finish/41/1682>
11. База натуральных наблюдений ICES.– URL: www.ices.dk
12. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге за 2016 год. Сайт экологического портала Санкт-Петербурга.– URL: http://www.infoeco.ru/assets/files/Doklad/doklad_2016.pdf
13. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. Eutrophication.– URL: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/pressures-and-their-status/eutrophication/>

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СПРАВОЧНИКОВ РОССИИ В ГГО

К.Ш. Хайруллин, М.З. Образцова

Главная геофизическая обсерватории им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург

HISTORY OF CREATION OF CLIMATE GUIDELINES OF RUSSIA IN GGO

K.Sh. Khayrullin, M.Z. Obratsova

The main geophysical observatory by A.I. Voeikov, St. Petersburg

В статье рассматривается история основных климатических справочников, издаваемых в России с середины XIX века до конца XX века. Подробно рассматриваются число станций, характеристики, описанные в таблицах, а также ученые ГФО-ГГО, осуществлявшие научно-методическое руководство составлением этих справочников.

The article discusses the history of the main climate reference books published in Russia from the mid-19th century to the end of the 20th century. The number of stations, the characteristics described in the tables, as well as the scientists of the GFO-GGO, who carried out the scientific and methodological management of the compilation of these handbooks, are examined in detail.

2019 год – является знаменательным для гидрометеорологической науки России. В этом году исполняется 185 лет со дня образования магнитно-метеорологической обсерватории, а также 170 лет со дня основания Главной физической обсерватории в Санкт-Петербурге. С зарождением метеорологической сети и накоплением метеорологических данных в различных изданиях появляются публикации по описанию климата различных регионов России, в том числе климатических данных обработанных за имеющийся ряд наблюдений. Эти данные присылались в ГФО, где и хранились в архиве или публиковались в издаваемых ежегодниках. Академик К.В. Веселовский [1], который курировал деятельность ГФО, проделал огромный труд по сбору и анализу имеющегося материала и в 1857 г. опубликовал сочинение «О климате России». Книга содержит 400 страниц текста с анализом многолетних данных по температуре воздуха, режиму ветра, влажности воздуха и метеорам (осадки), грозам и вопросам изменения климата. Наиболее ценную часть составляет приложение, насчитывающее 326 страниц, содержащих таблицы средних месячных данных по годам для температуры, осадков, датам вскрытия и замерзания рек, ветровым характеристикам. По температуре воздуха и ряду других характеристик приводятся данные 154 станций. Для некоторых станций даны описания, включающие координаты и местоположение, фамилии составителей таблиц, иногда результаты и методы обработки. Для 81 станции приведены даты вскрытия и замерзания рек. Например, для Западной Двины (Рига) приводятся данные с 1530 г. по 1852, для Ангары - за 115 лет, для Невы - со дня основания города 1703 г. Эта публикация является фактически первым климатическим справочником Российской империи. Подобной публикации в мировой метеорологии еще не было. Книге была дана высокая оценка научной общественностью, а её автор К.В. Веселовский награжден Большой золотой медалью Русского географического общества. С использованием этих климатических данных и дальнейших метеорологических

наблюдений ГФО в 1899 г. был издан «Климатический атлас Российской империи» [2], который также не имел аналогов в мире.

После Октябрьской революции в 1919 г. в ГФО был образован отдел климатологии, который возглавил А.А. Каминский. В 1921 г. был подписан декрет председателя СНК РСФСР «Об организации метеорологической службы РСФСР», руководство которой возлагалось на ГФО. Отдел климатологии был преобразован в Институт климата. В 1924 г. на совещании при Госплане СССР была вынесена резолюция о необходимости опубликования ежемесячных данных о температуре и давлении воздуха за отдельные годы. Работа по составлению таких таблиц была выполнена в ГГО и в 1924 г. вышел справочник «Климат СССР» часть 1, часть 2 под редакцией Е.С. Рубинштейн [3], в который вошли данные наблюдений по 1915 г. В Справочник вошли описания физико-географических условий местоположения станций. Наиболее длиннорядными станциями в этом Справочнике являются Санкт-Петербург - с 1744 г., ГФО, Москва - с 1780 г., Межевой институт, Рига - с 1795, Казань- с 1812.

Развивающееся народное хозяйство СССР, требовало специализированной климатической информации. Всесоюзное климатическое совещание в ноябре 1930 г. признало необходимость издания климатического справочника СССР, для чего была создана специальная комиссия Гидрокомитета СССР, которая утвердила перечень метеорологических элементов для включения в Справочник: температура воздуха и почвы, скорость и направление ветра, количество осадков, влажность воздуха, облачность, продолжительность солнечного сияния, солнечная радиация. Климатический справочник СССР был издан для Европейской и Азиатской частей СССР в 1932 г. При его составлении было использовано 1200 станций по Европейской части СССР и 110 станций для Урала и Сибири. Тираж справочника составил 300 экз.

В послевоенные годы была закончена работа, начатая в 1939 г. Её итогом явился Климатический справочник СССР выпуска 1949 г. В него были включены таблицы предыдущего издания с добавлением ряда наблюдений и новых станций. Вся информация одного управления компактно помещалась в одном томе [4].

В 60-70 годы 20 века была реализована грандиозная программа по изданию Справочника по климату СССР [5], информация которого предназначалась для широкого круга специалистов различных отраслей народного хозяйства, и отвечала на многочисленные вопросы, возникавшие при необходимости учета влияния климата при планировании, проектировании, эксплуатации промышленных и гидротехнических сооружений транспорта и сельского хозяйства. Кроме того, подобный справочник был необходим для использования природных ресурсов, понимания климата, улучшения прогноза погоды, а также в научно-исследовательской работе.

Справочник включал материалы наблюдений, существовавших на время его издания станций и постов. Материал представлен по отдельным станциям в виде таблиц с пояснительным текстом. По сравнению с изданием 50-х годов это издание было дополнено большим количеством вероятностных характеристик, расчетными данными и агроклиматическими сведениями. Частично таблицы были рассчитаны в институте НИАК в Новосибирске, под руководством проф. С.А. Сапожниковой и кфмн С.Д. Кашинского.

Масштаб этой работы производит колоссальное впечатление. Территорию Советского Союза представили 14 управлений по союзным республикам и 20 управлений, охватывающих края, автономные республики, национальные округа и области РСФСР, всего 34 Выпуска. О том, какое

количество исходного материала по данным наблюдений было обработано, дают представление следующие цифры:

Часть 1 – Солнечная радиация, радиационный баланс, солнечное сияние – По радиации обработаны 212 станций, а для солнечного сияния - 1117 станций и постов;

Часть 2 – Температура воздуха и почвы - 5241 станций и постов;

Часть 3 – Ветер - 3778 станций и постов;

Часть 4 - Влажность воздуха, осадки, снежный покров - 10906 станций и постов

Часть 5 - Облачность, атмосферные явления - 5064 станций и постов

В подготовке Справочника основную работу по составлению таблиц, краткому описанию режима метеорологических характеристик и их региональных особенностей для данной территории выполнили сотрудники региональных обсерваторий Управлений Гидрометеослужбы (см. Табл. 1). По всем управлениям есть фамилии начальников Отделов климатологии и конкретных сотрудников, участвовавших в составлении Справочника. Состав климатической группы чаще всего включал в себя инженеров и техников, которые обрабатывали первичный материал. Число специалистов УГМС, участвовавших в составлении Справочника, составило около 350 человек. В этой статье нет возможности перечислить их фамилии, но следует выразить огромную благодарность людям ушедшей эпохи за создание этой фундаментальной работы.

Для того, чтобы поместить данные о климате обширных полярных районов нашей страны к составлению Выпусков 1, 2, 17, 21, 24, 33 была привлечена группа метеорологов из ААНИИ.

Роль ГГО им. А.И. Воейкова была особенно значимой. Работа выполнялась по единой программе и методике, разработанной в ГГО и утвержденной редколлекцией ГУГМС при Совете министров СССР. Председателем редколлекции был член-корреспондент АН СССР, лауреат Ленинской премии и директор ГГО Михаил Иванович Будыко. Общее научно-методическое руководство было осуществлено сотрудниками отдела климатологии ГГО: ответственный исполнитель кгн В.В. Орлова, сотрудники дгн А.Н. Лебедев, кгн Н.В. Смирнова, Л.Е. Анапольская, М.Я. Глебова, кгн З.И. Пивоварова, кгн Л.П. Кузнецова, В.И. Липовская, Л.Г. Полозова, и др. участвовали в процессе подготовки отдельных выпусков. Текстовая часть Справочников: предисловие, введение и общие сведения о характеристиках и пояснения к таблицам написаны совместно исполнителями ГГО и УГМС.

Работа над Справочником продолжалась почти десятилетие. Первый том вышел в 1964 г. а в 1970 г. издание было закончено полностью. В Таблице 1 приводятся структура Справочника: номера и названия УГМС, а также число использованных станций во всех Выпусках.

Таблица 1. Структура Справочника по климату СССР выпуска 1960-х годов.

№ Вып.	УГМС	Часть 1			Часть 2	Часть 3		Часть 4		Часть 5
		11	46	184		159	160	167	166	
1	Северное	11	46	184	140	159	160	167	166	139
2	Мурманское	3	12	51		45		71		37
3	Северо-Западное	14	34	205	115	116	110	416	136	191

4	Эстонское	4	17	58		42		230		170
5	Латвийское	1	31	76		36		222		96
6	Литовское	2	13	57		35		157		102
7	Белорусское	3	12	75	46	49	55	280		200
8	Центральных областей	10	31	218		116		474		265
9	Уральское	4	46	246	155	182	146	231	320	161
10	Украинское	20	70	512		223	254	1635	516	279
11	Молдавское	1	9	36		27		102		26
12	Приволжское	5	34	196		144	141	507	198	165
13	Северо- Кавказское	7	56	330	220	218	230	584	186	232
14	Грузинское	8	39	242	145	165	159	441	253	185
15	Азербай джанское	2	44	144		115	110	302	52	114
16	Армянское	4	22	91		60		185		77
17	Омское	3	26	127	93	94	101	219	112	82
18	Казахское	17	51	409	288	309		655		283
19	Узбекское	8	12	120		75	78	225	69	80
20	Западно -Сибирское	5	37			121	132	418		125
21	Красноярское	13	42	201		179		414		176
22	Иркутское	10	36	177		149				138
23	Забайкальско е	4	37	220		136	172	380	165	143
24	Якутское	11	54	166		149	138	291	207	140
25	Дальнего Востока	7	52	198		154		327		166
26	Приморское	4	44	92		81	79	216	75	90
27	Камчатское	3	20	56		58	52	92	59	26
28	Центрально -Чероземное	4	24	156		84		325		67
29	Верхне Волжское	3	22	160		96		371		106
30	Туркменское	7	27	94		64	66	137	60	71
31	Таджикское	3	21	81	64	73	78	182	86	70

32	Киргизское	2	22	80		75	75	270	270	73
33	Колымское	7	43	122		96		138		89
34	Сахалинское	2	31	61	50	53	52	93	58	52
Всего		21	111	524	3249	377	4689	1090	5998	5064
		2	7	1	*	8	*	6	*	

В таблице указано число станций, которые были использованы для расчета климатических характеристик отдельных частей Справочника всеми УГМС.

Примечания к Таблице 1:

Звездочкой (*) отмечено оценочное число станций

В 90-х годах был издан очередной справочник - «Научно-прикладной справочник по климату СССР» (6). Он предназначался для обеспечения климатической информацией различных отраслей народного хозяйства, а также для научных исследований. Так же, как и при создании Справочника 60-70х годов в подготовке издания участвовали коллективы УГМС СССР и ГГО им. А.И. Воейкова. Необходимость его создания была вызвана возможностью увеличения длины рядов наблюдений, а также расширением числа таблиц статистических характеристик различного временного разрешения: за месяц, сутки и по срокам. Характеристики месячного разрешения и экстремальные данные получены за 100-летний период с 1880 по 1980 гг. Характеристики суточного разрешения за период с 1936 по 1980 гг; разрешение по срокам с 1966 по 1980 гг. Общее научно-методическое руководство осуществляла дгн, проф Кобышева Н.В. Координация работ и организационное руководство осуществлялось дфмн, проф Е.П. Борисенковым, сотрудниками Управления гидрометеообеспечения Госкомгидромета СССР С.К. Черкавским и Г.Г. Сивоплясом. Экспертиза материалов в ГГО проводилась дгн З.И. Пивоваровой, И.Д. Копаневым, кгн К.Ш. Хайруллин, дгн Ц.А. Швер, Э.М. Скворцовой и др.

Научно-прикладной справочник по климату СССР состоит из 35 выпусков, каждый из которых состоит из 6 частей и включает: Часть 1 - солнечная радиация и солнечное сияние; Часть 2 - температура воздуха и почвы, Часть 3 - ветер и атмосферное давление, Часть 4 - влажность воздуха, осадки и снежный покров, Часть 5 - облачность атмосферные явления, гололедно-изморозевые образования, Часть 6 - комплексы метеорологических величин. Часть 7 - специализированные характеристики для строительного проектирования, издана отдельным выпуском № 35.

Перечисленные климатические характеристики представлены таким образом, что позволяют перейти к получению прикладных специализированных величин.

Наряду с перечисленными климатическими справочниками в СССР издавались другие гидрометеорологические справочники, посвященные агрометеорологии, авиационной метеорологии, гидрологическому режиму рек и т.д. Авторы рассмотрели лишь Климатические справочники России, которые выпускались под научно-методическим руководством ГГО и составили целую эпоху в изучении климата страны.

Литература

1. «О климате России», сочинение К. Веселовского, издано Императорскою Академіею Наукъ, САНКТПЕТЕРБУРГЪ, 1857 г., текст 400с., табл. 326
2. Климат Союза Советских Социалистических Республик. Часть I. Температура воздуха. Вып. 1-4. Евгения Рубинштейн. 1933.
Климат Союза Советских Социалистических Республик. Часть II. Давление воздуха и ветер в СССР. Вып. 1. А.А. Каминский. Ленинград, 1932.
3. Климатический справочник по СССР. Вып. I. Европейская часть СССР. 261 с.,
Вып II. Уральская область, З и В Сибирский край. Составлен Институтом климатологии под руководством А.А. Каминского и Е.С. Рубинштейн. Ленинград 1931-1932.
4. Климатический справочник СССР. Вып. 1-27. Общее методическое руководство Е.С. Рубинштейн. Гидрометеоиздат. 1948-1956.
5. Справочник по климату СССР. Вып. 1-34, Ленинград. Гидрометеоиздат. 1964-1970.
6. «Научно-прикладной справочник по климату СССР» Вып. 1-34. Части 1-6, Вып 35. Часть 7. Ленинград. 1987-2001.

АНТРОПОГЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ: ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА

Д.В.Хлебников¹, А.Ю.Иванов¹, Б.В.Коновалов¹, Н.В.Терлеева¹, Л.В.Десинов², Д.М.Соловьев³, А.А.Кучейко⁴

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Институт географии РАН, Москва, Россия

³Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

⁴ООО «РИСКСАТ», Москва, Россия

ANTHROPOGENIC POLLUTION IN THE RUSSIAN COASTAL ZONE OF THE BLACK SEA: A LOOK FROM SPACE

D.V.Khlebnikov¹, A.Yu.Ivanov¹, B.V.Kononov¹, N.V.Terleeva¹, L.V.Desinov², D.M.Soloviev³, A.A.Kucheiko⁴

¹Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences (IO RAS), Moscow, Russia

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (IGRAS), Moscow, Russia

³Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences (MHI), Sevastopol, Russia

⁴RISKSAT, Moscow, Russia

В докладе на конкретных примерах рассматриваются возможности использования спутниковых данных современных ИСЗ, как оптических, так и радиолокационных, для изучения антропогенных загрязнений прибрежной зоны российской части Черного моря

The report addresses the issues of the possibility of using data and images of modern remote sensing satellites, both optical and radar, to study anthropogenic pollution in the coastal zone of the Russian part of the Black Sea

Черное море – одно из самых известных и уникальных водоемов мира. Оно практически изолировано от Мирового океана узкими проливами, его глубина достигает до 2200 м, а большая часть водной толщи заражена сероводородом начиная с глубин в 120-150 м. В Черном море обитает около 2,5 тыс. видов животных и растений. Однако, к сожалению, исследования последних лет выявили кризисное состояние морской среды: химический состав воды показывает значительное и разнообразное загрязнение, а биологическое разнообразие уменьшается. Морская экосистема испытывает значительную антропогенную нагрузку, которая приводит к потере её саморегуляции. Среди экологических проблем главными являются: 1) загрязнение моря сточными водами, токсичными веществами и нефтепродуктами, 2) эвтрофикация воды, и 3) сокращение биологического разнообразия и появление вселенцев.

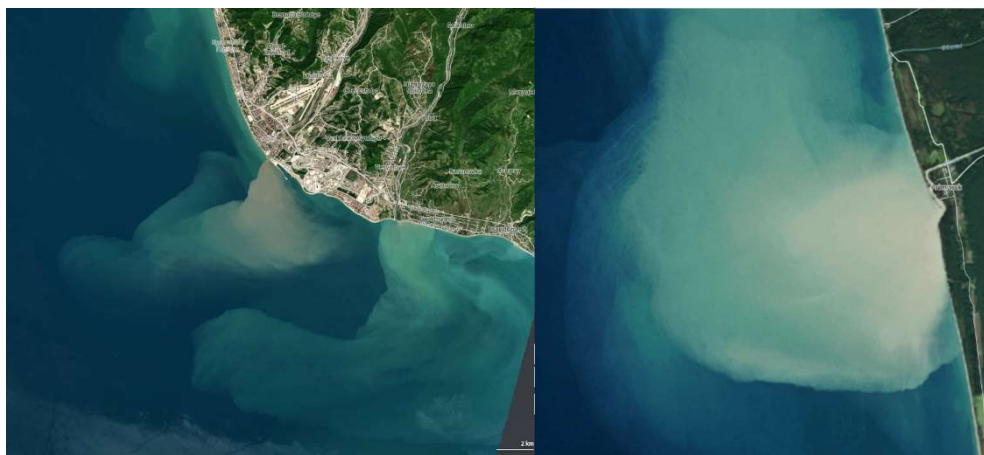
Большой частью жидкие и взвешенные отходы в море поступают с водами крупных и средних рек, таких как Днепр, Дунай, Прут и др., а также рек кавказского побережья. Благодаря потокам сточных и канализационных вод крупных городов, курортов и промышленных предприятий, предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в прибрежных водах зачастую превышены. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами происходит главным образом из-за интенсивного судоходства, а также аварийных сбросов предприятий нефтегазового комплекса (НГК), причем наиболее часто нефтяное загрязнение наблюдается в районах основных судоходных трасс, а также в районах добычи нефти и газа и естественных нефтепроявлений [1]. Аварийные разливы относительно редки, однако планы разработки новых месторождений в море значительно увеличивают риски. Одной из самых проблемных акваторий моря является

акватория Керченского пролива, где наблюдается самое разнообразное загрязнение и оно достигает угрожающих значений.

В настоящее время дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) является источником актуальной и оперативной пространственной информации, а его данные широко используются для решения различных тематических задач. В докладе отмечены основные источники антропогенных загрязнений российской прибрежной зоны Черного моря: 1) терригенные выносы рек, 2) ливневые/ канализационных сбросы, 3) пленочные/нефтяные загрязнения, 4) разнообразные загрязнения и сопутствующие процессы в Керченском проливе.

1) Из спутниковых и подспутниковых наблюдений известно, что выносы рек обладают собственной структурой, поставляют в море вещество материкового происхождения, взаимодействуют с прибрежной циркуляцией, мелководным рельефом дна и окружающими водами. Выносы рек изучались с помощью численного моделирования, измерений *in situ* и с привлечением данных ДЗЗ. В РФ особое внимание в последнее время уделялось выносам рек кавказского побережья, где различные исследования выполнялись неоднократно в 2007-2018 гг. [2,3].

На оптических снимках из космоса в прибрежной зоне моря в поле цвета моря выделяются области распространения распресненных вод, определяющих границу речного выноса и его структуру [2]. Анализируя видимые на снимках проявления речных выносов, можно получить информацию о его форме, площади, границах и направлении распространения, а затем сравнить с результатами подспутниковых измерений и численного моделирования. Установлено, что



мощные выносы рек часто формируют области взмучивания в верхнем слое моря, ограниченные с внешней стороны фронтальной границей. Обширные области взмученной воды очень часто достигают береговой черты и ухудшают органолептические свойства прибрежных вод (рис. 1). В связи с этим изучение закономерностей отображения выносов рек в восточной части Черного моря в данных ДЗЗ и механизмов, определяющих формирование их оптических и радиолокационных сигнатур, крайне актуально [2].

Рис. 1. Мощные выносы рек Мзымта/Псоу и Хоб на оптических снимках спутников PlanetScope от 23.04.2016 и 11.10.2013, которые приводят к загрязнению взвешенным веществом прибрежной зоны и пляжей кавказского побережья (рисунок из [2]). © Planet

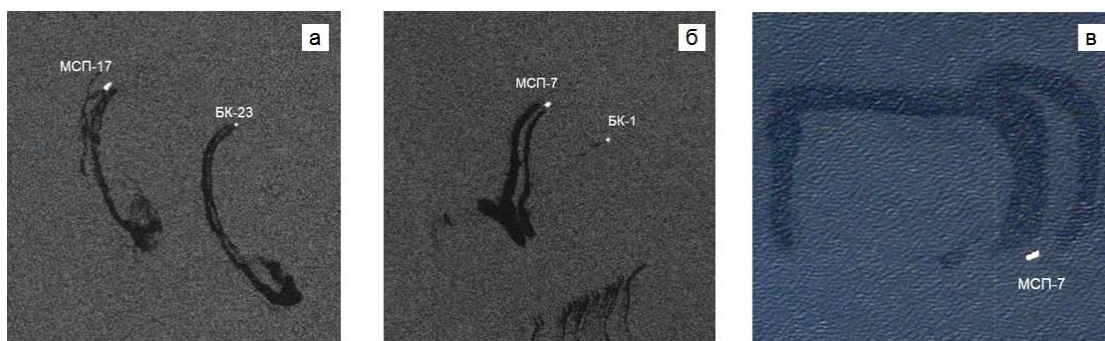
2) По данным ДЗЗ в 2013-2019 гг. было выявлено 24 случая загрязнения прибрежной зоны моря сточными водами севастопольской канализационно-очистительной системы (КОС-1; выброс напротив Голубой бухты) и 14 случаев загрязнения прибрежной зоны балаклавской КОС (г. Балаклава) [4] и рис. 2. Результаты анализа оптических снимков показали возможность определения ряда их ключевых характеристик, в том числе, таких как направление дрейфа и распространение по направлению к побережью. Кроме того, он показывает, что неочищенные

канализационные стоки выходят на поверхность моря или распространяются в его верхнем слое. При устойчивых ветрах юго-восточных румбов, среди которых, однако, преобладающую роль играют локальные течения у побережья Крыма, они достигают береговой черты, где расположены рекреационные зоны, что может осложнять как рекреационную, так и санитарно-эпидемиологическую обстановку. В большинстве случаев путем анализа данных ДЗЗ, полученных в оптическом диапазоне можно точно установить место выхода на поверхность (или участок аварийный трубопровода на дне, откуда реально исходит струя нечистот), направление распространения вод, содержащих антропогенное взвешенное вещество, и его площадь у



поверхности. Распространение вод, загрязненных канализационными стоками, безусловно, определяется полем поверхностных течений, а в узкой прибрежной зоне – ветром и волнением. В 65% случаев стоки распространялись на северо-запад, в согласии с общей схемой циркуляции. При этом наблюдалось преимущественно вдольбереговое распространение загрязненных вод, а в меньшей степени – рассеяние в месте выброса или вынос в открытое море.

Рис. 2. Пример отображения залпового выброса городской КОС-1 г. Севастополь на снимке спутника SPOT от 27.12.2017 (слева); интегральная карта распространения канализационных загрязнений по данным спутниковой съемки 2013-2019 гг. (справа) (рисунок из [4]).



3) Постоянным источником нефтяных загрязнений, помимо активного судоходства, является нефтегазодобыча на шельфе СЗ части Черного моря. Объекты НГК здесь (месторождения Голицынское, Штормовое, Архангельское и др.) большей частью построены во времена СССР, они и их инфраструктура устарели. Кроме того, под действием природных или антропогенных факторов происходит эпизодическая интенсификация выбросов жидких фракций углеводородов [5] и рис. 3.

Рис. 3. Разливы жидких углеводородов у добывающих платформ в СЗ части моря на РЛИ спутника Sentinel-1В от 22.06.2018 и на оптическом снимке Sentinel-2В от 29.06.2018 (а – «Штормовое» месторождение, б, в – «Архангельское» месторождение) (рисунок из [5]).

4) Керченский пролив, состояние его морской среды постоянно находится на слуху, начиная с 1960-х гг. прошлого века неоднократно обсуждалось в СМИ [6-8]. В том числе неоднократно поднимались вопросы законности существования рейдовой перевалки опасных грузов в южной части пролива. Хорошо известно, что в пределах рейдового перегрузочного порта Тамань на внешнем перегрузочном рейде (район № 471) происходят перегрузки различных жидких (нефть, нефтепродукты, ГСМ, прочие масла) и сыпучих (сера, кокс, удобрения, химикаты, цемент и т.п.) продуктов с судов типа «река-море» на морские танкеры и сухогрузы. Обычная технологическая схема перевалки: трюм (речное судно) → плавкран → трюм (морское судно) [6]. Кроме того, дноуглубительные работы в основном судоходном канале для поддержания его в надлежащем состоянии происходят уже на протяжении многих десятков лет. Захоронение грунтов дноуглубления (т.н. дампинг грунтов) традиционно производится в предпроливной зоне Черного моря на участках, называемых свалками [6,7]. Кроме того, в связи с введением в эксплуатацию Крымского моста пролив подвергается дополнительным рискам [8].

В заключение следует заметить, что Черное море, его прибрежные зоны, Керченский пролив являются уникальными морскими акваториями. С одной стороны, пролив – это важная морская артерия, связывающая Черное и Азовское моря, чем обусловлено активное судоходство. С другой стороны, здесь находятся места обитания и проходят миграционные пути ряда промысловых рыб и других животных. По данным ряда исследователей на состояние экосистемы этой части Азово-Черноморского бассейна оказывают влияние множество факторов, однако, наряду с судоходством и активным рыбным промыслом, дноуглубление и дампинг грунтов являются самыми существенными. Кроме того, отмечаются тенденции роста содержания загрязняющих веществ в водах предпроливья и прибрежных зон курортных городов Крыма и кавказского побережья. В связи с этим, очевидно, увеличивать техногенную нагрузку на пролив и прибрежные зоны недопустимо, так как она и так превышает возможные пределы и должна быть сведена к минимуму, тем более в условиях появления Крымского моста и перегрузочного порта Тамань.

Литература

1. Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А., и др. Пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ // *Исслед. Земли из космоса*, 2017. № 2. С. 13-25.
2. Иванов А.Ю., Хлебников Д.В., Коновалов Б.В., Евтушенко Н.В., Терлеева Н.В. Особенности отображения выносов рек в Черном море в данных дистанционного зондирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2018. Т. 15. № 5. С. 191-202.
3. Хлебников Д.В., Иванов А.Ю., Коновалов Б.В. Структура выноса р. Шахе в Черном море по данным дистанционных, пиromетрических и контактных измерений // *Океанологические исследования*, 2019. Т. 47. № 3. С. 220-232.
4. Кучейко А.А., Иванов А.Ю., Григорьев Н.С., Ушков Д.А., Терлеева Н.В. Канализационные выбросы в прибрежной зоне Черного моря: наблюдение и дистанционный контроль из космоса // *Экология и промышленность России*, 2019. Т. 23. № 12. С. 54-60.
5. Иванов А.Ю., Матросова Е.Р. Техногенная грифонная активность в северо-западной части Черного моря по данным съемок из космоса // *Экология и промышленность России*, 2019. Т. 23. № 8. С. 57-63.
6. Загрязнение акватории Керченского пролива: взгляд из космоса (<https://ocean.ru/index.php/novosti-left/novosti-instituta/item/1390-zagryaznenie-akvatorii-kerchenskogo-proлива-vzglyad-iz-kosmosa>).
7. Дноуглубительные работы у порта Тамань в Керченском предпроливье: результаты наблюдения из космоса (http://www.scanex.ru/company/news/dnouglubitelnye-raboty-u-porta-taman-v-kerchenskom-predprolive-rezultaty-nablyudeniya-iz-kosmosa/?sphrase_id=16386&sphrase_id=16386).

8. У Крымского моста обнаружены пятна пленочных загрязнений (http://www.scanex.ru/company/news/u-krymskogo-mosta-obnaruzheny-pyatna-plenochnykh-zagryazneniy/?sphrase_id=16387&sphrase_id=16387).

Работа по государственному заданию Министерства науки и образования России (темы № 0149-2019-0003 и № АААА-А19-119022190168-8) и проекту РНФ (грант 18-47-06202).

The study is supported by the Ministry of Science and Education of Russia (themes No. 0149-2019-0003 and № АААА-А19-119022190168-8) and the Russian Science Foundation (Grant 18-47-06202).

УДК 912

ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ

А. В. Холопцев^{1,2}, Подпорин С.А.¹

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

²Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь, Россия

CLIMATE WARMING IN THE FAR EAST OF RUSSIA IN SUMMER MONTHS AND ARCTIC AIR OUTBREAKS

A.V. Kholoptsev^{1,2}, S.A. Podporin¹

¹Federal State Educational Institution of Higher Education “Sevastopol State University”, Sevastopol, Russia

²Sevastopol branch of Federal State Budgetary Institution “N.N. Zubov State Oceanographic Institute”, Sevastopol, Russia

Рассмотрены статистические связи межгодовых изменений среднемесячных значений концентраций метана и температур воздуха в летние месяцы в различных секторах Дальневосточного региона с вариациями суммарных продолжительностей вторжений арктического воздуха в том или ином секторе. Выявлены условия, при которых эти связи являются значимыми.

The statistical relationships of interannual changes in mean monthly concentrations of methane and air temperatures in the summer months in different sectors of the Far Eastern region with variations in the total duration of the outbreaks of the Arctic air in a particular sector are considered. The conditions under which these relationships are significant are revealed.

Происходящее в современном периоде потепление климата существенно влияет на жизнедеятельность населения многих регионов мира, функционирование экономики и развитие их ландшафтных комплексов. Поэтому развитие современных представлений об особенностях влияния на них различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии, метеорологии и климатологии.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет в отношении регионов, где этот процесс проявляется наиболее остро. В России одним из них является Дальний Восток, где это явление характерно для любых месяцев, но в летний сезон способно причинить наибольший ущерб его природе. В данное время года оно активизирует здесь термическое разрушение многолетнемерзлых пород (Вечной мерзлоты) и связанные с ним экзогенные геологические процессы, способствует повышению пожароопасности в природных экосистемах и внедрению в них инвазивных видов живых существ, а также вызывает многие другие опасные последствия. Поэтому решение рассматриваемой проблемы для указанного региона и летних месяцев имело бы не только теоретическое, но и немалое практическое значение.

Одним из природных процессов, способных влиять на потепление климата различных районов Дальнего Востока России, являются такие разновидности блокингов [1], как проходящие через соответствующие территории вторжения арктического воздуха (ВАВ).

Если ВАВ проходит над районами метановой дегазации земной коры, весьма распространенными на шельфе арктических морей, омывающих Дальний Восток России, оно захватывает выделившийся в воздух метан и разносит по всему пути своего распространения. Последнее служит фактором потепления климата во всех регионах, где ощущается данный процесс. Значимость и особенности влияния данного фактора на динамику характеристик климата различных частей данного региона изучена недостаточно, вследствие чего при ее моделировании оно не учитывается. Это в какой-то мере снижает адекватность получаемых результатов. Следовательно, заслуживает рассмотрения следующая гипотеза: для летних месяцев межгодовые изменения суммарных продолжительностей (СП) ВАВ, которые проходят

над участками земной поверхности, где происходит интенсивная метановая дегазация недр, и пересекают территории Дальнего Востока России, являются значимыми факторами повышения среднемесячных значений характерных для них температур воздуха (T_v).

Целью данной работы является проверка выдвинутой гипотезы, а также выявление условий, при которых она является адекватной.

Информация о расположении участков земной поверхности в Дальневосточном регионе, где происходит метановая дегазация земных недр, получена из реанализа CAMS [2].

Проверка выдвинутой гипотезы осуществлялась для сектора 160°E – 160°W , где наблюдаются наибольшие концентрации метана в воздухе. На ее первой стадии производилось обнаружение всех ВАВ, существовавших в летние месяцы над различными секторами региона шириной 5° за 1979–2018 гг. При обнаружении ВАВ применялась методика, включающая два этапа. На первом этапе, учитывая результаты реанализа NCEP/NCAR среднесуточных значений в мае-октябре атмосферного давления, приведенного к уровню моря, а также абсолютных высот геопотенциала 700 и 300 гПа [2], производилось предварительное выявление полос, связывающих Арктический и Субтропический антициклон. На втором этапе, с использованием реанализа ERA-Interim (срочных данных о T_v на высоте 1000 гПа и скорости приземного ветра) производилось окончательное обнаружение ВАВ [3]. Для этого проверялось наличие в выявленных полосах снижения температур воздуха и ветра северных румбов.

На второй стадии проверки гипотезы производился корреляционный анализ связей между временными рядами среднемесячных значений T_v , а также совпадающими с ними по времени рядами суммарных продолжительностей ВАВ, происходивших в том или ином секторе из интервала долгот 160°E – 160°W . Значимость связей между теми или иными рядами оценивалась с применением критерия Стьюдента. Выявлялись связи между изучаемыми процессами, вывод о значимости которых обладает достоверностью не ниже 95% (уровень значимости модуля коэффициента корреляции – 0,34). Значимость вариаций СП ВАВ в некотором секторе как фактора изменений среднемесячных T_v , оценивалась по количеству узлов координатной сетки реанализа NCEP/NCAR ($2,5^\circ$), для которых установлена значимость связей между упомянутыми временными рядами.

Установлено, что в период с 1979 по 2018 гг. СП ВАВ во всех секторах изучаемого региона значимо возрастали (наиболее быстро в восточной части Восточно-Сибирского моря и в районе Берингова пролива). Средние значения СП ВАВ увеличивались с запада на восток, достигая максимальных уровней в секторе, соответствующем Берингову проливу ($\lambda=165^\circ\text{W}$). Среднемесячные T_v здесь всюду повышались. Скорости этого процесса были максимальны (до 6°C за 37 лет!) в районе острова Карагинский (Берингово море) и к востоку от него, над Чукотским морем, а также в районе залива Нортон (полуостров Аляска). В то время как причиной повышения среднемесячных T_v в августе на суше могут являться и другие факторы, их повышение над акваториями Берингова моря и Тихого океана может быть вызвано либо повышением их поверхностных температур, либо увеличением содержания в воздухе над ними метана, усиливающего парниковый эффект.

Корреляционный анализ связей межгодовых изменений августовских значений доставляющих метан СП ВАВ в том или ином секторе, а также среднемесячных T_v во всех секторах изучаемого региона позволил выявить сектор, где вариации СП ВАВ являются наиболее значимым фактором происходящего в регионе потепления.

В соответствии с описанной методикой осуществлен корреляционный анализ связей межгодовых изменений СП ВАВ для летних месяцев, пересекающих различные участки побережий Восточно-Сибирского и Чукотского моря, а также вариаций совпадающих с ними по времени среднемесячных значений T_v на различных участках территории и акватории изучаемого региона. В качестве примера, на рисунке 1 показаны расположения участков, где корреляция рассматриваемых процессов в августе значима и положительна.

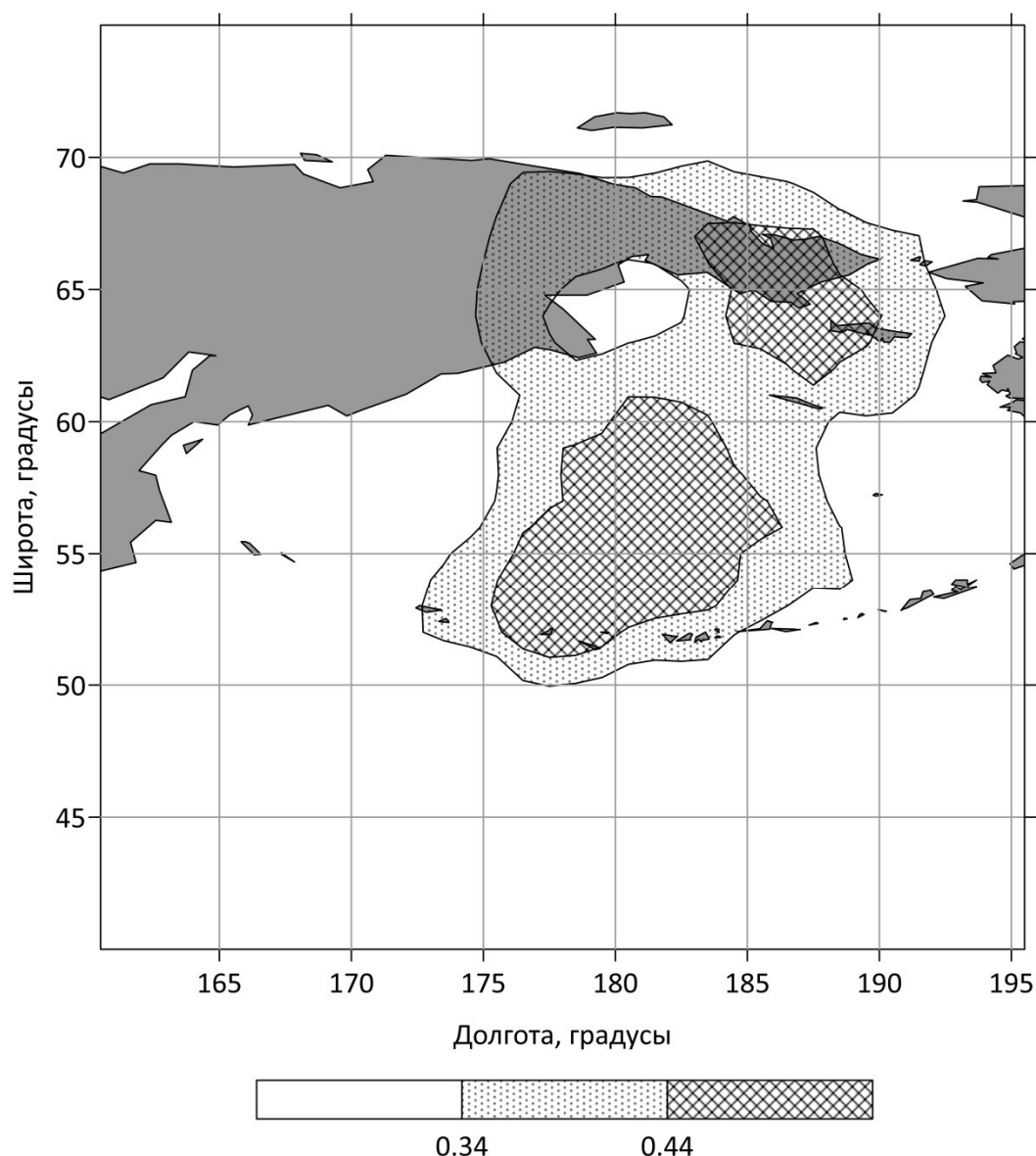


Рисунок 1. Расположение области значимой положительной корреляции СП ВАВ в секторе $175\text{--}172,5^\circ\text{W}$, а также августовских среднемесячных T_v в Дальневосточном регионе

Как видно из рисунка 1, в рассматриваемом регионе существует область значимой положительной корреляции межгодовых изменений августовских среднемесячных T_v , а также вариаций СП ВАВ, которые проходят в августе над участком побережья полуострова Чукотка от Колючинской губы до мыса Сердце-камень ($175^\circ\text{--}172,5^\circ\text{W}$).

Упомянутая область простирается между параллелями 50° и 69°N и меридианами $172,5^\circ\text{E}$ и $167,5^\circ\text{W}$. Она включает значительную часть территории Дальнего Востока России, а также Берингова моря и Тихого океана. Наиболее сильная корреляция рассматриваемых процессов имеет место в районе полуострова Чукотка, включающем и Анадырский залив Берингова моря, а также в районе Алеутских островов (Ближних, Крысыих и Андреяновских), с прилегающими к ним акваториями Берингова моря и Тихого океана. Здесь среднемесячные значения T_v повысились за 37 лет на $3^\circ\text{--}4^\circ\text{C}$. Температуры поверхностей указанных океанических акваторий за этот период на $3^\circ\text{--}4^\circ\text{C}$, к счастью, не повысились. Следовательно, данный результат указывает на то, что повышение среднемесячных T_v над такими акваториями есть результат повышения над ними среднесуточных T_v непосредственно в те сутки, когда здесь повышалась концентрация в воздухе метана, доставляемого ВАВ. Последнее приводило к локальному и временному усилению парникового эффекта, которое прекращалось после завершения ВАВ.

Таким образом, полученный результат соответствует представлениям о возможных последствиях увеличения над указанными регионами содержания в воздухе метана при возрастании СП ВАВ, проходящих над участками земной поверхности, где происходит его выделение в атмосферу. Тем не менее, для более надежного подтверждения адекватности выдвинутой гипотезы, осуществлен корреляционный анализ связей изменений СП ВАВ в тех или иных секторах Дальневосточного региона, а также среднемесячных значений общего содержания метана (ОСМ) в каждом его секторе для каждого месяца с мая по октябрь в период с 2000 по 2016 гг.

При вычислении значений ОСМ с использованием реанализа CAMS предполагалось, что в промежутках между соседними уровнями, для которых в данном реанализе указаны концентрации метана, значения данного показателя постоянны и равны их средним арифметическим.

Установлено, что расположения и конфигурация областей, где корреляция изучаемых процессов значима и положительна, в июле и августе близки к расположениям таких же областей для СП ВАВ и среднемесячных T_b . В июне, а также мае, сентябре и октябре подобного явления не выявлено. Полученный результат свидетельствует о том, что выдвинутая гипотеза адекватна.

Поскольку существенной причиной выделения метана на шельфе арктических морей, является термическое разложение метаногидратных залежей, сформировавшихся в недрах земли в период, предшествующий современной трансгрессии, представляется вероятным, что дальнейшее повышение уровня их водной поверхности может привести к повышению интенсивности этих выделений.

Учитывая выявленную тенденцию к увеличению СП ВАВ, проходящих над участками метановой дегазации, изложенное позволяет предположить, что в результате повышения уровня водной поверхности Восточно-Сибирского и Чукотского моря, возрастать будут и T_b .

Единственным способом частично предотвратить это потепление во всем Дальневосточном регионе России, по-видимому, является строительство дамб, защищающих от затопления территории, на которых расположены метаногидратные залежи.

Таким образом, установлено, что выдвинутая гипотеза адекватна лишь для таких летних месяцев как июль и август. В мае, июне, а также сентябре и октябре рассматриваемый эффект не выявлен.

Характер статистических связей межгодовых изменений СП ВАВ, которые проходят над участками земной поверхности Дальневосточного региона, где происходит интенсивная метановая дегазация, с вариациями среднемесячных значений T_b , а также ОСМ, соответствует представлениям о том, каким они должны были бы быть, если бы эти связи были причинными.

Чем больше СП ВАВ, тем, при прочих равных условиях, больше среднемесячные значения ОСМ, а также T_b . Подобная закономерность наблюдается как над континентальными регионами, так и над океаническими, где темпы повышения температур поверхности в рассматриваемый период были на порядок ниже.

Грандиозные темпы потепления (до 6°C за 37 лет!), происходящего в современном периоде в выявленных районах, свидетельствуют о том, что рассматриваемый процесс может вносить ощутимый вклад в потепление глобального климата и представляет опасность не только для Дальнего Востока России, но и для всего мира.

Литература

1. Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А. Блокинг в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // Доклады Академии наук. – 2013. – том 449. – №5. – С.1–5.
2. Boy M. et al. [Interactions between the atmosphere, cryosphere, and ecosystems at northern high latitudes](#) // Atmos. Chem. Phys. – 2019. – 19. – P. 2015–2061. DOI: 10.5194/acp-19-2015-2019.
3. Dee D.P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2011. – Vol. 137. – № 656. – P. 553–597. DOI:10.1002/qj.828

ВЛИЯНИЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЫ НА СЕЗОННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БАЛАНСА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ БОЛЬШИХ РАВНИННЫХ РЕК

С.Р. Чалов, А.С. Чалова, М.К. Тарасов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

FLOODPLAIN INUNDATION EFFECTS ON SEDIMENT BUDGET SEASONALITY OF LARGE PLAIN RIVERS

S.R. Chalov, A.S.Chalova, M.K. Tarasov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

На основе технологии дистанционного определения мутности и восстановления характеристик стока взвешенных наносов с привлечением сетевых наблюдений за расходами взвешенных наносов по постам УГМС проведено исследование сезонной трансформации стока наносов для равнинных участков крупных широкопойменных рек. Показано, что характерной особенностью участков рек с затопляемой поймой являются сезонные колебания продольного увеличения и снижения мутности воды.

Based on remote sensing data and on-situ observations, we identified seasonal patterns of sediment budget along large river channels. Floodplain inundation is related to deposition of suspended sediment which lead to decline in suspended load.

Введение. Поток наносов формируется за счет сложного сочетания процессов в пределах разных звеньев эрозионно-руслевой системы и испытывает значительное изменение по длине русловой сети. Одним из факторов этих изменений является взаимодействие со слагающим дно рек грунтами. Одной из форм этих взаимодействий является осаждение частиц и накопление материала на пойменных массивах, что характерно для периода повышенного стока при затоплении пойм [1,2,3]. В настоящей работе на основе технологии дистанционного определения мутности по данным снимков LandSat и восстановления характеристик стока взвешенных наносов с привлечением сетевых наблюдений по постам УГМС проводится исследование сезонной трансформации стока наносов для равнинных участков крупных широкопойменных - рек р. Лена (участок длиной около 200 км от г. Покровск до устья р. Алдан) (рис. 1) и р. Селенга (участок длиной около 250 км от п. Наушки до г. Кабанск), а также дельты р. Селенга и р. Верхняя Ангара (рис. 2).

Материалы и методы. Методика определения мутности заключается в моделировании концентрации взвешенных частиц по серии космических снимков и последующем сопоставлении полученных данных с расходами воды [4]. Расчет мутности воды проведен для участка р. Лена от г. Покровск до устья р. Алдан (рис. 1) для архива Landsat (90 снимков за 62 изображений, полученных в период с 1992 по 2018 год). Модели распределения мутности воды нижнего течения и дельты Селенги рассчитаны для снимков спутников Landsat 5,6,8 (82 снимка за период 1989-2015 гг.). В качестве исходных данных калибровочной модели мутности воды для дельты Верхней Ангары использовалась серия из 90 снимков спутниковых систем Landsat 5 и Landsat 8 за 1986-2018 гг.



Рис. 1. Положение участков расчета и поперечных профилей мутности р. Лены на участке от г. Покровск до устья Алдана

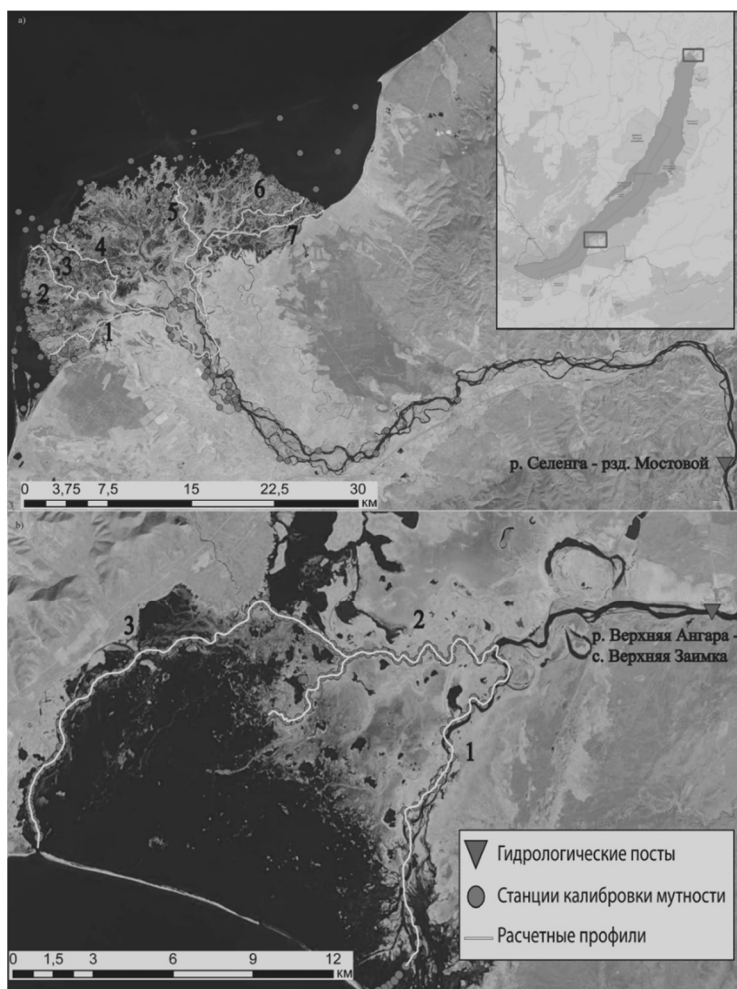


Рис. 2. Положение продольных профилей мутности дельт Верхняя Ангара и Селенга

Баланс мутности воды рассчитывался как отношение мутности воды каждого створа S_n к значению мутности в первом S_1 (ΔS_01), а также как отношение мутности каждого последующего створа S_{n+1} к предыдущему S_n (ΔS_02):

$$\Delta S_01 = (S_n - S_1) / S_1$$

$$\Delta S_02 = (S_{n+1} - S_n) / S_n ,$$

где S_1 – среднее значение мутности по первому профилю, S_n – среднее значение мутности по профилю n . Положительным значениям ΔS соответствует продольное увеличение мутности (эрозия), отрицательным – снижение мутности (аккумуляция).

Результаты и их обсуждение. Сопоставление значений мутности воды на соседних створах ΔS_02 р. Лены, удаленных друг от друга в среднем на 10 км, выявило наличие тенденции к большей однородности балансов наносов при значениях мутности воды в интервале от 15000 до 30000 м³/с (рис. 3). Коэффициент вариации C_v средних значений мутности S в пределах отдельных 5 профилей (№ 6-10) Якутского разветвления р. Лены (№2) (рис. 1) меняется при низких расходах воды (менее 15000 м³/с) в интервале от 0,25-0,27 (максимальное значений C_v отмечено на профиле 9), при средних расходах воды – от 0,11 до 0,15 (максимальное C_v – на профиле б). Наконец, при высоких расходах воды (более 30000 м³/с) C_v в профилях Якутского узла меняется в интервале 0,39-0,44 (максимальное C_v – на профиле 6 и 8). Увеличение вариации S при максимальных расходах воды связано с влиянием взаимодействия пойменных и русловых потоков при увеличивающимся затоплении пойменных массивов. Для всех исследуемых участков выявляется преобладание аккумулятивных процессов при прохождении высоких расходов воды (более 20000 м³/с), когда величина ΔS_n снижается до -4 %, в доверительном

интервале 25-75 % изменяется в интервале от +1 до – 9 %. Это объясняется гидравлическими факторами [2] - снижением уклонов русла и возникновения дополнительных сопротивлений в связи с затоплением пойменных массивов в пределах разветвленных участках рек при прохождении высокого стока.

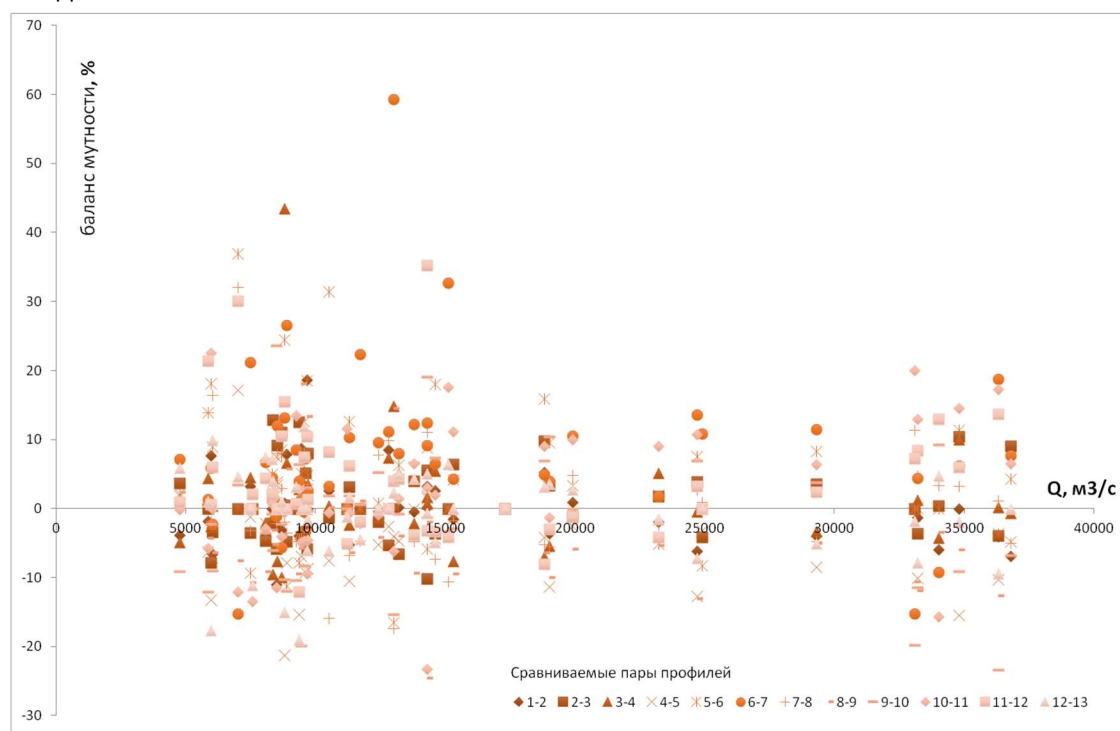


Рис. 3. Балансы мутности воды между соседними профилями ΔS_{02} (%) при разных расходах воды Q по г/п Табага

В пределах дельт особенности затопления пойменных массивов оказывают еще более сильное влияние на сезонный ритм баланса взвешенных наносов. В верхней Ангаре проявляется усиление аккумуляции в период повышенного стока (при расходах воды выше среднемноголетнего $Q_0=269 \text{ м}^3/\text{с}$). В дельте Селенги при расходах воды ниже среднемноголетнего $Q_0=865 \text{ м}^3/\text{с}$ возникают ситуации, когда наблюдается продольное увеличение стока взвешенных наносов. Последнее может быть связано с влиянием нагонов со стороны Байкала, приводящих к взмучиванию тонкодисперсного материала. Ситуация, при которой в дельте Селенги преобладает аккумуляция (отрицательный баланс взвешенных наносов), наблюдается как при низких, так и при высоких расходах воды (более $1500 \text{ м}^3/\text{с}$). В среднем, при повышенных расходах аккумуляция составляет 15 % от общего стока наносов в вершине дельты, и связана с затоплением участков поймы и озерах нижней части дельты.

Литература

1. Métivier F., Meunier P. Input and output mass flux correlations in an experimental braided stream. Implications on the dynamics of bed load transport // Journal of Hydrology – 2003. – Vol. 271 – Iss. 1-4 - P. 22-38
2. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Географический факультет – 2009 - 240 с.
3. Chalov S., Alexeevsky N.I. Braided rivers: structure, types and hydrological effects // Hydrology research – 2015 – Vol. 46 – P. 258–275
4. Чалов С.Р., Базилова В.О., Тарасов М.К. Баланс взвешенных наносов в дельте Селенги в конце XX-начале XXI века: моделирование по данным снимков Landsat // Водные ресурсы – 2017 - № 44 (3) - С. 332–339.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60219 – для р. Лены и 17-29-05027 – для рек бассейна Байкала).

This study was supported by the Russian Fund for Basic Research (project No. № 18-05-60219 for Lerna River and 17-29-05027 – for rivers of Lake Baikal catchment)

РАСЧЕТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОРТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.Ю. Чанцев^{1,2}, А.В. Даншина¹

¹ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

CALCULATION OF ICE LOADS ON PORT STRUCTURES BASED ON NUMERICAL MODELING

V.Yu. Chantsev^{1,2}, A.V. Danshina¹

¹FSBI “Arctic and Antarctic Research Institute”

²FSBEI HE “Russian State Hydrometeorological University”

Работа направлена на исследование поведения плавучего льда на акватории порта Сабетта под действием приливных и дрейфовых течений, стока реки Сабетта-Яха и ветра. Особенности донной топографии порта приводят к тому, что силы, воздействующие на лед, вызывают формирование сплоченного льда на рабочих участках порта, оказывая опасные нагрузки на гидротехнические сооружения.

The work is aimed at studying the behavior of floating ice in the water area of the Sabetta port under the influence of tidal and drift currents, the flow of the Sabetta-Jaha river and wind. Peculiarities of the bottom topography of the port lead to the fact that the forces acting on the ice cause the formation of copulative ice on the working sections of the port, putting dangerous loads on the hydrotechnical structures.

Обская губа Карского моря представляет собой регион, где реализуются перспективные ресурсные и транспортные проекты. В связи с этим нужно отметить, что морфометрические и погодные особенности этого района требуют изучения изменчивости гидрофизических и литодинамических процессов с высоким пространственным разрешением. Не исключено, что опасные теплофизические и динамические явления, величину которых необходимо оценивать, будут воздействовать на все элементы морской инфраструктуры.

Для осуществления численных расчетов гидрофизических процессов в Обской губе использовался адаптированный к местным условиям модельном комплексе Delft3D, способный выполнять вычисления на сетке с разрешением до 10-100 м, а в некоторых случаях и с разрешением 1-3 м. Необходимость высокой пространственной детализации определяется условиями гидротехнической деятельности в отдельных районах рассматриваемого региона [1].

Расчет дрейфа льда

Дрейф льдин моделируется в лагранжевой системе координат, позволяющей более детально описывать распределение отдельных льдин при их дрейфе. Расчет скорости и направления дрейфа льдин производится на основании уравнений дрейфа льдин:

$$M \frac{dU_{ice}}{dt} = \sum_i F_i^x \quad (1)$$

$$M \frac{dV_{ice}}{dt} = \sum_i F_i^y \quad (2)$$

где M – масса льдины, F_i^x, F_i^y – составляющие действующих сил.

Силы, вызывающие движение льдины, представлены воздействием течений, ветра и взаимодействием льдины с другими льдинами и другими препятствиями.

Воздействие ветра определяется величиной касательного и нормального (бокового) напряжения ветра. Параметры шероховатости поверхности льда задавались согласно [2]. Нормальное боковое напряжение ветра представляло собой величину давления ветрового потока на боковую надводную поверхность льдины. Воздействие течений описывается аналогично воздействию ветра.

Взаимодействия льдин рассматриваются как центральные и неупругие. В связи с этим все льдины рассматриваются как круглые объекты, частично погруженные в воду. Согласно закону сохранения импульса при условии одинаковой массы для n взаимодействующих льдин имеем:

$$m \sum_{i=1}^n V_i = m \sum_{i=1}^n V_i' \quad (3)$$

где V_i – скорости льдин до взаимодействия, V_i' – скорости льдин после их взаимодействия.

Согласно условию неупругих взаимодействий, льдины после их столкновения получают общий импульс, определяемый как средний. Взаимодействие с неподвижными препятствиями гасит нормальные составляющие импульса и сохраняет касательные. Трение о препятствия не учитывается, т.к. форма льдин принимается круговой.

Проведение численных экспериментов

Решение гидродинамической задачи проводилось на ортогональной расчетной сетке с горизонтальным пространственным размером ячейки ~ 5 м. В виду отсутствия детальных промеров на акватории порта распределение сеточной батиметрии строилось по данным существующих навигационных карт и проектным данным по дноуглубительным работам. Как показывают проведенные вычислительные эксперименты, распределение глубин на территории порта оказывает значительное влияние на формирование поля течения.

Формирование течений на акватории порта осуществляется за счет приливных колебаний уровня моря в Обской губе, ветрового воздействия и стока реки Сабетта-Яха. Все физические параметры модели задавались аналогично работе [1]. Расход реки Сабетта-Яха представлен двумя сезонными сценариями, описываемых средними величинами 25 и 126 м³/с. Ветровые условия у поверхности воды задаются постоянными на весь период моделирования. Расчет течений выполнен для трех направлений ветра: северный, южный и западный с постоянной силой 20 м/с. Период интегрирования по времени для всех численных экспериментов по расчету течений составлял 4 недели.

Для получения представления о формировании и изменчивости поля течения поверхностного слоя под воздействием приливных колебаний уровня моря и расхода реки Сабетта-Яха были проведены численные эксперименты при отсутствии касательного и нагонного воздействия ветра.

Основные движения водных масс в порту осуществляются по глубоководным структурам бассейна порта. Движение вод на мелководных участках акватории порта менее интенсивно по сравнению с глубоководной частью. В связи с этим основные особенности в горизонтальной структуре полей течений прослеживаются на входе в акваторию порта. Под действием приливного течения в Обской губе и умеренного стока реки Сабетта-Яха у северного края на входе в порт формируется вихревое образование антициклонической завихренности с линейной скоростью движения воды в верхнем слое 4-5 см/с. При смене направления приливного течения, антициклонический круговорот размывается, а у южной окраины на входе в порт начинает формироваться циклонический вихрь.

В течение полусуточного цикла видно, что при снижении интенсивности приливных движений в Обской губе и перестройки течений, происходит увеличение интенсивности течения в устье реки Сабетта-Яха, что влечет за собой увеличение скорости течения в восточной части порта до 30-35 см/с. Влияние ветра прослеживается в формировании течения в верхнем слое моря в глубоководной части порта. В западной части порта (до причала №3) всегда прослеживается влияние стока реки. В глубоководной части порта структура течения находится под влиянием сильного ветра.

Необходимо отметить, что для всех вариантов речного стока и направлений ветрового воздействия, скорость течения в мелководной северной части порта не превышает 1 см/с.

Расчет дрейфа ледовых образований на акватории порта осуществлялся для 4 сценариев, соответствующих заданным направлениям ветра и для 2 режимов расхода реки Сабетта-Яха. Выбранные направления ветра определяли начальное положение сплоченного льда, который в дальнейшем дрейфовал под действием течений, ветра и взаимодействий с соседними льдинами.

Для северного и западного ветра горизонтальный размер льдин составлял 30 м, толщиной 0.5 м. Сплоченность льда задавалась на уровне $\sim 70\%$.

При расходе реки $25 \text{ м}^3/\text{с}$ дрейфующий лед достиг 1, 2 и 3 причалы через 1.5 часа. К этому сроку первые льдины достигли границы «ковша» между 4 и 5 причалами. Средняя скорость дрейфа льдин на этот момент времени составляла $1.8 \text{ м}/\text{мин}$. Интенсивное заполнение выше указанного «ковша» происходит через 2 часа после начала эксперимента (рис. 1б). К этому моменту средняя скорость льдин достигала $2.3 \text{ м}/\text{мин}$. Через 9 часов от начала эксперимента лед заполнил полностью все «карманы» причальной зоны порта, в том числе и «ковш» между 4 и 5 причалами.

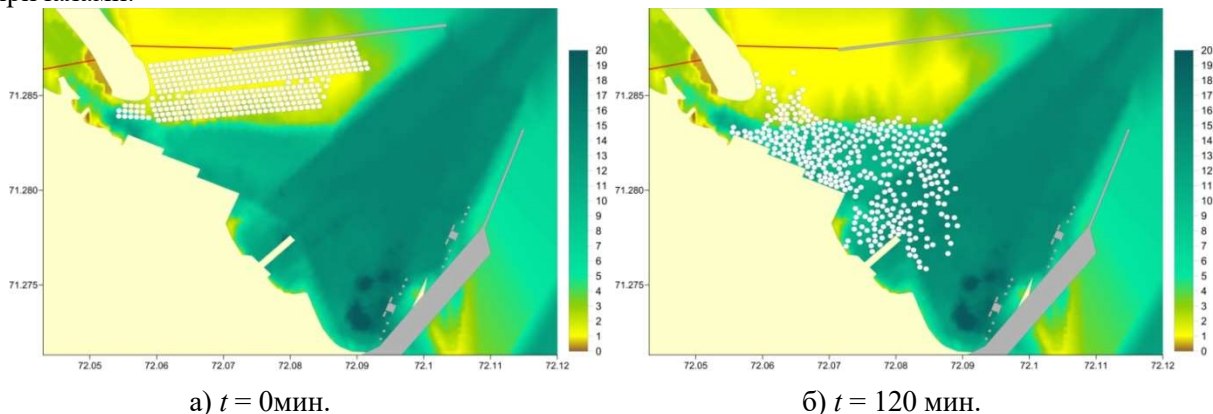


Рис. 1 Дрейф льда, расход реки $25 \text{ м}^3/\text{с}$, ветер северный $20 \text{ м}/\text{с}$.

При расходе реки $126 \text{ м}^3/\text{с}$ льдины смещаются не только на юг, но и в восточном направлении. Зоны 1, 2 и 3 причалов и акватории «ковша» между 4 и 5 причалами дрейфующий лед достигает только через 4 часа после начала эксперимента. При этом средняя скорость дрейфа льдин составила $1.5 \text{ м}/\text{мин}$. Заполнение «ковша» прослеживается к 5 часу от начала эксперимента (рис.2а) с средней скоростью дрейфа льда $\sim 1.9 \text{ м}/\text{мин}$. Плотная упаковка льда со сплоченностью $> 90\%$ в «ковше» сформировалась к концу приливного цикла, т.е. через 12 часов после начала эксперимента.

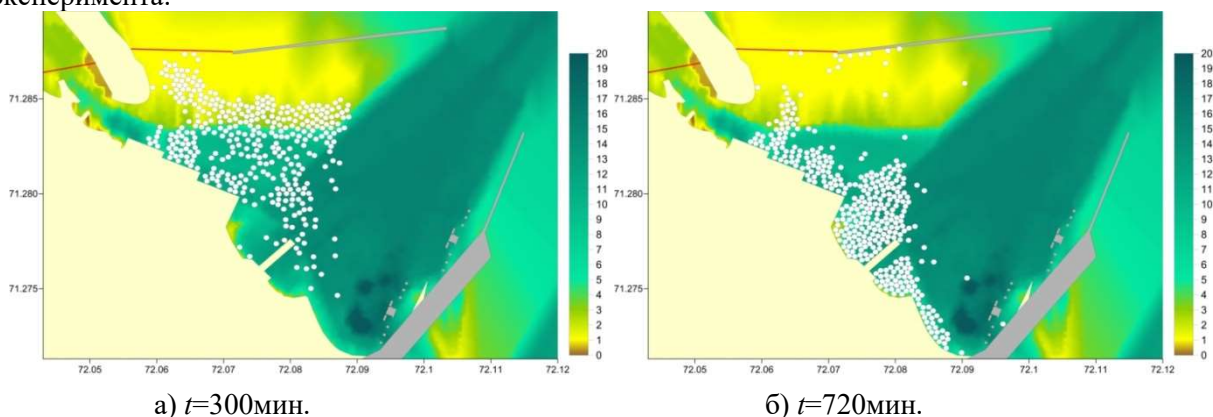


Рис. 2 Дрейф льда, расход реки $126 \text{ м}^3/\text{с}$, ветер северный $20 \text{ м}/\text{с}$.

Для эксперимента с южным ветром лед с повышенной сплоченностью располагался в «ковше» между 4 и 5 причалами. При анализе натурных данных отмечалось, что в период взлома льда в этом районе формируются большие по площади ледовые образования. В связи с этим горизонтальные размеры льдин в эксперименте составляли 110 м , а толщина льдин равнялась 1 м .

При стоке реки $25 \text{ м}^3/\text{с}$ и южном ветре интенсивностью $20 \text{ м}/\text{с}$ льдины покидают акваторию между 4 и 5 причалами уже через 1 час. Но уже через 3 часа после начала эксперимента часть льдин прижимает к 4 и 3 причалам, а остальные льдины устремляются к северной границе порта (рис.3б).

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННЫХ И РАСЧЕТНЫХ СКОРОСТЕЙ НАЧАЛА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ

А.С. Чеботарев, О.А. Петровская

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

COMPARISON OF EXPERIMENTALLY ESTABLISHED AND CALCULATED INCIPIENT MOTION VELOCITIES

A.S. Chebotarev, O.A. Petrovskaya

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

Выполнены эксперименты по изучению начала движения частицы на гладком дне и дне с закрепленной шероховатостью. Путем отношения времени движения частицы ко времени нахождения ее в покое выделено четыре режима ее движения. Выполнено сравнение ряда употребительных формул для скоростей начала движения с экспериментальными данными, характеризующими первый режим (начальные подвижки). Наибольшее соответствие экспериментальным данным показала формула В.Н. Гончарова.

An experimental study of incipient motion on smooth bed and bed with fixed roughness is accomplished. Four regimes of particle motion are differentiated by the ratio of the time when particle is in motion to the time of particle quiescence. A comparison of a range of commonly used formulas for incipient motion velocities with the obtained experimental data corresponding to the first motion regime (incipient shifts) is performed. V.N. Goncharov's formula showed the greatest accordance to the experimental data.

Вопрос о количественной оценке начала движения несвязных частиц на дне водных потоков (предельных неразмывающих скоростей или касательных напряжений) остается одной из крайне запутанных и наиболее остро дебатированных «классических» проблем современной теории руслового процесса, речной гидравлики и транспорта наносов в реках и земляных каналах [1].

В период с 2008 по 2014 год в малом зале Главной экспериментальной базы Государственного гидрологического института, в восьмиметровом гидравлическом лотке, проводились эксперименты по исследованию параметров начала движения частицы на дне потока. Характерной особенностью данных исследований являлся подход к изучению начала движения не грунта в целом, а отдельной частицы, на гладком дне и на дне с закрепленной шероховатостью. Слой металлической дробы, выложенный на дне, не сдвигается при скоростях необходимых для начала движения частицы, однако обеспечивает то же гидравлическое сопротивление, что и слой частиц сравнимого размера; а значительно более светлая по сравнению с цветом дробы частица хорошо на нем видна. Кроме того, фиксация движения частицы проводилась с помощью цифровой видеосъемки, вошедшей в обиход не так давно по отношению ко времени начала экспериментов. Оба эти обстоятельства позволили наблюдать исследуемые параметры с высокой точностью.

Русловой лоток (рис. 1) имеет стеклянные боковые стенки и стеклянное дно. Длина лотка 8 м, ширина 0,21 м, высота стенок 0,25 м, уклон дна прямой до 0,025, обратный до 0,015, расход воды оборотного водоснабжения до 12 л/с. Дно и боковые стенки выполнены из стекла толщиной 8 мм. Лоток смонтирован на базе двух швеллеров, консольно опирающихся на неподвижную опору с шарниром и на подъемный винт. У входа в лоток установлены сетчатый и ячеистый успокоители, а в конце – водосливной щиток. Изменяя высоту водосливного щитка и наклон лотка, можно получить равномерный режим течения для различных сочетаний гидравлических характеристик потока.



Рис. 1. Общий вид восьмиметрового руслового лотка

В программу экспериментов входило исследование режима движения в потоке на различных видах подстилающей поверхности частиц различной формы и размера. Видов подстилающей поверхности было шесть:

- гладкое стеклянное дно;
- шероховатость, созданная железной дробью крупностью 1,5 мм, слоем в одну частицу;
- шероховатость, созданная свинцовой дробью крупностью 2,25 мм, слоем в одну частицу;
- шероховатость, созданная свинцовой дробью крупностью 2,25 мм, слоем 3 см;
- шероховатость, созданная свинцовой дробью крупностью 4,5 мм, слоем в одну частицу;
- шероховатость, созданная свинцовой дробью крупностью 4,5 мм, слоем 3 см;
- шероховатость, созданная смесью свинцовой дроби крупностью 2,25 и 4,5 мм, слоем 3 см.

Исследовались частицы следующего размера и формы:

- частица размером 1,35 мм - Б;
- частица средним размером 2,80 x 2,35 x 2,25 мм, округлой формы №13;
- частица размером 3,15 x 2,80 x 2,35 мм, пирамидальной формы №29;
- частица размером 5,45 x 4,60 x 4,10 мм, округлой формы №13А;
- частица размером 5,10 x 4,60 x 4,15 мм, пирамидальной формы №29А;
- частица размером 6,80 x 6,25 x 5,35 мм, округлой формы №13АА;

Таким образом, исходя из комбинации количества частиц и видов подстилающей поверхности должно было быть проведено 42 серии экспериментов, но на самом деле их было меньше (например, эксперимент с частицей крупностью 1,35 мм на шероховатости крупностью 4,5 мм на практике провести невозможно). Обозначение частиц как №13 и №29 здесь носит условный характер, возникло оно по причине того, что частицы именно под этими номерами были выбраны из примерно пятидесяти образцов. Видеофиксация опытов проводилась с помощью камеры, установленной на штативе на высоте 45 см над дном лотка. Объектив камеры был направлен вертикально вниз, перпендикулярно днищу лотка. Это обеспечивало охват съемкой всей ширины лотка, а длина рабочей области составляла 50 см (участок от 3,5 до 4 метров от начала лотка). На середине рабочей области за стенкой лотка лежала линейка длиной 30 см (рис. 2), позволявшая проводить обработку видеозаписей движения частицы (главным образом, измерение длин ее подвижек) с высокой точностью.



Рис. 2. Плановый вид рабочей области лотка. Кадр из рабочей видеозаписи

В большинстве проведенных экспериментов проводилось исследование четырех режимов движения частицы: начальных подвижек, движения с длительными остановками, движения с короткими остановками, движения без остановок. Разграничение первых трех режимов количественно проводилось с помощью параметра T_k – отношения времени движения частицы в опыте к времени нахождения ее в состоянии покоя. Определение четвертого режима движения – «движение без остановок» – возможно и непосредственным наблюдением. Значение параметра T_k для режима начальных подвижек было, как правило, не более 0,05; для режима длительных остановок 0,1-0,2; для режима коротких остановок время движения частицы и нахождения ее в состоянии покоя сравнимо, то есть параметр T_k имел значения в районе единицы.

Для каждого эксперимента проводилась раскадровка видеозаписи, после чего просматривались все получившиеся изображения. Такая методика позволяла с точностью до 1/30 секунды установить момент начала и окончания подвижки частицы. Длина подвижек фиксировалась с точностью до 0,5 см на рабочем поле длиной до 50 см, однако в целом ряде случаев расстояние, которое частица проходила в ходе эксперимента, было меньше. Кроме того, для каждого эксперимента проводилось вычисление целого ряда гидравлических характеристик, на описании которых сейчас нет возможности подробно остановиться в связи с ограниченным объемом статьи. Большой интерес здесь представляет сравнение скоростей начала движения частицы, измеренных в ходе опытов (первый режим движения – начальные подвижки) и вычисленных по существующим расчетным зависимостям.

Приступая к данной работе, пришлось сразу же столкнуться с двумя методологическими сложностями. Во-первых, как различать шероховатости в случае слоя в одну частицу и в случае слоя толщиной 3 см, какие значения надо подставлять в формулу? Во-вторых, в большинстве расчетных зависимостей диаметр частиц донных наносов фигурирует как минимум дважды, в то время как для условий рассматриваемых опытов размер шероховатости и диаметр исследуемой частицы – это не одно и то же. Первый вопрос удалось разрешить путем сравнения результатов рабочих расчетов, используя в качестве размера шероховатости полный диаметр дробин и их половинный диаметр. Был сделан вывод: для случая толщины шероховатого слоя в одну частицу лучшее соответствие с данными эксперимента дает использование в формуле половины диаметра дроби, а в случае толщины шероховатого слоя в 3 см – полного ее диаметра. Касательно второго вопроса однозначного вывода сделать не удалось – расчеты с использованием всех комбинаций диаметра частицы и размера шероховатости (если в формуле диаметр встречается дважды, то таких комбинаций будет 4) рассматривались в качестве рабочих.

Анализ сопоставления рассчитанных и экспериментально установленных скоростей начала движения частицы позволяет сделать следующие выводы. Более точное соответствие наблюдается для опытов со слоем шероховатости толщиной в одну частицу: здесь в некоторых сериях экспериментов разница составляет не более 10 процентов. Таковы результаты расчетов по формулам А. Шильдса [2] (шероховатость 1,25 мм – частица 13; шероховатость 2,25 мм – частицы 13А и 29А); ГГИ-1 (шероховатость 1,25 мм – частицы Б и 13; шероховатость 2,25 мм – частица 29А; шероховатость 4,50 мм – частица 13АА); С.К. Ревяшко [3] (шероховатость 1,25 мм – частица 13); К.В. Гришанина [4] (шероховатость 4,50 мм – частица 13АА); В.Н. Гончарова [5] (шероховатость 1,25 мм – частицы Б, 13А; шероховатость 2,25 мм – частицы Б, 13;

шероховатость 4,50 мм – частица 13АА); В.С. Кнороза [6] (шероховатость 1,25 мм – частица 13А; шероховатость 4,50 мм – частица 13АА). В случае опытов со слоем шероховатости толщиной 3 см результаты подобного качества были получены для шероховатости крупностью 2,25 мм для частиц 13А и 29А при использовании формул Шильдса и Гончарова (табл. 1). Наибольшее количество соответствий дает расчет по формуле Гончарова.

Таблица 1. Сравнение рассчитанных и полученных по опыту скоростей начала движения частицы

Расчетная зависимость	Шероховатость	Частица	Диапазон глубин, см	Диапазон скоростей по опыту, см/с	Диапазон рассчитанных скоростей, см/с
А. Шильдс [2] $V_0 = 4,0\sqrt{d} \lg \frac{6H}{d}$	1,25 мм, слой в одну частицу	13	1,85 – 3,45	15,5 – 17,8	15,8 – 18,2
	2,25 мм, слой в одну частицу	13А	1,90 – 3,10	17,7 – 23,0	18,6 – 21,3
		29А	2,10 – 5,10	26,5 – 33,8	27,5 – 32,6
	2,25 мм, слой 3 см	13А	3,55 – 4,65	38,6 – 41,3	37,5 – 39,7
29А		1,60 – 5,50	30,0 – 44,6	30,9 – 41,1	
ГГИ-1 [1] $V_0 = 3,2\sqrt{d} \left(\frac{H}{d}\right)^{0,3}$	1,25 мм, слой в одну частицу	Б	1,85 – 3,45	16,7 – 21,6	17,5 – 21,2
	2,25 мм, слой в одну частицу	13	1,55 – 2,70	15,5 – 17,8	13,9 – 16,4
		29А	2,10 – 5,10	26,5 – 33,8	25,8 – 33,6
	4,50 мм, слой в одну частицу	13АА	2,45 – 4,85	29,4 – 37,7	31,1 – 38,1
С.К. Ревяшко [3] $V_0 = (0,061 + 48,2d) \lg 12,3 \frac{H}{d}$	1,25 мм, слой в одну частицу	13	1,55 – 2,70	15,5 – 17,8	17,2 – 19,4
	4,50 мм, слой в одну частицу	13АА	2,45 – 4,85	29,4 – 37,7	31,5 – 35,7
К.В. Гришанин [4] $V_0 = 3,0\sqrt{d} \lg \frac{15H}{d}$	1,25 мм, слой в одну частицу	Б	1,85 – 3,45	16,7 – 21,6	18,4 – 20,4
	2,25 мм, слой в одну частицу	13А	1,95 – 5,50	17,3 – 23,6	18,5 – 22,0
		Б	2,30 – 3,00	20,9 – 25,3	22,2 – 23,3
	В.Н. Гончаров [5] $V_0 = 3,04\sqrt{d} \lg \frac{8,8H}{d}$	4,50 мм, слой в одну частицу	13	3,20 – 7,30	18,3 – 24,7
2,25 мм, слой 3 см		13АА	2,45 – 4,85	29,4 – 37,7	28,6 – 33,8
		13А	3,55 – 4,65	38,6 – 41,3	38,0 – 40,5
29А		1,60 – 5,50	30,0 – 44,6	30,7 – 41,7	
В.С. Кнороз [6] $V_0 = 4,02\sqrt{d} \lg \frac{12H}{d}$	1,25 мм, слой в одну частицу	13А	1,95 – 5,50	17,3 – 23,6	17,0 – 21,6
	4,50 мм, слой в одну частицу	13АА	2,45 – 4,85	29,4 – 37,7	32,1 – 37,7

Литература

1. Копалиани З.Д. Расчеты предельных скоростей для сдвига донных частиц в водных потоках // Тезисы VII Всероссийского гидрологического съезда. – 2013.
2. Shields A., "Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung anf die geschiebebewegung" Doktor-Ingenieurs dissertation, Technischen Hochschule, Berlin, 1936.

3. Ревяшко С.К. Исследования размываемости грунтов // Труды Белорусск. НИИ мелиорации и водного хозяйства. – Минск: Изд. АН БССР. – 1958. – С. 102-125.
4. Гришанин К.В. Формула размывающей скорости // Тр. ЛИВТ. – 1957. – Вып. 24. – С. 24-30.
5. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоздат. – 1962. – 374 с.
6. Кнороз В.С. Размывающая скорость для несвязных грунтов и факторы ее определяющие // Изд. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 1959. – Т. 59. – С. 95-115.

ПРОЕКТ ФИП_ГИДРОМЕТ-АРКТИКА: ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ И РЕШЕНИЯ

Черемных А.В., Скорик Я.В., Подгайский Э.В., Сабанчиева Д.Х., Фокичева А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет

PROJECT FIP_HYDROMET-ARCTIC: CHALLENGES OF TIME AND SOLUTION

Cheremnykh AV, Skorik Ya.V., Podgaiskii E.V., Sabanchieva D.Kh., Fokicheva A.A.

Russian State Hydrometeorological University

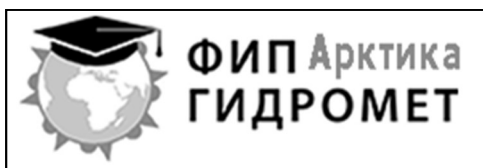
Разработка и внедрение современных управленческих решений с учетом изменяющихся погодоклиматических условий Арктической зоны, внедрение эффективных обучающих форматов для формирования всеобщей цифровой грамотности и профессиональных компетенций 21 века. Реализация проекта ФИП_Гидромет-Арктика позволяет ответить на вызовы времени и решить задачи высшей школы по внедрению электронного обучения.

The development and implementation of modern management solutions, taking into account the changing weather and climate conditions of the Arctic zone, the introduction of effective training formats for the formation of universal digital literacy and professional competencies of the 21st century, implemented in the FIP_Hydromet-Arctic project allows to answer the challenges of the time and incorporate e-learning into higher education.

В Российской Федерации в целях обеспечения модернизации и развития сферы образования, а также с учетом перспектив и основных направлений социально-экономического развития на долгосрочный период, реализации приоритетных направлений государственной политики в сфере образования, интеграции системы образования в международное образовательное пространство, более полного удовлетворения образовательных потребностей граждан была разработана инновационная инфраструктура. Инновационную инфраструктуру представляют федеральные (региональные) инновационные площадки (ФИП), статус ФИП присваивается на конкурсной основе, а экспертно-аналитическое и организационно-методическое сопровождение развития инновационной инфраструктуры в системе образования (ФИП) осуществляло ООО "Верконт Сервис" <http://vercont.ru>. Цели и основные направления деятельности ФИП представлены на официальном сайте <http://fip.kpmo.ru> [1]:

- 1) содействие развитию инновационной инфраструктуры в системе образования;
- 2) модернизация и развитие системы образования с учетом реализации приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации в сфере образования через развитие инновационной инфраструктуры в системе образования (Федеральными инновационными площадками);
- 3) обеспечение разработки и распространения инновационными образовательными организациями новых образовательных программ, программ воспитания, образовательных технологий, механизмов, форм и методов управления образованием на разных уровнях, в том числе с использованием современных технологий.

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) в 2012-2015 гг. уже имел статус ФИП по тематике «Создание международной системы дистанционного обучения (СДО) непрерывного профессионального образования по направлению «прикладная гидрометеорология».



В 2018 г. РГГМУ был присвоен статус Федеральной инновационной площадки по направлению «разработка, апробация и (или) внедрение новых элементов содержания образования и систем воспитания, новых педагогических технологий, учебно-

методических и учебно-лабораторных комплексов, форм, методов и средств обучения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, в том числе с использованием ресурсов негосударственного сектора». Наименование инновационного образовательного проекта - *Формирование комплекса цифровых образовательных решений для непрерывного профессионального развития в области гидрометеорологического обеспечения и мониторинга окружающей среды Арктической зоны: ФИП_Гидромет-Арктика*, с его деятельностью можно ознакомиться на сайте <http://fip.rshu.ru> [2].

Выбор тематики проекта обусловлен необходимостью подготовки высококвалифицированных специалистов в области прикладной гидрометеорологии и смежных областях для формирования кадровой основы выполнения таких задач государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (срок реализации до 2025 г.), как:

- развитие науки, технологий и повышение эффективности использования ресурсной базы Арктической зоны и континентального шельфа Российской Федерации в Арктике;

- создание условий для развития Северного морского пути в качестве национальной транспортной магистрали России в Арктике и развитие системы гидрометеорологического обеспечения мореплавания в его акватории.

Основная идея проекта – объединение ресурсов и возможностей государства, бизнеса, науки и образования для развития профессиональных компетенций при подготовке кадров в области гидрометеорологического обеспечения и мониторинга окружающей среды Арктической зоны и для формирования конкурентоспособного научно-технологического сектора, занятого разработкой новых или адаптацией существующих технологий к арктическим условиям на базе профильных технологических платформ.

Для формирования профессиональных компетенций при подготовке кадров в области гидрометеорологического обеспечения и мониторинга окружающей среды Арктической зоны на основе комплекса инновационных конвергентных образовательных решений в рамках федеральной инновационной площадки ФИП_Гидромет-Арктика разработана «дорожная карта» и поставлены следующие задачи:

1. Создание межфакультетского лабораторного центра «Интернет вещей в профессиональной деятельности», работа которого направлена на объединение и профессиональную ориентацию школьников, развитие исследовательской деятельности студентов и аспирантов, применение передовых цифровых технологий в обучении и научных разработках, а также на развитие инновационных практик и рост информационной культуры.

2. Анализ, адаптация и совершенствование отдельных программ подготовки бакалавров, магистров и аспирантов в соответствии с государственной программой «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», особенно актуальных в условиях стремительного развития российской цифровой инфраструктуры, ориентированных на

обучающихся и обеспечивающих выполнение производственных и иных функций в цифровом мире.

3. Модернизация курсов повышения квалификации в области экономических и социальных последствий влияния местной погоды, качества воздуха и климата с применением IoT-технологий в рамках международного проекта Erasmus+ Eсоiмрaсt «Адаптивная учебная среда для развития компетенций в отношении влияния местной погоды, качества воздуха и климата на экономику и социальную жизнь» для обучения специалистов, отвечающих за принятие решений, развитие инновационных направлений цифровой экономики и внедрение современных решений в хозяйственную деятельность в Арктической зоне, имеющих принципиальное значение для динамичного развития региона и повышения качества жизни населения.

4. Разработка MOOK, способствующих популяризации образовательных программ арктической направленности и научных исследований, проводимых в интересах развития Арктической зоны, которые будут размещены на различных открытых площадках в рамках работы РГГМУ в Национальном арктическом научно-образовательном консорциуме и международном проекте Erasmus+ SUNRAISE «Устойчивое природопользование в арктических и высокогорных районах».

В сфере образования активно проходят процессы увеличения академической мобильности, интеграции в мировое научно-образовательное пространство, создания оптимальных в экономическом плане образовательных систем, повышения уровня университетской корпоративности и усиление связей между разными уровнями образования. Таким образом, требуется современная научно-образовательная среда, включающая развитие и продвижение электронного обучения по направлению науки о Земле (прикладная гидрометеорология) и повышающая мотивацию и информационную культуру преподавателей [3, 4, 5].

Актуальной проблемой современного высшего образования является разработка новых требований к педагогическим и профессиональным компетенциям профессорско-преподавательского состава вуза для подготовки и переподготовки кадров для метеорологических, гидрологических и климатических служб [6].

Определены области практического использования и применения результатов проекта:

1. Гидрометеорологическое обеспечение устойчивого социально-экономического развития, рационального природопользования и национальной безопасности страны. Целевая аудитория – лица, принимающие решения, научное сообщество, работники министерств и ведомств РФУМО вузов РФ по образованию в области гидрометеорологии.

2. Профориентационная деятельность, обеспечение кадрами, отвечающими требованиям цифровой экономики будущего. Целевая аудитория – школьники, студенты, представители вузов, бизнес-структур, государственных институтов.

3. Социально-экономическое развитие Арктики. Целевая аудитория – специалисты в области гидрометеорологического обеспечения и мониторинга окружающей среды, представители вузов, бизнес-структур, государственных институтов.

Благодаря реализации проекта российские школьники смогут применять полученные компетенции в условиях стремительно развивающегося цифрового мира. Таким образом, будет сформирована преемственная линия подготовки кадров, способных решать глобальные задачи для нужд цифровой экономики.

Проект ФИП_Гидромет-Арктика выполняется в рамках международных проектов Erasmus+ ECOIMPACT «Адаптивная учебная среда для развития компетенций в отношении влияния местной погоды, качества воздуха и климата на экономику и социальную жизнь» [7] и Erasmus+ SUNRAISE «Устойчивое природопользование в арктических и высокогорных районах» [8].

Оценка общей **эффективности проекта** будет осуществляться по нескольким показателям, в том числе по числу слушателей, проходящих подготовку при помощи созданной дистанционной системы непрерывного профессионального развития, по экономии средств на транспортные расходы. Социальные, экологические, политические и другие результаты, не поддающиеся стоимостной оценке, будут рассматриваться как дополнительные показатели народнохозяйственной эффективности и учитываться при принятии решения о дальнейшей реализации проекта. Каждое мероприятие проекта будет характеризоваться одним или группой показателей количественного, либо качественного содержания.

Литература

1. Федеральные Инновационные Площадки [Электронный ресурс]:—Режим доступа: <http://fip.kpmo.ru>
2. Сайт ФИП_Гидромет-Арктика [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://fip.rshu.ru/>
3. Трубина М.А., Черемных А.В., Скорик Я.В. Электронное обучение специалистов гидрометеорологического профиля: сетевой проект «ФИП_ГИДРОМЕТ». //Труды Всероссийской конференции с международным участием «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития», к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина, Санкт-Петербург, 2017, С. 457-461.
4. Трубина М.А., Черемных А.В. Формирование профессиональной мотивации преподавателей к инновационной деятельности: проект ФИП_ГИДРОМЕТ. //Ученые записки ИСГЗ. 2014. Т. 12. № 1-2. С. 293-298.
5. Черемных А.В., Скорик Я.В., Фокичева А.А., Подгайский Э.В. Индивидуальные образовательные маршруты при освоении курса "экономическая метеорология". //Ученые записки ИСГЗ. 2017. Т. 15. № 2. С. 378-390.
6. Черемных А.В., Скорик Я.В., Сабанчиева Д.Х., Подгайский Э.В. Дистанционное обучение в российском государственном гидрометеорологическом университете: направления, системы, инструменты. В книге: Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития Труды II Всероссийской конференции. 2018. С. 681-684.
7. Подгайский Э.В., Скорик Я.В., Черемных А.В. Гидрометеорология и интернет вещей: настоящее и будущее. // Ученые записки Института социальных и гуманитарных знаний №1(15), 2017, С. 442-445.
8. Сайт SUNRAISER EDUCATIONAL PLATFORM [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://sunraise.sfu-kras.ru/>

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

С.А. Черкашин

Тихоокеанский филиал ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО)

ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN THE COASTAL ZONE OF THE JAPAN SEA USING BIOASSAY

S.A. Cherkashin

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Pacific branch (TINRO)

С 2003 г. биотестирование качества вод в основном выполняли на мизидах двух видов и предличинках японского анчоуса. Выявлено уменьшение негативных последствий загрязнения, но в последние годы состояние вод перестало улучшаться.

The waters quality was assessed annually since 2003 by bioassay using two mysid species and prelarvae of Japanese anchovy. Decreasing of negative effects of pollution is noted, though this tendency to improving stops in the last years.

На современном этапе развития исследований качества вод очевидна недостаточность использования одних физико-химических методов. Наличие нерегулярных воздействий или токсикантов, которые могли бы быть упущены при стандартном химическом анализе можно выявить лишь с помощью биологического мониторинга. Гидробионты тесно связаны со средой обитания и поэтому реагируют на любые значимые для них изменения состояния водоемов. Кроме того, биологические исследования позволяют объективно оценить степень совокупного влияния на организмы всех факторов, причем реакция биоты зависит не столько от отдельных физико-химических ингредиентов, сколько от их взаимодействия. В результате среда может оказаться более токсичной, чем за счет исходных поллютантов [1]. Известно много случаев, когда одновременное присутствие разнообразных веществ даже в концентрациях, не превышающих их ПДК, может вызывать биологические эффекты, которые невозможно предсказать на основе частных химических определений. Поэтому наряду с физико-химическими методами широко используют методы биологического мониторинга, например биотестирование, которое дает интегральную оценку качества среды и состояния биоты в период исследований. В настоящее время под биотестированием понимают экспериментальную оценку состояния среды и гидробионтов, основанную на регистрации тест-функции используемой биосистемы (тест-объекта), например, тест-организма [2]. В соответствии с нормативными документами Российской Федерации биотестирование является обязательным элементом системы оценки и контроля качества вод [3, 4]. Эффективность биотестирования и обоснованность выводов определяется, прежде всего, правильным выбором тест-объектов. Наиболее верное решение состоит в использовании нескольких тест-объектов, отвечающих определенным требованиям [5]. Вследствие низких концентраций большинства поллютантов в морских водах для мониторинга последствий загрязнения особенно необходимы высокочувствительные или наиболее уязвимые тест-организмы. Многочисленные исследования свидетельствуют о повышенной уязвимости к токсикантам некоторых видов ракообразных, особенно с малыми размерами тела и личинок рыб.

В 2003-2019 гг. биотестирование осуществляли преимущественно на двух видах мизид (*Neomysis mirabilis* и *Paracanthomysis shikhotaniensis*) и предличинках японского анчоуса по нашей методике, согласно методическим указаниям, утвержденным позднее Росрыболовством и зарегистрированным Минюстом РФ [6]. Эти тест-объекты оказались более перспективными по сравнению с личинками краба *Dorippe granulata* и веслоногих ракообразных *Neocalanus plumchrus*, *Calanus glacialis*. Используемые виды мизид играют существенную роль в прибрежных экосистемах и являются важными объектами питания многих рыб. Наиболее многочисленные рачки *N. mirabilis* составляли в июне 60-98% от общей численности мизид в условно-фоновых мелководных районах залива Петра Великого у о. Рейнеке. Дополнительные физиологические нагрузки, такие как нерест и линька, в процессе биотестирования в июне

приводили к тому, что этот тест-объект в данный период оказывался более чувствительным к токсикантам, чем мизиды *P. shikhotaniensis*, численность которых в июле–сентябре у о. Рейнеке достигала 47–60%. В эти месяцы уязвимость рачков *P. shikhotaniensis*, представленных в опытах молодью, была выше, чем *N. mirabilis*, и поэтому они лучше подходили как тест-организмы [7]. Рачков отлавливали в прибрежной акватории о. Рейнеке на глубине до 1,5 м и содержали в акклимационных аквариумах в течение 2–7 сут. до начала эксперимента. Травмированные животные за это время погибали, а остальные акклимировались к лабораторным условиям. Затем рачков помещали в три стакана с водой, отобранной на каждой станции по 5 экземпляров на 0,5 л тестируемой воды, и в три контрольных стакана с водой из условно-фоновой акватории. Наблюдение за подопытными тест-организмами проводили каждые 24 ч, подсчитывали количество погибших особей, которых удаляли. Продолжительность экспериментов составляла 48–168 ч в зависимости от времени гибели большей части мизид в пробах. Для исследований состояния морских вод с мая по август в качестве тест-объекта, использовали и предличинок японского анчоуса, вылупившихся в лаборатории. В целях снижения гибели из-за возможного травматизма объекта на различных этапах работы и улучшения воспроизводимости результатов эксперимента, использовали предличинки в возрасте 16–22 ч, которых рассаживали в стеклянные стаканы по 5 шт. на 100 мл тестируемой воды. Количество погибших особей учитывали каждые 12 ч, при этом немедленно удаляли. Эксперимент длился 96 ч (за это время желточный мешок у предличинок почти полностью рассасывался). С 2003 по 2019 гг. оценили качество вод 27 станций, расположенных в Амурском и Уссурийском заливах преимущественно у г. Владивосток.

Спад промышленного производства в Приморском крае в 1990-е гг. способствовал заметному снижению объёмов сброса загрязнённых вод и, как следствие, ослаблению напряжённости экологического состояния зал. Петра Великого. Однако и после этого в кратковременных опытах удалось выявить негативное влияние загрязнённых вод отдельных, обычно внутренних, акваторий залива на выживаемость мизид и предличинок анчоуса. Максимальная гибель тест-организмов характерна именно в водах внутренних акваторий. В этих районах определяемые концентрации ряда металлов и нефтяных углеводородов способны существенно снизить выживаемость исследованных нами видов. В большинстве случаев наиболее уязвимыми оказались предличинки. Однако дополнительные физиологические нагрузки, такие как преждевременный нерест под влиянием загрязнения и резкое изменение температуры воды, значительно увеличивают смертность даже эврибионтных видов, например мизид *N. mirabilis*. Многолетнее биотестирование продемонстрировало, что наиболее стабильные экотоксикологические условия характерны для открытой части залива. Однако в ряде опытов установлено кратковременно снижение качества вод и в этих районах. В период исследований различие гибели мизид в пробах из поверхностного слоя вод внутренней и внешней акваторий Амурского залива в среднем не превышало 30%, за исключением августа и сентября 2003 и июля 2007 гг. Поскольку по сравнению с большинством тест-объектов из дальневосточных морей России, нами доказана повышенная уязвимость для поллютантов двух массовых в Японском море видов мизид и предличинок рыб, эти тест-объекты являются весьма перспективными для мониторинга последствий загрязнения прибрежных морских акваторий Приморья. Для объективной диагностики состояния водоема в целом биотестирование желательно проводить одновременно на нескольких тест-объектах – представителях различных трофических звеньев, отобранных из природных популяций в условно чистых (фоновых) участках исследуемого водоема. Дополнительные физиологические нагрузки, такие как преждевременный нерест под влиянием загрязнения и резкое изменение температуры воды, значительно увеличивают чувствительность тестов даже на эврибионтных видах, например на мизиде *N. mirabilis* и предличинках японского анчоуса.

Подводя итог биотестированию вод, необходимо отметить отсутствие токсичности большинства проб из залива Петра Великого для использованных тест-организмов. Так как они более уязвимы для загрязнения, чем другие известные тест-объекты, то, вероятно, качество вод большинства исследованных акваторий вполне благоприятно после 2008 г. и для других видов гидробионтов. В тоже время ускоренная гибель мизид и предличинок анчоуса в водах, прилегающих к центральной части г. Владивостока, вероятно, связана с повышенными концентрациями загрязняющих веществ. В этих районах определяемые концентрации ряда

металлов и нефтяных углеводородов способны существенно снизить выживаемость исследованных нами тест-объектов. Сопоставление данных экспериментов и регистрируемых концентраций ряда металлов и углеводородов в водах залива выявило наибольшую опасность для мизид и других тест-организмов загрязнения биодоступными формами меди отдельных районов, имеющих в Амурском и Уссурийском заливах. В целом, по качеству вод и другим параметрам отмечено уменьшение негативных последствий загрязнения для прибрежных акваторий зал. Петра Великого в 2003-2019 гг., но в последние годы экотоксикологическое состояние перестало улучшаться, оставаясь на удовлетворительном уровне. Лучшие экологические условия сохраняются в открытой части залива.

Литература

1. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М. Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2015. №1 (185). С. 72-83.
2. Черкашин С.А. Проблемы биотестирования последствий загрязнения прибрежных морских акваторий // Сб. статей Всероссийской научной конференции с международным участием «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование». Севастополь, 28 мая – 1 июня 2018 г. Севастополь : «Колорит», 2018. С. 285-290.
3. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения (типовые). М.: Госкомприроды СССР, 1991. 35 с.
4. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Министерство сельского хозяйства РФ, 2016. 153 с.
5. Черкашин С.А. Биотестирование: терминология, задачи, основные требования и применение в рыбохозяйственной токсикологии // Изв. ТИНРО. 2001. Т. 128, ч. III. С. 1020-1035.
6. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 201 с.
7. Черкашин С.А., Симоконов М.В., Пряжевская Т.С. Анализ экотоксикологического состояния Амурского залива (Японское море) на основе химических и токсикологических показателей // Вод. ресурсы. 2019. Т. 46, № 3. С. 308-317.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОД И ЛЬДА БЕЛОГО МОРЯ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

И.А. Чернов¹, А.В. Толстик¹, Н.Г. Яковлев²

¹КарНЦ РАН (Петрозаводск, Россия), ²ИВМ РАН (Москва, Россия)

HIGH-RESOLUTION NUMERICAL SIMULATION OF WATER AND SEA-ICE DYNAMICS FOR THE WHITE SEA

I.A. Chernov¹, A.V. Tolstikov¹, N.G. Iakovlev²

¹Karelian Research Centre RAS (Petrozavodsk, Russia), ²Marchuk Inst Numer Math RAS (Moscow, Russia)

В докладе представлены результаты численного моделирования динамики Белого моря со сравнительно высоким пространственным разрешением (3 км). Описываются течения, термохалинные поля, лед.

In the report, we present the results of numerical simulation of the White Sea dynamics with relatively high spatial resolution (3 km). Currents, thermohaline fields, and sea ice are described.

Введение. Белое море полностью входит в территориальные воды России и играет важную роль в разных отраслях экономики [1]. При этом оно представляет значительный интерес, будучи водоемом с уникальными свойствами: отметим, прежде всего, приливную активность и связанную с ней изменчивость уровня, сезонное присутствие морского льда, большой речной сток относительно объема моря, малые глубины и неоднородность морского дна.

Несмотря на бурное развитие вычислительных средств, рост доступности вычислительных мощностей и снижение их стоимости, комплексных моделей Белого моря до сего дня недостаточно, по сравнению, например, с соседним Балтийским морем [2]. Поэтому важно разработать численную модель высокого разрешения для Белого моря, способную воспроизводить динамику вод, льда и биогеохимических полей, характеризующих этот водоем.

Такая модель, помимо своей очевидной востребованности, служит основой для модели Северного Ледовитого океана. Малые размеры моря и высокие скорости течений накладывают серьезные ограничения на устойчивость численных схем. Кроме того, между Северным Ледовитым океаном и Белым морем прослеживается качественное сходство.

В этой работе мы сосредоточимся на динамике вод, термохалинных полей и компонент льда.

Численная модель Белого моря JASMINE [3] основана на конечно-элементной модели Северного Ледовитого океана FEMAO [4], хорошо себя зарекомендовавшей в проектах сравнения моделей АОМIP и FAMOS. Разрешение горизонтальной сетки ~3 км (от 2.58 до 3.19), по вертикали задано 45 уровней (шаг 5 м до уровня 150 м, далее 10 м). На границе с Баренцевым морем задаются значения температуры и солености, а также внешний уровень моря. Кроме того, задаются расходы рек и температура речной воды. Данные по давлению, температуре и влажности воздуха в приводном слое, а также по осадкам, облачности и скорости ветра, берутся из данных NOAA/NCER и интерполируются на модельную сетку. Мгновенная плотность потока солнечной радиации вычисляется с использованием облачности, влажности воздуха и высоты солнца над горизонтом. Поток делится в эмпирическом соотношении (68:32) на две полосы, высокочастотную, с фактором угасания 0.83 м^{-1} , и низкочастотную, с фактором $35.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$. Полусуточный прилив задается через колебания внешнего уровня на границе. Батиметрические данные ЕТОРО интерполируются на модельную сетку. Маски районов моря вычисляются по координатам граничных точек согласно Лоции Белого моря. Учитывается сток пяти рек: Северной Двины, Онеги, Кеми, Мезени и Ковды. Модельные результаты верифицируются по данным многолетних измерений в Белом море ИВПС КарНЦ РАН и спутниковым снимкам.

Температура и соленость воспроизводятся адекватно (рис. 1). Сравнение температуры поверхностного слоя с данными экспедиционных измерений (июль 2010) показывает хорошее согласие: присутствует теплое пятно в Двинском и Онежском заливах, фронт в Горле и температурный минимум в Западной Соловецкой салме, однако отсутствует квазипостоянный апвеллинг у о. Жижгин. Соленость на поверхности сравнительно равномерна, заметно распресняющее действие рек и шлейф соленой воды из Баренцева моря в Горле. Согласие с

данными наблюдений в Двинском заливе несколько хуже: из-за сильного антициклонического вихря пресная вода распространяется больше вдоль Летнего берега, чем вдоль Зимнего.

Ледяной покров, описываемый сплоченностью и объемом льда, а также распределением льдин по толщине, также хорошо воспроизводится. Сроки намерзания и схода льда, равно как и его распределение, соответствуют наблюдениям: образование закраин в ноябре, процесс распространения замерзания от заливов к Бассейну, выражена полынья, формирующаяся в ледяном покрове вдоль Карельского берега в марте, адекватно реализуются сроки освобождения Белого моря ото льда в мае.

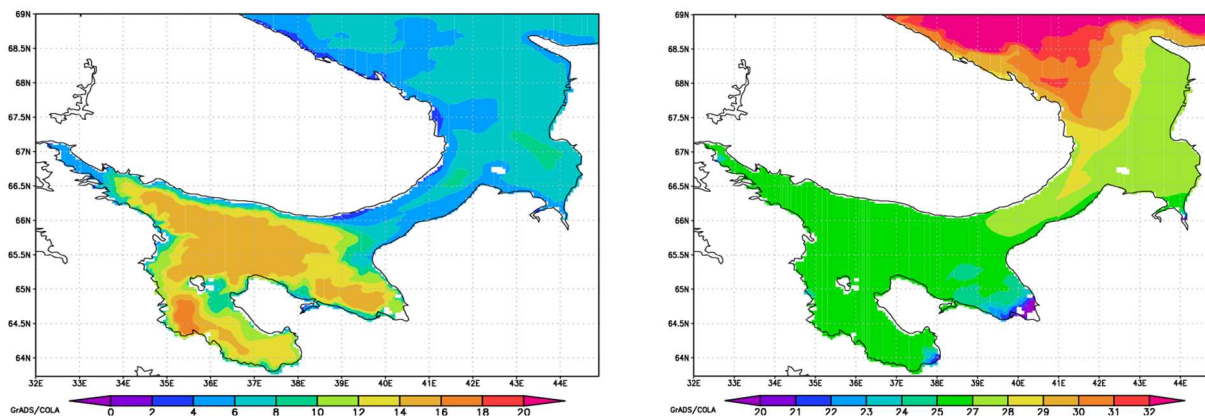


Рис. 1. Расчетные температура 15.07.2010, °C (слева) и соленость 03.07.2010, ‰ (справа) поверхностного слоя.

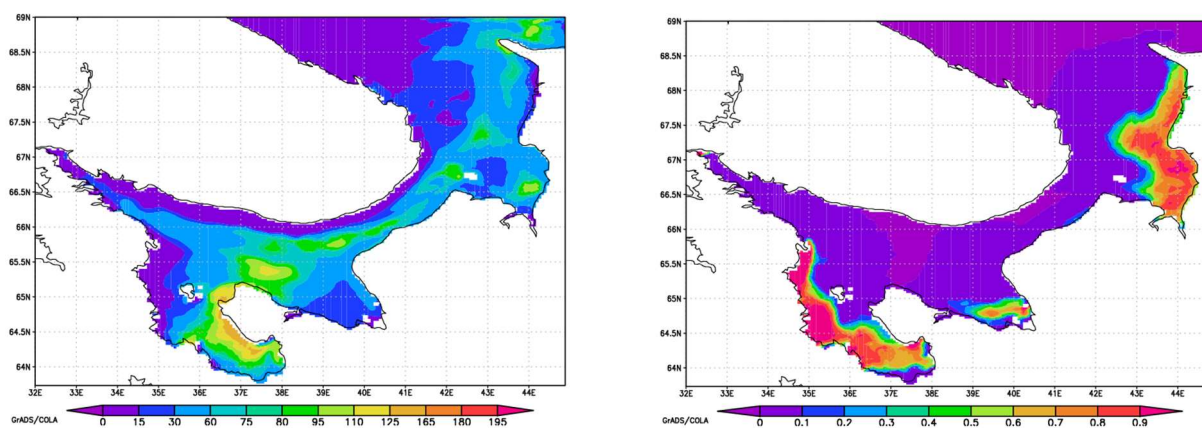


Рис. 2. Расчетные средняя толщина льда 17.03.2010, см (слева) и сплоченность 25.11.2009 (справа).

В настоящее время ведется настройка модели для более точного описания глубинной водной массы Белого моря и устранения расхождений с наблюдениями в Двинском заливе, а также ставятся численные эксперименты по переносу примесей различной природы (твердое вещество, нефть) и подключаются модели пелагической экосистемы и экосистемы морского льда.

Разработка параллельного программного кода выполнена И.А. Черновым и Н.Г. Яковлевым при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60184.

Литература

1. Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 335 с.
2. Piroddi Ch. et al Using ecological models to assess ecosystem status in support of the European Marine Strategy Framework Directive // Ecological Indicators 58 (2015) 175–191.
3. Chernov I. et al Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study // Journal of Marine Systems 187 (2018) 23–35.
4. Яковлев Н.Г. К вопросу о воспроизведении полей температуры и солености Северного Ледовитого океана // Известия РАН, ФАО. 2012. № 1. С. 1–17.

УТОЧНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ВОРОНЕЖ

М.А. Чернова

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Тамбов, Россия

REVISION OF QUANTITY AND PARAMETERS OF SURFACE WATER COURSES IN THE BASIN OF THE VORONEZH RIVER

M.A. Chernova

Tambov state University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

Автором произведёны учёт и измерения основных параметров поверхностных водотоков бассейна реки Воронеж. Измерялись длина, расстояние от устья, площадь бассейна, определялись высота истока и устья водотока, коэффициент извилистости.

The author takes into account and measures the main parameters of surface watercourses of the Voronezh river basin. The length, the distance from the estuary, the area of the basin were measured, the height of the source and the estuary of the watercourse, the coefficient of tortuosity were determined.

Весьма распространённым и аутентичным считается мнение о том, что сток любой крупной реки складывается стоком небольших рек. А сток небольших рек складывается за счёт более мелких рек и ручьёв [1].

Однако водный кодекс Российской Федерации при оформлении на водопользование настоятельно требует наличия данных водного объекта. Так за последние 5 лет по сведениям Государственного доклада о водных ресурсах Российской Федерации в государственный водный реестр было включено более 5000 водных объектов. Это не значит, что раньше этих малых водотоков не существовало – просто они не были достаточно исследованы [2].

Мониторинг водных ресурсов, в том числе поверхностных водных объектов, в настоящее время является задачей государственной важности.

Ключевой задачей государственного учёта водных ресурсов и их дальнейшего применения является определение количества и качества вод, входящих в единый государственный водный фонд, а также предоставление информации общественности и каким-либо отраслям хозяйства. В государственный учёт включается информация об измерениях и первичном учете количества и качества поверхностных и подземных водных ресурсов. Такая информация может служить прочным фундаментом для создания сборников, справочного материала и каталогов, отражающих основные показатели, а также виды использования водных ресурсов.

Тамбовская область располагается на водоразделе двух крупных рек – Волги и Дона [3]. Но систематического каталога всех поверхностных водотоков (включая самые малые), содержащего описания, в том числе параметров, необходимых для включения в реестр водных объектов, в Тамбовской области на настоящий момент не существует [4]. Единственными сведениями о водных объектах области считаются тома «Гидрологической изученности территории СССР» (1967) [5], «Ресурсов поверхностных вод СССР» (1973) [6] и книга тамбовского учёного-географа Николая Ивановича Дудника «Реки Тамбовской области» (1991) [7]. Как мы видим, вся вышеперечисленная литература датирована прошлым веком, что свидетельствует о необходимости актуализации информации о поверхностных водотоках области. И это, не считая того факта, что в связи с нарастающими климатическими изменениями всё очевиднее изменения гидрологического режима рек и речного стока по сезонам года, что также подчеркивает актуальность сплошного исследования гидрологических характеристик рек региона. Основой этих исследований также является учёт и инвентаризация всех водотоков области [4, 8].

Для решения этой проблемы научной группой по изучению динамики и качества водных ресурсов региона под руководством кандидата географических наук, доцента М.Е Буковского создано систематическое описание рек Тамбовской области, относящихся к донскому бассейну. Были самым подробным образом изучены бассейны таких средних рек как Воронеж, Битюг, Савала, Карачан, Ворона, Карай. На примере бассейна реки Воронеж мы можем рассмотреть, в

какой степени были скорректированы параметры и количество водотоков по сравнению с данными, приведёнными в «Гидрологической изученности территории СССР» [5]. Река Воронеж выбрана нами в качестве примера потому, что на данный момент времени работа по изучению изменений её характеристик и параметров полностью закончена.

Таким образом, группой был проведён учёт и создан перечень всех существующих водотоков. Далее проведены измерения характеристик и параметров каждого водотока из составленного перечня. Были измерены длина водного объекта, расстояние места впадения от устья водотока более высокого ранга, площадь бассейна, определялись высотные отметки истока и устья водотока, рассчитывался коэффициент извилистости. Перечисленные характеристики, кроме площади бассейна, были измерены у всех водных объектов, даже самых малых, а площадь же измерялась у притоков до 3-го порядка включительно. Однако площадь бассейна также измерялась и у притоков низших порядков реки Воронеж, в случае, если длина водотока превышала 10 км. Все измерения велись по картам крупного масштаба.

В результате все данные были сведены в единую базу. Всего было учтено 1215 водотоков, относящихся к бассейну реки Воронеж. Для сравнения, в «Гидрологической изученности...» [5] отражены параметры только по 90 водотокам. Характеристики водотоков длиной менее 10 км, включая малые, в «Гидрологической изученности...» не приведены, следовательно, наши измерения и расчёты для них произведены впервые.

Здесь мы решили сравнить значения параметров притоков, приведённых в гидрологической изученности и параметров, посчитанных нами (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ параметров водотоков реки Воронеж

Название водотока	Расстояние от устья, км		Длина водотока, км		Площадь водосбора, км ²	
	по гидрологической изученности	посчитанные авторами	по гидрологической изученности	посчитанные авторами	по гидрологической изученности	посчитанные авторами
Воронеж	1403	1403	342	342	21600	21600
Польной Воронеж (Польной Воронеж), составляющая р. Воронеж	342	341	178	187	2170	2170
Ярославка, в 1 км к З от с. Нижняя Ярославка	150	154	24	26	110	105
Ярославка, в 4 км к З от с. Ярославка	74	77	31	35	331	335
Чебоксар	10	12	14	14	67	67
Сурена	35	37	8	9	476	476
Дальняя Сурена (Малая Сурена), составляющая р. Сурена	8	9	31	19	209	209
Ближняя Сурена, составляющая р. Сурена	8	9	49	54	228	228
Лозовка	22	24	13	21	134	134
Лесной Воронеж, составляющая р. Воронеж	342	341	164	181	2140	2140
Шушпанка	107	115	28	28	186	186
Ситовка	104	113	37	40	264	255
Вишневка	92	99	40	45	418	411
Большая Вишневка	21	23	13	19	74,8	75
Хоботец	8,3	9,5	12	12	76,5	76
Зелёный Жистинец	87	4,7	15	15	106	35
Хлопчельник (Глазок)	69	73	18	20	80,5	80
Колодезная	56	59	14	14	41,2	52
Турмасовка	32	35	22	26	112	160
Сестренка	336	334	16	15	75,7	75

Алешня	334	332	32	39	187	187
Иловой (Иловой)	323	317	77	93	771	771
Без названия, у с. Никольское	72	74	15	7	79	20
Сухой Иловой	43	46	27	32	151	151
Чернава	318	311	16	21	55,8	72
Становая Ряса	295	280	100	112	2210	2250
Без названия, в 0,8 км к С от с. Большой Снежеток	50	51	11	12	61	67
Московская Ряса (Ряса)	45	47	35	40	283	283
Ягодная Ряса	40	41	73	85	806	823
руч. Руденки	38	44	12	12	45	45
Булавки	20	23	13	13	90,2	90
Гущина Ряса	3,2	3,8	40	40	244	261
Раковая Ряса	24	27	21	40	234	234
Хавенка (руч. Ковенка)	16	17	20	20	128	128
Делиховка	292	281	29	29	168	168
Скроминка	278	1,3	15	15	144	144
Колпинка	251	239	25	25	97,6	99
Мартынчик	251	237	29	29	362	362
Без названия, у с. Замартынье	11	12	12	34	199	196
Кузьминка	249	225	33	46	307	307
Босолук	13	22	13	8	80,8	29
Матыра	216	201	180	185	5180	5120
Плоскуша	140	138	30	24	280	280
Грязнуша	131	129	21	23	136	136
Бычек (Бычок)	122	119	15	21	118	118
Мордовка	116	113	13	15	68,5	68
Плавица	98	93	89	91	964	964
Чечора-Плавица (Чечора)	71		12		60,4	
Пловутка	31	33	21	21	150	150
руч. Плоскуша	30	32	11	11	53,4	53
Шехмань	89	83	26	34	313	313
Избердейка	83	78	24	27	196	196
Без названия, у с. Афанасьевка	8,4	10	14	15	57,1	69
Луковченка (Лукавка, Луковка)	52	46	30	34	230	230
Байгора	42	35	115	119	1370	1370
Масаловка	82	85	10	10	45,2	45
Матренка	58	58	50	55	338	338
Усманка	50	49	21	23	153	153
Телелюй	13	12	21	21	150	150
Дубрава	5,1	3	11	11	43,8	43
Самовец	37	31	39	42	358	358
Большой Самовец	5	5	23	25	106	106
Без названия, у с. Новая Жизнь	16	15	14	10	50	25
Липовка	208	188	3,3	12	57	53
Двуречка	187	174	24	24	193	193
Белоколодец	163	153	16	47	226	226
руч. Лячиха	148	140	12	12	67,6	67
руч. Ериловка	145	134	14	20	120	120
Кривка	133	120	27	27	121	121
Мещерка (Красивка)	116	103	34	34	139	139
Боровица	112	100	28	28	153	153
Излегоща	91	81	43	43	364	364

Без названия, в 2 км к ЮЗ от с. Демшинск	28	31	10	12	25	32
Полевая Излегоща	11	13	27	27	130	130
Ивница	74	61	23	23	314	314
Без названия, в 1,5 км к ЮВ от с. Пчельники	12	12	18	9	85,4	100
Без названия, в 4 км к СЗ от с. Студенки	9	7	10	12	40,5	33
Усмань	64	52	151	101	2840	911
Хомутовка	121		14		82,7	
Девица	116	65	19	19	83,4	83
Беловка	104	51	10	8	30	34
Приваловка	98	43	11	10	41,7	43
Хава (Ворона)	54	52	97	97	1460	1460
руч. Грязнушка	51	50	13	13	63,5	55
Правая Хава	31	31	45	45	351	351
Без названия, у с. Нижняя Котуховка	16	17	11	11	50	53
Без названия, у с. Успенская Хава	19	18	14	11	26,6	29
Тамлык	5	4	57	57	392	380
Без названия, у с. Ольховатка	21	24	14	15	74,2	
Без названия, в 1 км к С от с. Таврово	12	9	10	9	131	215

Как видно из таблицы 1, у большинства притоков изменились длина и расстояние от устья, но определённой закономерности здесь не наблюдается. Ряд характеристик нами был уточнён. Что касается главной реки, то тут остались все значения из гидрологической изученности. Кроме того, нами были учтены притоки, устье которых заболочено или теряется при выходе на пойму.

При реализации исследования были переименованы и впоследствии перепривязаны некоторые водотоки, ранее относившиеся к населённым пунктам, ныне не существующим, а сами населённые пункты были проверены на соответствие своему статусу «деревня», «село», «посёлок», «посёлок городского типа» и так далее. Данные такого рода были найдены в официальных источниках.

Полученная информация о поверхностных водных объектах помогла значительно уточнить количество и параметры рек, речек и ручьёв в бассейне реки Воронеж. Эти материалы будут положены в основу исследования водно-ресурсного потенциала региона, характеристик суммарного стока и расчёта водообеспеченности территории по бассейнам рек. Помимо этого, полученные при реализации проекта данные крайне важны для создания схем комплексного использования и охраны водных объектов.

Литература

1. Добровольский А.Д., Добролюбов С.А., Михайлов В.Н. Гидрология. Учебник для ВУЗов: М. «Высшая школа», 2007. - 463 с.
2. Рыбальский Н.Г. и др. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». — М.: НИА-Природа, 2018. — 195 с.
3. Буковский М.Е. и др. Динамика ледовых явлений на реках донского бассейна в пределах территории Тамбовской области / М.Е. Буковский, С.Н. Дудник, К.С. Колкова, М.А. Чернова, И.В. Сурувикина // Геополитика и экодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 393-398.
4. Чернова М.А., Кузьмин К.А. Уточнение количества и параметров поверхностных водотоков в бассейне реки Битюг / М.А. Чернова, К.А. Кузьмин // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. – С. 685-687.
5. Гидрологическая изученность. Том 7. Донской район. — Л.: Гидрометиздат, 1967. — 265 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 07. Донской район / Под редакцией к.г.н. М.С. Протасьева — Л.: Гидрометиздат, 1973. — 460 с.
7. Реки Тамбовской области / Под редакцией профессора Н.И. Дудника. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2001. – 48 с.

8. Чернова М.А., Буковский М.Е. Формирование каталога рек юга Тамбовской области / М.А. Чернова, М.Е. Буковский // Экология речных бассейнов: Труды 8-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. проф. Т.А. Трифоновой. Владимир: Аркаим, 2016. – С. 91-94.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ВЛИЯНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЕЧНОЙ СТОК

Г.М. Черногаева, Л.Р. Журавлева, Ю.А. Малеванов

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,

г. Москва, РФ

MODERN TRENDS OF BUSINESS ACTIVITIES INFLUENCE ON THE RIVER RUN-OFF

G.M. Chernogaeva, L.R. Zhuravleva, Yu.A. Malevanov

Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, RF

Проблемы использования речного стока в стране в начале XXI в., тенденции изменения объемов речного стока, водозабора, сброса сточных вод, качества речных вод за десятилетний период. Дана оценка факторов, определяющих выявленные тенденции.

The problems of run-off use in our country in the beginning of the XXI century, changes of river run-off, water intake, disposal of waste water volumes, river water quality during the last decade is considered. An estimation of factors determining the identified trends is done.

Основой водных ресурсов России является речной сток. Ежегодно возобновляемые водные ресурсы речного стока составляют в среднем – 4258,6 км³, из которых основная масса формируется в пределах страны. Среднее многолетнее значение речного стока на территории России находится на уровне порядка 4,2 – 4,3 тыс. км³ в год (10% мирового речного стока, второе место после Бразилии). На освоенных территориях сток рек составляет около 800 км³/год, в том числе в наиболее заселенных районах ЕТР – лишь 360 км³/год. Россия стабильно входит в группу стран мира, наиболее обеспеченных водными ресурсами, как по общим запасам, так и в расчете на одного жителя.

Несмотря на значительные водные ресурсы, в ряде регионов Российской Федерации существуют серьезные проблемы с водообеспечением. Главная причина - неравномерное распределение водных ресурсов по территории страны, которое не согласуется с потребностями в них, с очень большой их временной изменчивостью (особенно в южных регионах) и высокой степенью загрязнения. По объему местных водных ресурсов Южный и Дальневосточный федеральные округа России различаются почти в 30 раз, а по водообеспеченности населения примерно в 100 раз [1].

Изменения водности бассейнов крупнейших рек страны в XXI веке в условиях изменяющегося климата имеют противоположно направленные тенденции или практически не проявляются, а в целом по стране ресурсы речного стока были несколько выше среднемноголетнего значения [2].

Анализ данных мониторинга загрязнения водных объектов на территории Российской Федерации показывает, что как по ряду контролируемых показателей, так и по комплексным оценкам загрязненность поверхностных вод практически мало меняется. Неблагоприятное качество поверхностных вод наблюдается, как правило, в местах сосредоточения большей части населения страны (урбанизированные территории, промышленные зоны) [3].

Практически не снижается суммарное количество случаев высокого и экстремально высокого загрязнения поверхностных вод (рис.1).

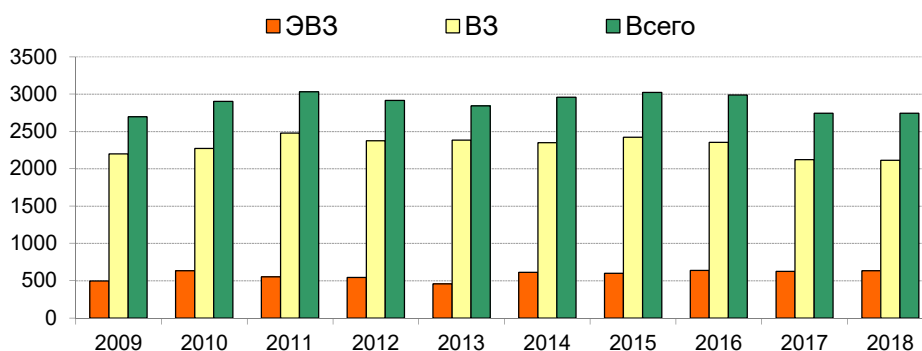


Рис. 1. Динамика количества случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод суши на территории Российской Федерации (по данным Росгидромета)

По административным территориям максимальное количество случаев ВЗ и ЭВЗ наблюдается в Уральском, Приволжском и Северо-Западном федеральном округам (рис. 2).

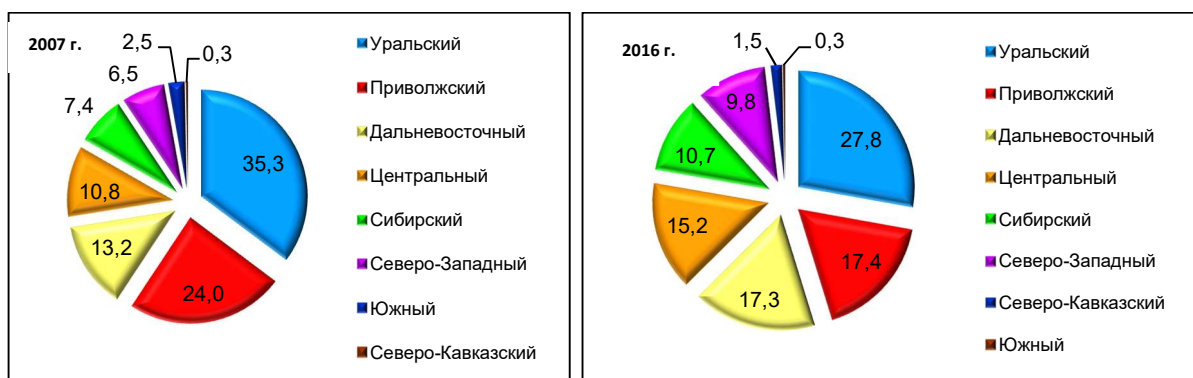


Рис. 2. Распределение количества случаев высокого и экстремально высокого загрязнения поверхностных пресных вод по федеральным округам РФ, %

Анализ полученных в последние годы данных в результате регулярных наблюдений за загрязнением поверхностных водных объектов в Российской Федерации показал, что по-прежнему сохраняются повышенные уровни загрязнения, обусловленные поступлением загрязняющих веществ от объектов промышленности и энергетики, строительства и жилищно-коммунального хозяйства, транспорта, а также в ходе обращения с отходами производства и потребления (рис. 3).

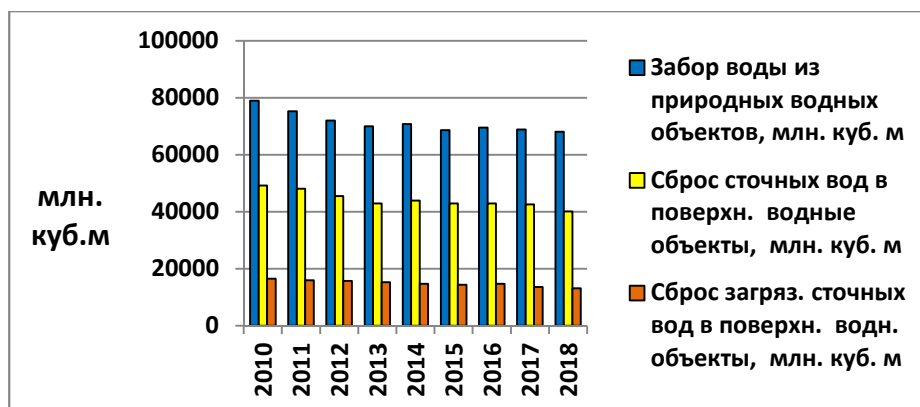


Рис. 3. Динамика хозяйственного использования водных ресурсов страны

Несмотря на незначительную тенденцию снижения забора водных ресурсов из природных водных объектов в последние годы, практически не снижается объем сброса загрязненных сточных вод. Ситуация обусловлена прежде всего отсутствием эффективного экономического механизма снижения уровня загрязнения водных объектов, способного стимулировать субъекты хозяйствования к сокращению сбросов загрязняющих веществ, а также ограниченными инвестициями, сдерживающими перевод объектов на работу по наилучшим доступным технологиям и внедрение современного водоочистного оборудования, установок и сооружений. При этом остается неэффективным контроль объемов расходования и качества водных ресурсов практически во всех секторах экономики и жилищно-коммунального хозяйства.

В ряду проблем эффективности мониторинга водопользования становится очевидной целесообразность разработки и использования автоматизированной системы получения и обработки результатов наблюдений, включая пространственный и временной синтез данных.

Актуальность перечисленных проблем особенно важна сейчас, когда стартует инвестиционно емкий и крайне необходимый для сохранения природы Российской Федерации Национальный проект «Экология», включающий в себя федеральные проекты, в т.ч. «Чистая страна», «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», «Инфраструктура для обращения с отходами I и II классов опасности», «Чистый воздух», «Чистая вода», «Оздоровление Волги», «Сохранение озера Байкал», «Наилучшие технологии» и др. По каждому проекту определены контрольные показатели, которые необходимо достигнуть к 2024 году.

С возрастанием неустойчивости климата важны оценки вероятности рисков возникновения экстремально низких, или наоборот, высоких значений климатических показателей. В связи с этим повышается необходимость научно-обоснованных прогнозов влияния климатических изменений на водные ресурсы на 30-40-50 лет вперед [4].

Литература

1. Г.М. Черногаева, Е.А. Жадановская, Л.Р. Журавлева, Ю.А. Малеванов. Загрязнение окружающей среды в регионах России в начале XXI века. М.: ООО «ПОЛИГРАФ-ПЛЮС», 2019, 232 с.
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. Ежегодное издание / Отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2008-2017.
3. Основные показатели охраны окружающей среды [Электронный ресурс]: Статистический бюллетень // Росстат, 2017. Дата обновления: 30.06.2017.
URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr17/Main.htm
4. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» / Отв. ред. Н.Г. Рыбальский. М.: НИА-Природа, 2017. 270 с.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗ. ЛЕЩЕВОЕ (ПРИРОДНЫЙ ПАРК "ВАЛААМСКИЙ АРХИПЕЛАГ", ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО), 1998 – 2018 ГГ.

А.Б. Степанова¹, Е.Ю. Воякина¹, А.Н. Чернышев¹

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

INTERANNUAL VARIABILITY OF MAIN LIMNOLOGICAL PARAMETERS OF LESCHEVOYE LAKE (NATURAL PARK «VALAAM ARCHIPELAGO», LADOGA LAKE), 1998 – 2018

A.B. Stepanova¹, E.Yu. Voyakina¹, A.N. Chernyshev¹.

¹Russian state hydrometeorological university, Saint Petersburg, Russia

Проанализирован ряд наблюдений за основными лимнологическими параметрами оз. Лещевое (о. Валаам, Ладожское озеро), дана оценка их изменчивости. Выявлены параметры, имеющие значительную межгодовую изменчивость, проведен анализ факторов ее определяющих.

Series of observations of main limnological parameters of Leschovoye lake (Valaam island, Ladoga lake) were analyzed, evaluation of parameters variability was given. Parameters with significant variability were found. Determining factors were analyzed.

Особое значение для оценки экологического состояния водоемов имеют данные комплексных многолетних наблюдений в мониторинговом режиме. Их наибольшее количество во всем мире связано с крупными озерами. В России это, прежде всего исследования озера Байкал, а также Ладожского и Псковско-Чудского озер. Однако, исследования малых озер представляют не меньший интерес, так как большинство озер в мире имеют площадь менее 10 км². Для Северо-запада России длительные ряды наблюдений существуют только для оз. Красное [1]. Межгодовая изменчивость гидрохимических параметров в малых озерах обусловлена влиянием метеорологических условий конкретного года, которые проявляются через изменения характера стока с водосборных площадей озер. На территории Республики Карелия расположено более 61 тыс. озер, 98 % из которых это малые озера. В связи с этим, анализ межгодовой изменчивости гидрохимических параметров подобных водоемов представляют особый интерес.

Данное исследование посвящено оз. Лещевое, самому крупному из 10 малых лесных озер Валаамского архипелага. Как было показано ранее, все водоемы архипелага сохраняли фоновый режим функционирования, а также характеризовались значительной межгодовой изменчивостью основных лимнологических параметров [2]. Однако в последние годы на водосборе некоторых озер активно проводятся мелиоративные работы [3], и существует необходимость оценки изменений их экосистем.

Цель работы – проанализировать изменчивость основных лимнологических параметров оз. Лещевое в исследуемый период.

Задачи: 1) по данным съемок июня и сентября оценить диапазоны значений исследованных параметров и их отклонения от среднеголетних значений; 2) выделить параметры, отличающиеся значительной межгодовой изменчивостью; 3) рассмотреть влияние гидрометеорологических условий на описанную изменчивость.

Оз. Лещевое с площадью 23,8 га расположено в южной части о. Валаам и имеет значительную водосборную площадь (245,4 га). Через систему проток оно связано с Ладожским озером, для которого в отдельные периоды мониторинговых наблюдений наблюдались годы с экстремальными значениями уровня воды. Так, в 2003 г. из-за экстремально низкого уровня воды все протоки пересохли. В связи с этим озеро было изолировано от Ладоги, и его площадь сократилась. В 2018 году за счет экстремального увеличения уровня воды в Ладожском озере площадь исследуемого водоема увеличилась более чем в 1,5 раза. С 2015 г. на водосборе озера проводится мелиорация лугов.

В работе использованы данные наблюдения за лимнологическими параметрами, проводимых на базе Учебно-научной станции РГГМУ на о. Валаам за период с 1998 г. по 2018 г [3]. Отбор проб производился на мониторинговой станции с максимальной глубиной (6,5 -7 м) в период с

июня по сентябрь. Для анализа были использованы следующие параметры: прозрачность, цветность, мутность, активная реакция среды (рН), газовый режим (содержание растворенного кислорода и содержание углекислого газа), перманганатная окисляемость. Определение гидрохимических параметров проводилось с использованием стандартных методик [4].

Анализ среднесезонных значений исследованных параметров в поверхностном горизонте показал, что начало активного вегетационного периода и его конец отличаются незначительно (Табл. 1).

Таблица 1. Средние значения и диапазоны основных лимнологических параметров оз. Лещевое в поверхностном и придонном горизонтах по данным съемок за июнь и сентябрь, 1998-2018 гг.

Показатель	Июнь		Сентябрь	
	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Прозрачность, м	1,1±0,3 (0,70-1,60)	-	1,1±0,3 (0,7-1,7)	-
Цветность, °Pt-Co	76±10 (65-94)	153±78 (65-352)	81±29 (40-130)	92±33 (42-134)
Мутность, °	11±1 (9-13)	26±5 (19-32)	11±3 (9-16)	12±3 (9-16)
рН	7,0±0,5 (6,0-8,5)	6,3±0,3 (5,7-6,6)	6,9±0,2 (6,3-7,2)	6,7±0,3 (6,2-7,2)
O ₂ , мг/л	8,5±1,4 (6,0-12,0)	1,4±1,7 (0,0-4,9)	8,6±1,1 (6,4-10,7)	6,5±2,7 (0,4-9,5)
CO ₂ , мг/л	7,1±3,7 (1,0-14,1)	37,6±27,1 (3,3-114,4)	7,7±6,2 (0,5-22,0)	14,7±14,1 (0,6-49,3)
ПО, мгО/л	20,4±7,3 (14,0-27,4)	20,6±5,0 (14,0-33,3)	20,7±8,3 (8,2-47,7)	20,2±9,1 (7,4-48,4)

Это говорит о заметной стабильности процессов, протекающих в озере в поверхностном горизонте. В придонных горизонтах показаны различия в содержании растворенного кислорода, углекислого газа и значений цветности. Описанные различия, вероятно, связаны с тем, что в июне в части акватории озера с наибольшими глубинами устанавливается выраженная температурная стратификация. Это создает условия для накопления на дне органических и неорганических веществ. В сентябре же за счет ветрового перемешивания стратификация нарушается, и растворенные газы и органическое вещество распределяются в толще воды более равномерно.

Содержание общего органического вещества (ООВ_{Мн}), определяемое методом перманганатной окисляемости, характеризуется высокой стабильностью. Значительных различий в значениях параметра в поверхностном и придонном горизонтах, а также в июне и сентябре не выявлено. В отличие от содержания ООВ_{Мн} значения цветности в поверхностном и придонном горизонтах существенно различались. Отмеченное несоответствие в распределении цветности и перманганатной окисляемости в придонном горизонте связано с особенностями самих показателей. Перманганатная окисляемость характеризует преимущественно содержание аллохтонного органического вещества. Тогда как на цветность оказывают влияние не только окрашенное органическое вещество, а также целый ряд неорганических соединений, например, оксиды и диоксиды железа.

По полученным значениям озеро может быть классифицировано как нейтральное, мезомезополигумозное с высоким содержанием CO₂ [5].

Для анализа межгодовой изменчивости лимнологических параметров был использован метод главных компонент. В обработку были включены данные с 2006 г. по 2018 г. в связи с наличием за этот период полного ряда наблюдений за всеми исследуемыми параметрами. В результате были выделены две главные компоненты, на которые суммарно пришелся 51% дисперсии поля точек. По первой компоненте (33% от общей дисперсии) с высоким положительным отклонением отделились 2009 г. и 2017 г., с высоким отрицательным отклонением - 2015 г. Подобная ординация лет исследований связана со значительной изменчивостью перманганатной

окисляемости и содержания углекислого газа в поверхностных и придонных горизонтах, а также цветности в поверхностном горизонте. По второй компоненте (18% от общей изменчивости) разделение лет исследований определялось значениями прозрачности и рН.

Для визуализации межгодовой изменчивости были выбраны параметры, обладающие более длительным рядом наблюдений. К ним относятся прозрачность (Рис.1) и содержание углекислого газа (Рис.2)

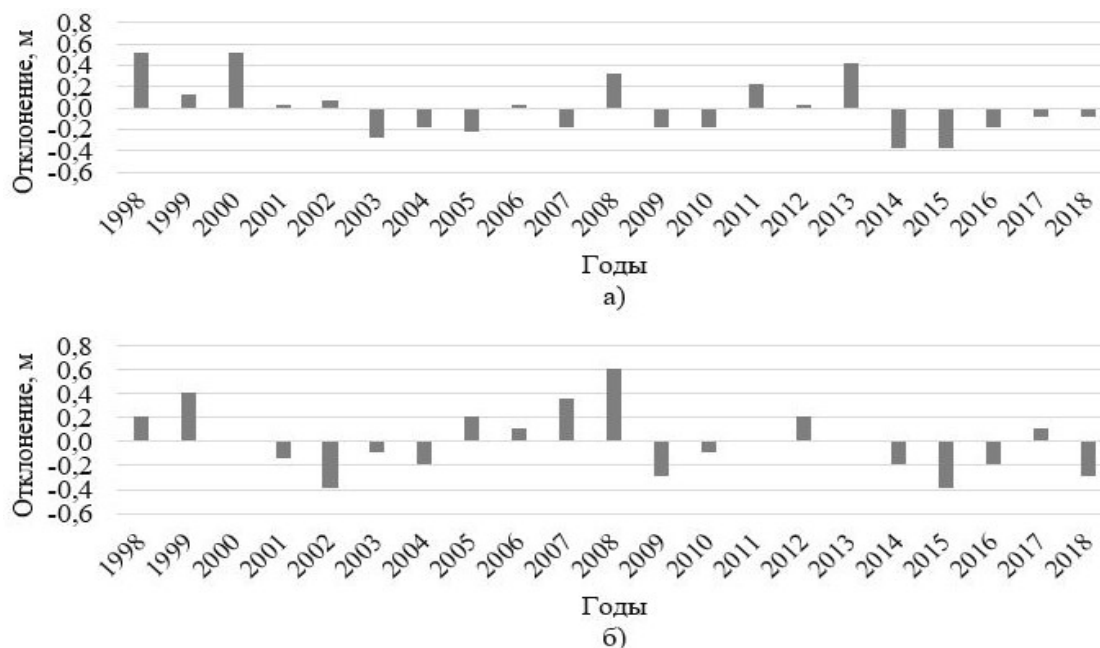


Рис. 1. Отклонение значений прозрачности от среднееголетних значений по данным съемки июня (а) и сентября (б) в оз. Лещевое в период 1998 – 2018 гг.

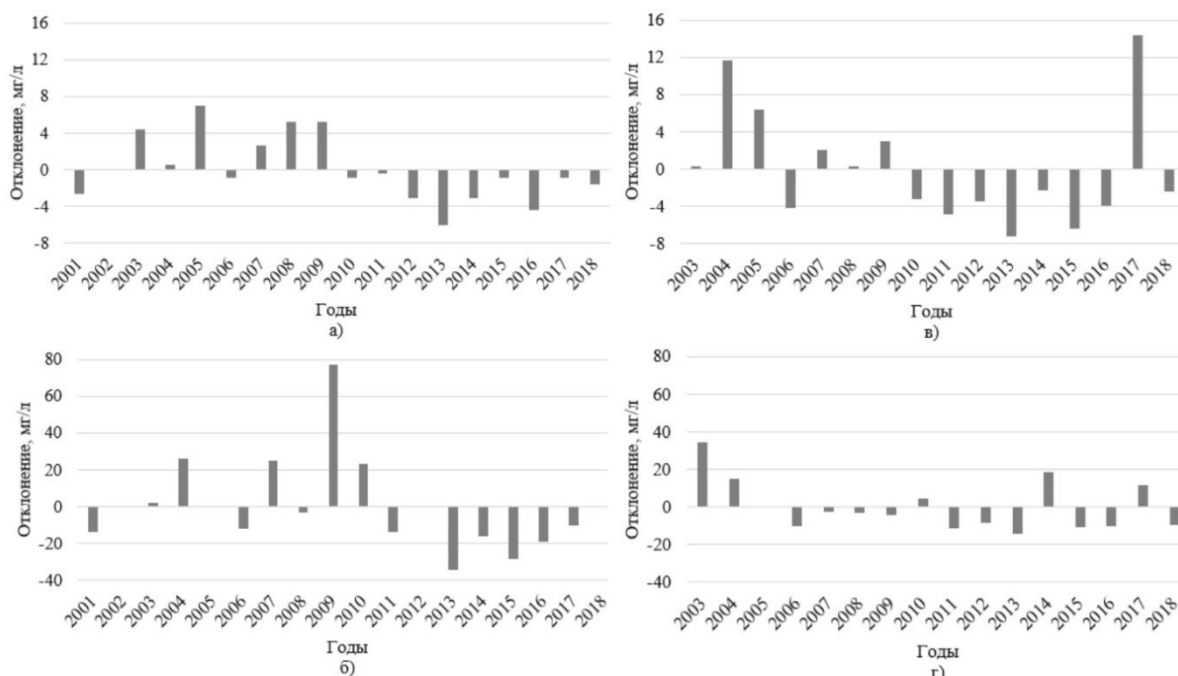


Рис. 2. Отклонение содержания углекислого газа от среднееголетних значений по данным съемки июня в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах и съемки сентября в поверхностном (в) и придонном горизонте (г)

Были рассчитаны коэффициенты корреляции первых двух главных компонент с общим количеством осадков и температурой воздуха за исследованный период. Никаких значимых корреляций получено не было. Влияние стока с водосбора в летний период оказывает незначительное влияние на внутриводоемные процессы. Вероятно, основная масса аллохтонного органического вещества поступает в озеро весной вместе с талыми водами.

Проведение мелиоративных работ на водосборе озера оказало существенное влияние на ряд исследованных параметров. Так, в 2015 г. минимальная величина прозрачности была в 1,3 раза меньше, чем ее среднееголетнее фоновое значение. В 2017 г. зафиксированы экстремально высокие значения $ООВ_{Mn}$ в поверхностном и придонном горизонтах, а также содержания углекислого газа на поверхности (Рис. 2). Все отмеченные значения в два раза превосходят соответствующие среднееголетние фоновые значения. В 2018 г. воздействие мелиорации не проявилось, концентрация $ООВ_{Mn}$ в этом году была в два раза ниже по сравнению с 2017 г. Такое уменьшение связано с разбавлением водных масс оз. Лещевого за счет поступления Ладожских вод с меньшей цветностью и низким содержанием органического вещества. Подобное вызвано крайне высоким уровнем воды в Ладожском озере в данный период.

Проведенное ранее исследование малых озер о. Валаам характеризует фоновый период наблюдения и обобщает данные за период с 1998 г. по 2008 г [2]. Анализ данных за последние 10 лет показал, что диапазоны значений лимнологических параметров исследуемого водоема несколько увеличились: отмечены экстремально низкие значения прозрачности и экстремально высокие значения содержания общего органического вещества в поверхностных горизонтах.

Таким образом, на основании проведенного анализа было показано, что наибольшей изменчивостью отличались лимнологические параметры, характеризующие поступление аллохтонного органического вещества в оз. Лещево. Влияние мелиорации в 2015 – 2017 гг. привело к возникновению крайне низких значений прозрачности и экстремально высоких концентраций $ООВ_{Mn}$.

Литература

1. Трифонова И.С., Воронцова Н.К., Макарецва Е.С., Павлова О.А., Ульянова Д.С., Чеботарев Е.Н. Влияние климатических изменений и эвтрофирования на динамику планктонных популяций мезотрофного озера. СПб.: Институт озераедения РАН. 2003. - 146 с.
2. Степанова А.Б., Шарафутдинова Г.Ф., Воякина Е.Ю. Гидрохимические особенности малых озёр о. Валаам // Учёные записки РГГМУ. 2010, №12, С. 97-110.
3. Степанова А.Б., Бабин А.В. О Валааме, станции и проекте// Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние. Атлас. Санкт-Петербург, РГГМУ. 2016, - С. 4-7
4. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. – Л.,1973. – 210 с.
5. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ COSMO-RU

Чурюлин Е.В.^{1,2}, Копейкин В.В.², Фролова Н.Л.¹, Розинкина И.А.^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²ФГБУ Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

EXPERIMENTS WITH NUMERICAL WHETHER PREDICTION MODEL COSMO-RU

Churiulin E.V.^{1,2}, Kopeykin V.V.², Frolova N.L.¹, Rozinkina I.A.^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Hydrometcenter of Russia, Moscow, Russia

Исследование посвящено развитию новых методов гидрологического моделирования в современных климатических условиях, на примере прогноза характеристик весеннего половодья на реке Сухона вблизи города Великий Устюг. Основная цель исследования заключается в создании новой схемы ассимиляции и использования фактической синоптической информации и результатов численного прогноза погоды (COSMO-Ru и SnoWE) для выполнения гидрологического моделирования с помощью модели формирования стока – ECOMAG. Для анализа характеристик весеннего половодья наиболее перспективным является метод совмещения моделей гидрометеорологического цикла. Исходные метеорологические данные для гидрологической модели ECOMAG были получены из фактических стационарных наблюдений и (или) мезомасштабной модели атмосферной циркуляции COSMO-Ru, а информация о характеристиках снега и снежного покрова была получена из модели снежного покрова SnoWE с различными пространственными шагами. Этот подход может быть эффективен для анализа возможных экстремальных гидрометеорологических явлений, а также позволяет решать разнообразные вопросы, связанные с затоплением территории, как в режиме краткосрочного прогноза, так и для различных сценариев. В то же время ожидается, что сочетание различных моделей (гидрологических, атмосферных и снежного покрова) приведет к потере точности при переходе с одного типа модели на другой и потребует совершенствования методов моделирования.

The investigation devoted to development of new runoff forecast methods in modern climate conditions on the example of floods on the Sukhona river near Velikiy Ustyug. The main purpose of the research is creation a new scheme of assimilation and application of in situ and model data (COSMO-Ru and SnoWE) for a hydrological model ECOMAG. For analysis of flood characteristics, the most promising method is the method of synthesizing models of the hydrometeorological cycle. Initial meteorological data for the hydrological model ECOMAG were obtained from in-situ observations and (or) the mesoscale atmospheric circulation model COSMO-Ru and information about snow and snow cover characteristics were obtained from the SnoWE with different spatial steps. This approach can be effective for analyzing of possible extreme hydrometeorological events and allows to solve diverse problems associated with the flooding of the territory, both in the short-term forecast mode and for various scenario simulations. At the same time, the combination of different models (hydrological, atmospheric and snow cover) are expected to lead to a loss of accuracy when moving from one level to another and requires the improvement of modeling techniques.

Основной целью данной работы является исследование возможностей моделирования характеристик весеннего половодья на основе модели ECOMAG [Мотовилов, 2016, 2017] с привлечением прогнозной метеорологической информации из системы ЧПП COSMO-Ru [Блинов, 2014] и модели SnoWE. В работе предложен метод совместного атмосферного и гидрологического моделирования, при использовании которого появляется возможность решения множества разноплановых задач, связанных с затоплением территории, как в целях краткосрочного прогноза, так и для разнообразных расчетных сценариев [Чурюлин и др., 2018]. На рис. 1 представлена схема последовательной обработки данных различного масштаба, необходимых при синтезе гидрологического и атмосферного моделирования.

Следует отметить, что спрогнозированные поля метеорологических характеристик по системе COSMO-Ru сопоставлялись с соответствующими метеорологическими станциями. В ходе работы было сформировано 68 пар типа «измерение на метеорологической станции–прогноз», располагающихся на водосборе р. Северная Двина. По результатам данного сопоставления были рассчитаны: средняя ошибка, среднеквадратическая ошибка и средняя абсолютная ошибка. Построены таблицы сопряженности для атмосферных осадков за 24 часа с заблаговременностью до 78 часов, на основе которых вычислены: критерий Пирса-Обухова – TSS, сдвиг частоты – FBI, «беспристрастная оценка опасности» – ETS. Они продемонстрировали,

что данные системы *COSMO-Ru* достаточно реалистично воспроизводят ход основных метеорологических элементов и могут быть использованы в модели *ECOMAG* в качестве начальных данных.

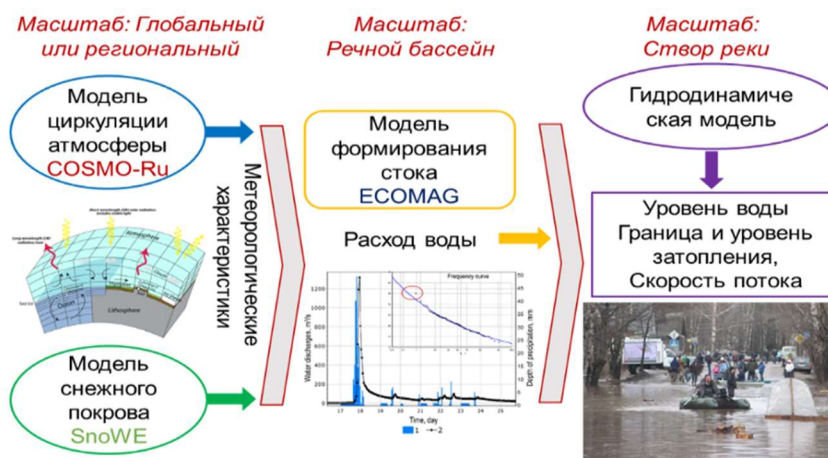


Рис. 1. Схема синтеза атмосферного и гидрологического моделирования

Результаты моделирования показали, что на основе данных системы *COSMO-Ru* и *SnoWE* модель *ECOMAG* воспроизводит основные особенности гидрографов стока за половодье (рис. 2). Особенно важным является хорошее соответствие смоделированных расходов воды по данным метеостанций и системы *COSMO-Ru* для выдающихся половодий 2013 и 2016 гг., когда наблюдались наводнения стоково-заторного генезиса. Следует отметить, что в отдельные годы моделирование гидрографов стока на основе данных системы *COSMO-Ru* привело к существенному расхождению результатов моделирования по данным метеорологических станций с данными наблюдений на гидрологическом посту.

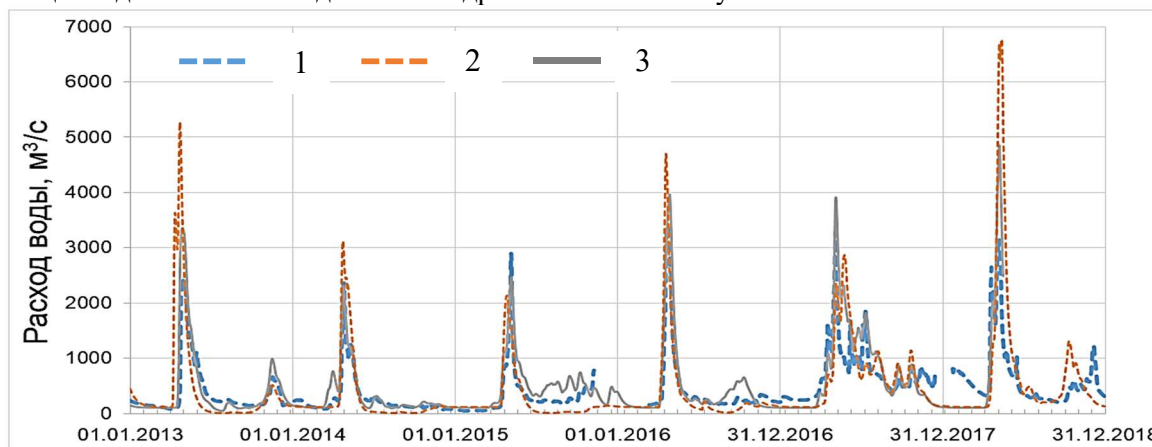


Рис. 2. Сопоставление расходов воды ГП р. Сухона – д. Каликино: смоделированные на основе модели *ECOMAG* по данным метеостанций – 1 (критерий Нэша-Сатклиффа – $NSE = 0,62$); по данным системы *COSMO-Ru* – 2 ($NSE = 0,44$); расходы воды по данным ГП р. Сухона – д. Каликино – 3

При выполнении работы было проведено сравнение работоспособности снежного блока модели *ECOMAG*, модели *SnoWE* и системы *COSMO-Ru* с данными глобальной СУД. Статистическая обработка данных численных экспериментов продемонстрировала, что в 90 % случаев (полевые снегомерные маршруты) и в 50 % случаев (лесные снегомерные маршруты) результаты расчетов *SWE* по модели *SnoWE* имеют наиболее достоверные значения. Существует несколько методов, позволяющих как скорректировать расчет характеристик снежного покрова, так и улучшить качество моделирования расходов воды в периоды весеннего половодья.

Уточнение результатов моделирования расходов воды на основе модели *ECOMAG* может быть осуществлено за счет: 1) коррекции снежного блока модели *ECOMAG*, но данный процесс является трудоемким и реализуем только с согласия автора модели; 2) коррекции начальных метеорологических данных, используемых для запуска модели *ECOMAG*.

Коррекция характеристик снежного покрова без изменения основного расчетного снежного блока модели *ECOMAG* осуществлялась двумя способами: а) вводом системы коррекции информации о снежном покрове в систему *COSMO-Ru*; б) вводом в модель формирования стока поправочных коэффициентов, которые рассчитывались на основе сравнения ежедневных значений *SWE* по данным модели *SnoWE* и модели *ECOMAG*.

После ввода коррекции в начальные данные были проведены дополнительные численные эксперименты по расчету характеристик весеннего половодья и запаса воды в снеге, продемонстрировавшие, что ввод в систему *COSMO-Ru* региональной СУД о снежном покрове на данном этапе не оказывает положительного эффекта на расчет характеристик весеннего половодья и требует проведения дополнительной работы по детальной настройке региональной СУД для системы *COSMO-Ru*. В свою очередь, ввод коррекции в начальные данные с использованием поправочных коэффициентов позволил улучшить качество работы модели *ECOMAG* по расчету снежного покрова с использованием фактической синоптической информации по показателю *mae* на 19,5 %, а по *rmse* на 16,1 %. Улучшение качества расчета снежного покрова также сказалось на улучшении расчета гидрографов стока (рис. 3), увеличив значения критерия *NSE* за исследуемый период с 0,44 до 0,49 при использовании данных системы *COSMO-Ru* с глобальной СУД и с 0,63 до 0,70 при использовании фактических синоптических данных наблюдений.

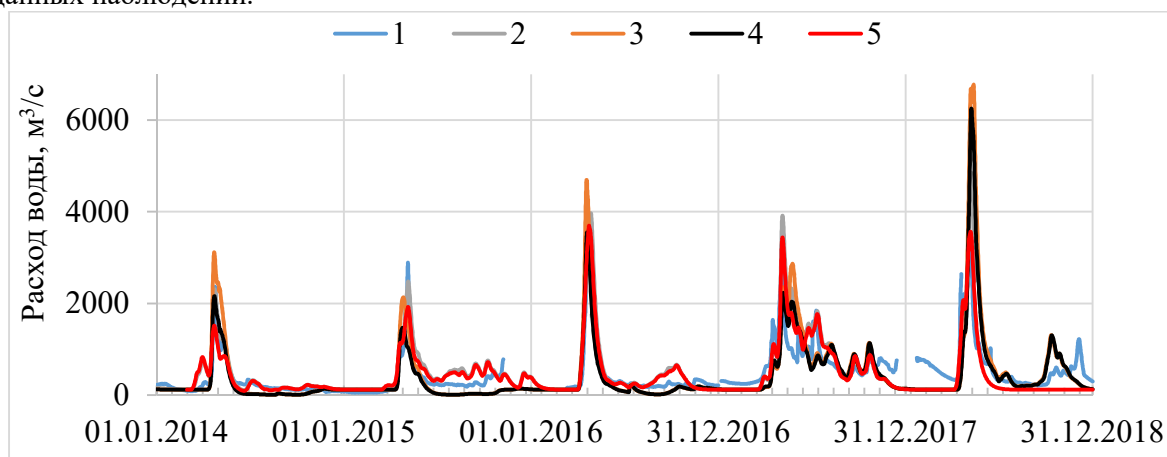


Рис. 3. Сопоставление расходов воды ГП р. Сухона – д. Каликино за период с 2014 по 2018 гг.:
1 – фактические расходы воды, 2 – *ECOMAG* по данным метеостанций, 3 – *COSMO-Ru* с глобальной СУД, 4 – *COSMO-Ru* с глобальной СУД с учетом поправочного коэффициента, 5 – метеостанция с учетом поправочного коэффициента

Использование системы *COSMO-Ru* позволяет в значительной степени расширить возможности моделирования характеристик весеннего половодья за счет использования достоверной прогностической продукции с заблаговременностью до 120 часов, создавая при этом возможность заблаговременного предупреждения населения о возможном затоплении населенных пунктов. При переходе в прогностический режим при совместном использовании моделей *ECOMAG* и системы *COSMO-Ru* наиболее целесообразным представляется проведение моделирования до даты выпуска прогноза по данным метеорологических станций, а на период заблаговременности прогноза (120 ч) по данным системы *COSMO-Ru* с введением алгоритма корректировки прогноза с учетом разности фактического и смоделированного гидрографа в дни, предшествующие выпуску прогноза. Тестовые расчеты по такой методике проводились для половодья 2016 г. (рис. 4) и показывают его высокую перспективность, так как модель *ECOMAG* учитывает основные процессы формирования стока за весь период, начиная с осеннего промерзания водосбора, снегонакопления, снеготаяния и т. п. на всей водосборной площади

выше исследуемых створов, а система *COSMO-Ru* позволяет учитывать краткосрочный прогноз синоптической обстановки.

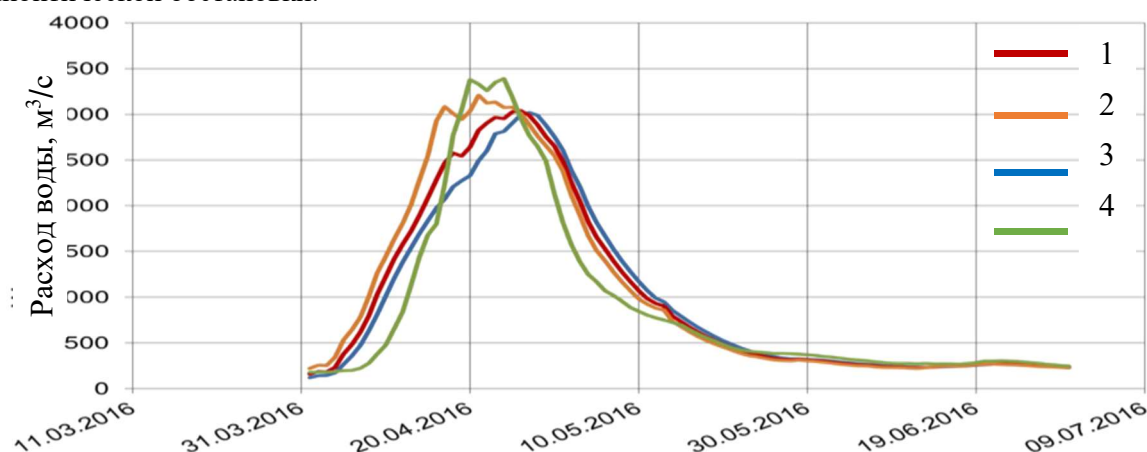


Рис. 4. Рассчитанные на основе модели ECOMAG гидрографы стока за период с 01.03.2016 по 10.07.2016 для ГП р. Сухона – д. Каликино с использованием выходной продукции системы *COSMO-Ru* с заблаговременностью до 72 часов. При выполнении моделирования гидрографов стока использовались данные с заблаговременностью: 1 – 24 часа; 2 – 48 часов; 3 – 72 часа; 4 – значения фактических расходов воды

Заключение:

1. Разработан алгоритм адаптации полей метеорологических характеристик моделью *ECOMAG* к формату выходной продукции системы *COSMO-Ru* и *SnoWE*. Данный алгоритм позволил расширить функциональные возможности модели формирования стока и внедрить в модель расчет характеристик весеннего половодья с заблаговременностью метеорологических параметров до 120 часов.

2. Предложен эффективный метод на основе расчета (моделирования) начальных данных о снежном покрове и метеопараметрах, позволивший выполнить расчет характеристик весеннего половодья в условиях недостаточной гидрологической изученности региона. Метод имеет особенную актуальность при прогнозах ежедневных расходов воды для участков заторообразования, поскольку данные об уровнях воды в периоды подъема половодья не отражают реального количества воды в реке и не позволяют выполнять гидрологические прогнозы на основе классических методов гидрологического моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-05-60021-Арктика, № 18-35-00498 мол_a - моделирования за исторический период и РНФ № 17-11-01254.

Литература

1. Мотовилов Ю.Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 1. Алгоритмы генерализации и осреднения// Водные ресурсы. 2016. Т. 43, Вып. 3. С. 429-437.
2. Мотовилов Ю.Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 2. Результаты испытаний// Водные ресурсы. 2016. Т. 43. Вып. 5. С. 743-753.
3. Мотовилов Ю. Г., Балыбердин В. В., Гарцман Б. И., Гельфан А. Н., Морейдо В. М., Соколов О. В. Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели Ecomag с использованием метеорологических прогнозов. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. вып.1. С. 78–102.
4. Блинов Д.В., Ривин Г.С. Система краткосрочного негидрастатического прогноза погоды COSMO-Ru: Технологическая линия // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 365. С. 142 – 162.
5. Чурюлин Е.В., Копейкин В.В., Розинкина И.А., Фролова Н.Л., Чурюлина А.Г., Анализ характеристик снежного покрова по спутниковым и модельным данным для различных водосборов на Европейской территории Российской Федерации// Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. Вып. 2 (368). С. 120-143.

СЕЗОННЫЕ И ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА ИОСИФА В XX-XXI ВЕКАХ

Б.С. Шапкин¹, А.В. Рубченя¹, Б.В. Иванов^{1,2}, В.М. Смоляницкий², А.Д. Федорова²,

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

SEASONAL AND LONG-PERIOD (TERM) CHANGES OF ICE CONDITIONS IN THE FRANTZ JOSEPH LAND DURING XX-XXI CENTURES

B. Shapkin¹, A. Rubchenia¹, B. Ivanov^{1,2}, V. Smolanitsky², A. Fedorova²,

¹Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

На основе спутниковых данных анализируются ледовые условия в водах, омывающих архипелаг Земля Франца Иосифа. Исследуются сезонные и многолетние изменения и изменчивость ледовых условий (ледовитость, площадные характеристики).

Sea ice cover over Franz-Joseph Land archipelago from remote sensing data were analyzed.. Research of seasonal and long-period (term) changes and variability of ice conditions (ice extent, areal characteristics) was made.

Особенности распространения морского ледяного покрова в районе архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) связаны с его географическим положением, морскими течениями и атмосферной циркуляцией. Важнейшую роль в формировании ледовых условий к северу от архипелага играет вынос многолетних льдов из центральной части Арктического бассейна (ЦАБ) и северной части Карского моря. Трансформированные промежуточные атлантические воды (ТПАВ), проникающие в Баренцево море, оказывают заметное отепляющее влияние на районы к югу от архипелага [1].

Сезонные изменения распространения морского ледяного покрова в целом схожи с ледовым режимом арктических морей Сибирского шельфа. Одной из главных особенностей района архипелага ЗФИ является образование припая в проливах между островами и вдоль побережья, а также наличие заприпайных полыней. [1].

Наибольшая многолетняя изменчивость ледовитости наблюдается в период с мая по октябрь. Максимальные колебания распространения ледяного покрова отмечаются в августе-сентябре. В эти месяцы наблюдается минимальное распространение ледяного покрова. Также важно отметить, что в последние годы все чаще наблюдается ситуация полного освобождения ото льда района ЗФИ в августе-сентябре [1]. В работе [2] было проведено сравнение сезонной и многолетней изменчивости ледовитости акватории соседнего арктического архипелага Шпицберген. Было выявлено, что с ноября по апрель в водах, омывающих архипелаг Шпицберген, наблюдается максимальная изменчивость ледовых условий, тогда как в районе ЗФИ, по нашим данным, наоборот наблюдается наименьшая изменчивость ледовитости. В период с августа по сентябрь в районе архипелага Шпицберген разница максимального и минимального значений ледовитости в два раза меньше, чем в районе ЗФИ. В тоже время, были выявлены некоторые особенности, характерные для обоих районов. Например, временная структура многолетней изменчивости имеет очень близкий характер, что может указывать на общую внешнюю причину наблюдаемых изменений.

Анализ особенностей пространственно-временного распределения льдов в районе архипелага ЗФИ и динамики межгодовой и сезонной изменчивости основных элементов ледового режима был проведен на основе информации, предоставленной Мировым центром данных по морскому льду Арктического и антарктического научно-исследовательского института (МЦД МЛ ААНИИ) [3]. Источником данных являются архивные и квазиоперативные (задержка 1-2 дня) ежедневные матрицы (поля распределения) оценок ледовитости и общей сплоченности для Северной Полярной области (севернее 45° с.ш.) [4]. Матрицы формируются на основе обработанных по алгоритму NASATEAM [5] данных многоканальных микроволновых радиометров SSMR-SSM/I-SSMIS ИСЗ NIMBUS-7 и DMSP за период с 26.10.1978 г. по

настоящее время, копируемые с сервера Национального центра данных по снегу и льду (National Snow and Ice Data Center, США).

В данной работе выполнена попытка разделения акватории вокруг архипелага ЗФИ на три квазиоднородных района. Восточный район, на который значительное влияние оказывают льды, выносимые из Карского моря. Южный, который подвержен воздействию ТПАВ, распространяющихся в северо-западной части Баренцева моря. Северный, на который оказывает влияние вынос многолетних льдов из ЦАБ.

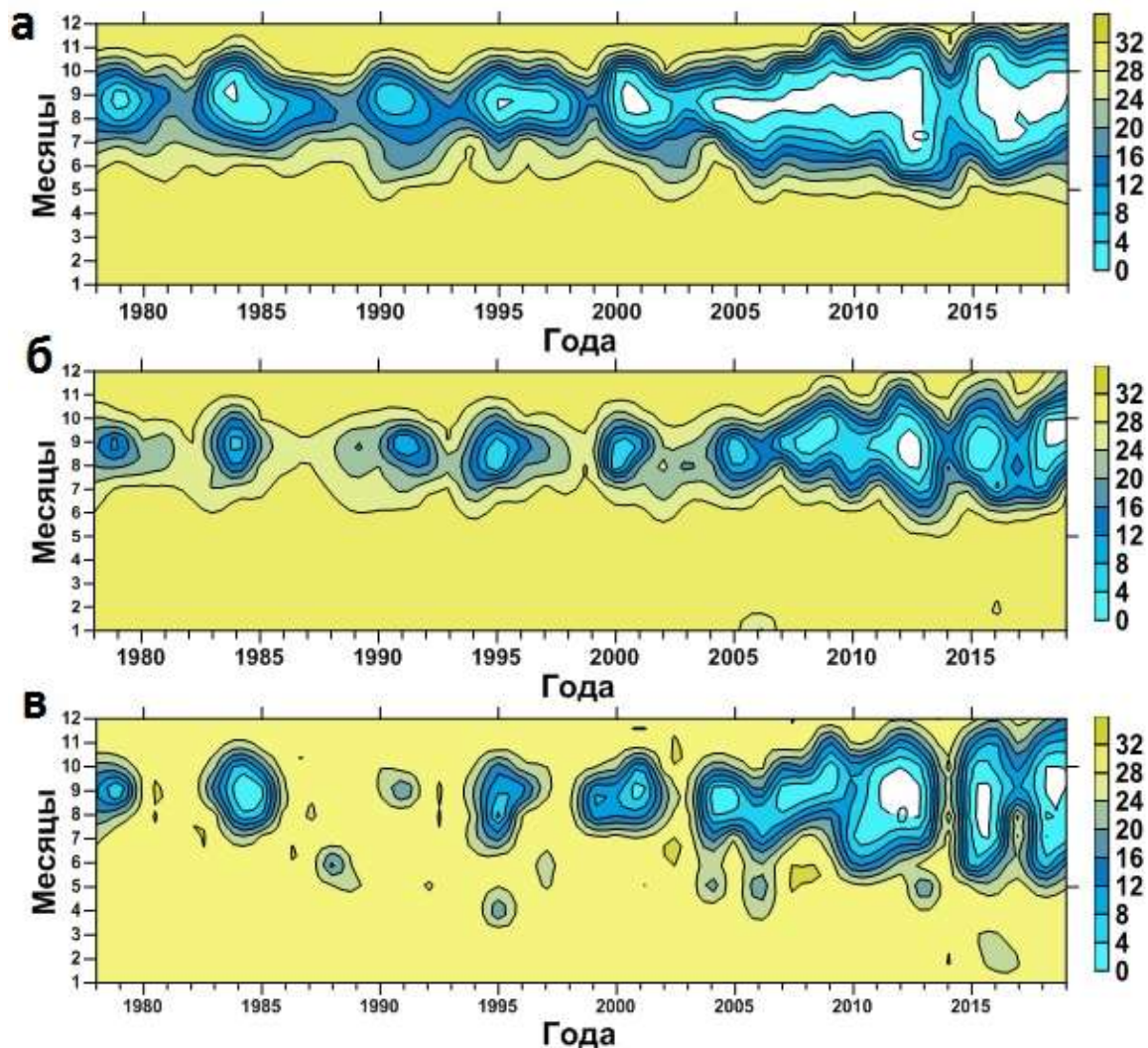


Рис. 1- Временное распределение значений ледовитости (тыс. км²) в южном (а), восточном (б) и северном (в) районах акватории ЗФИ.

На рисунке 1 представлено временное распределение значений ледовитости в южном, северном и восточном районах акватории ЗФИ. Можно отметить, что в последние годы происходит заметное сокращение ледовитости. Начиная с 2005г. в сентябре южная часть практически всегда свободна ото льда, в тоже время в восточной и северной частях подобная ситуация не столь выражена. В целом стоит отметить, что в южной части акватории наблюдается максимальная изменчивость сезонного хода ледовитости, что объясняется, по-видимому, воздействием ТПАВ.

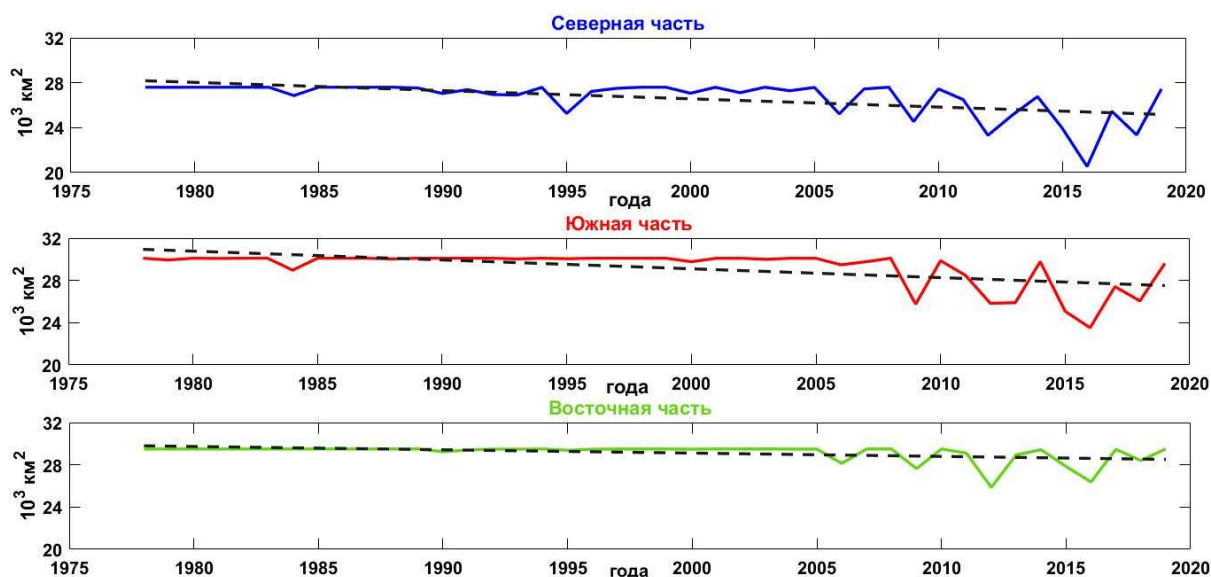


Рис. 2 – Изменения ледовитости за зимний период (ноябрь-апрель) с 1978 по 2019 гг.

На рисунке 2 представлен график изменения ледовитости в зимний период. Под зимним периодом мы понимаем интервал времени с ноября по апрель. Как можно заметить, до 2006г., ледяной покров занимал практически всю площадь выделенных районов, а начиная с 2006г. начинаются резкие межгодовые колебания ледовитости, что свидетельствует, по нашему мнению, о смене типа ледового режима.

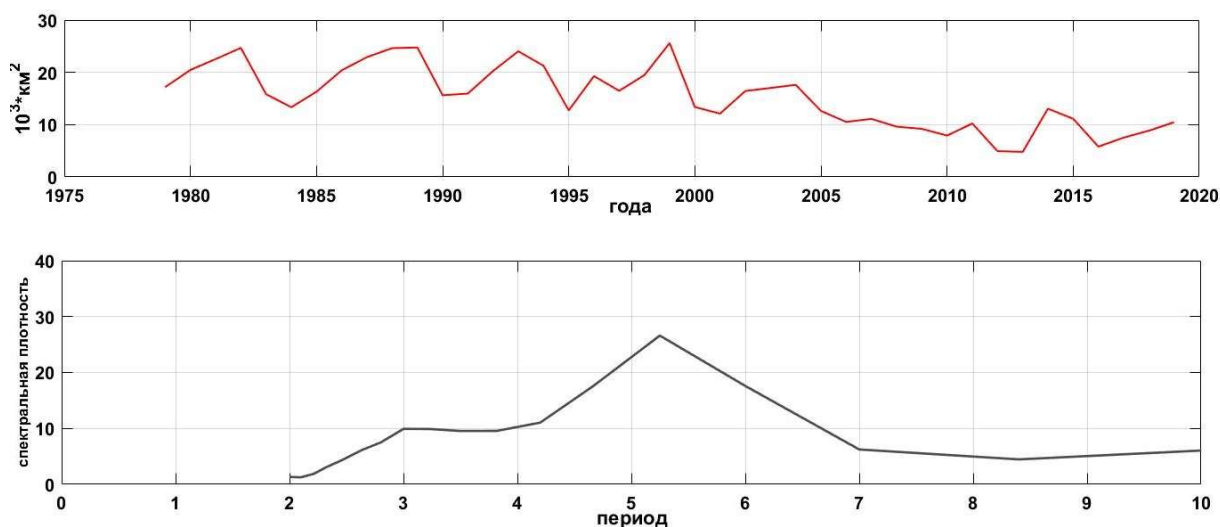


Рис. 3 – Изменения ледовитости (а) и функция спектральной плотности (б) для летнего периода (май-октябрь) в южной части архипелага ЗФИ

Как следует из рисунка 3а, в условный летний период (май-октябрь) в районе архипелага наблюдается максимальная многолетняя изменчивость ледовитости. Разница максимального и минимального значения ледовитости в южной части составляет 20,8 тыс. км², в то время как в зимний период в 3 раза меньше - всего лишь 6,6 тыс. км². Спектральный анализ (см. рис. 3б) показал, что отмеченной многолетней изменчивости соответствует период колебаний равный, примерно, 5 годам.

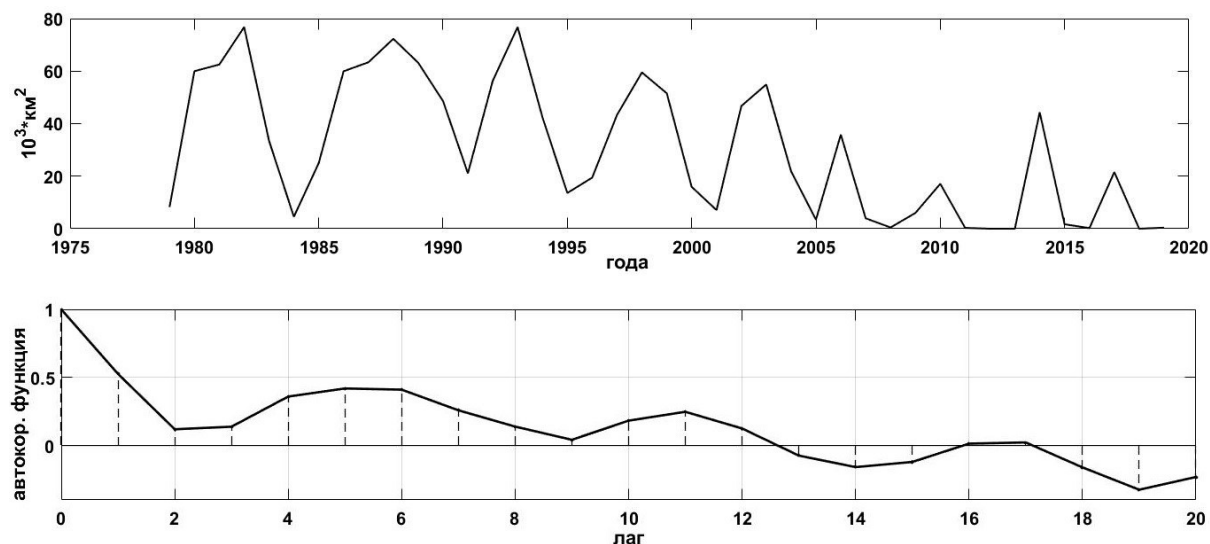


Рис. 4 – Изменения ледовитости (а) и автокорреляционная функция (б) для сентября за период с 1979 по 2019 гг. для всего района архипелага ЗФИ.

Максимальная межгодовая изменчивость ледовитости наблюдается в пик летнего сезона – в сентябре (см. рис. 4а). Размах между максимальным и минимальным значениями ледовитости составил 76,8 тыс. км². Автокорреляционная функция, рассчитанная на основании данных о ледовитости для этого месяца (см. рис. 4б), показала, что период колебаний также составляет около 5 лет, что хорошо согласуется с результатом, полученным для всего летнего периода в южной части архипелага ЗФИ.

По результатам проведённой работы отчётливо заметен отрицательный тренд в изменчивости ледовых условий в исследуемом районе, при этом, с 2006г. амплитуда межгодовых колебаний значительно увеличилась, и, судя по всему, произошла смена ледового режима, что может свидетельствовать о перестройке атмосферной или океанической циркуляции в районе архипелагов Шпицберген и Земля Франца Иосифа.

Литература

1. Жичкин А.П., Ледовые условия в районе архипелага земля франца-иосифа // Труды Кольского научного центра РАН, С. 82-89, 2014.
2. Тисленко Д.И., Иванов Б.В., Смоляницкий В.М., Священников П.Н., Исаксен К., Гьетлен Н., Сезонные и многолетние изменения ледовитости в районе архипелага Шпицберген за период 1979–2015 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики, т. 3, № 109, с. 50-59, 2016 г.
3. Смоляницкий В.М., Мировой центр данных по морскому льду ААНИИ 2019.
4. Maslanik, J. and J. Stroeve., Near-Real-Time DMSP SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations, Version 1, Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, 1999.
5. Donald J. Cavalieri, NASA Team Sea Ice Algorithm, NASA Goddard Space Flight Center, 1992 (<https://nsidc.org/data/pm/nasateam-index>)

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЬДА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

А.В. Юлин, М.В. Шаратунова, В.В. Иванов

ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

FORMATION OF ICE CONDITIONS IN THE EAST SIBERIAN SEA AND THE DISTRIBUTION OF ICE IN SUMMER

A.V. Ulin, M.V. Sharatunova, V.V. Ivanov

Federal State Budgetary Institution «Arctic and Antarctic Research Institute», St. Petersburg, Russia

В работе рассматриваются условия формирования и изменения ледяного покрова Восточно-Сибирского моря в летний период. Для оценки изменчивости положения границ массива и кромки дрейфующего льда использовались данные авиационных ледовых разведок, обзорные ледовые карты ААНИИ. Отмечено, что последние два десятилетия в связи с потеплением климата в море наблюдаются значительные изменения в ледовых условиях.

The paper considers the conditions of formation and change of the ice cover of the East Siberian Sea in the summer. In assessing the variability of the positions of the boundaries of the massifs and the edge of the drifting ice, we used data from aviation ice reconnaissance and AARI ice charts. It has been noted that over in last twenty years, due to climate warming in the sea, significant changes have been observed in ice conditions.

Таяние и разрушение ледяного покрова. В Восточно-Сибирском море процесс разрушения ледяного покрова и очищения ото льда под воздействием тепловых и динамических процессов происходит в июле-сентябре. Важное влияние на режим западной части моря оказывают устьевые участки рек Индигирка и Колыма. В восточной части моря важной региональной особенностью является наличие старых льдов в Айонском ледяном массиве. Одной из важных характеристик весенних процессов в ледяном покрове являются сроки окончательного взлома припая, после которого возрастает интенсивность очищения морей ото льда. В августе происходит наиболее интенсивное таяние льда и очищение Восточно-Сибирского моря. В сентябре процесс очищения завершается.

Ледовитость. Сложность ледовых условий плавания в морях, по которым проходит трасса СМП (Северный морской путь), хорошо отражают два основных показателя ледового режима – ледовитость (общее количество льда, покрывающее акваторию моря) и площадь сплоченных льдов (7-10 баллов) в ледяных массивах. Многолетняя изменчивость ледовитости - индикатор климатических колебаний.

На рисунке 1 приведен межгодовой ход ледовитости Восточно-Сибирского моря в августе (ряд наблюдений с 1946 г. по 2018 гг.).

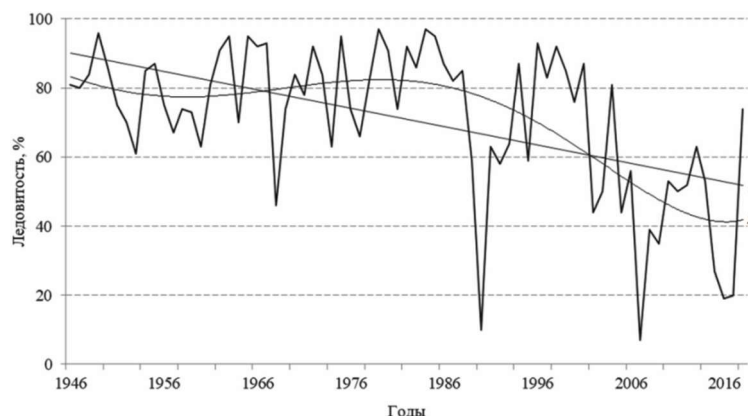


Рис. 1. Межгодовой ход ледовитости Восточно-Сибирского моря в августе 1946 - 2018гг. Линии трендов: 1-линейный, 2-полиномиальный.

Сокращение площади льдов составляет около 40 % за 73-летний ряд наблюдений, или почти 6% в десятилетие. Среднее значение ледовитости в 50-60-х годах прошлого столетия составляло 76-81%, затем наблюдалось увеличение в 70-80-х годах до 82-86%. В последнее десятилетие ледовитость Восточно-Сибирского моря в августе в среднем составила 45%, что в 1,7 раза меньше, чем в предыдущий период с пониженными значениями [2].

В таблице 1 приведены оценки основных статистических характеристик сезонной изменчивости ледовитости Восточно-Сибирского моря за различные временные периоды.

Таблица 1. Основные статистические характеристики сезонной изменчивости ледовитости Восточно-Сибирского моря в различные временные периоды, %

Показатели	Месяцы								
	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
За весь ряд наблюдений с 1973-2018 гг.									
Среднее	94	91	86	74	66	57	50	46	45
Минимум	71	63	46	14	6	0	0	0	0
Максимум	100	100	99	98	98	97	95	94	94
Амплитуда	29	37	53	84	92	97	95	94	94
Станд.откл.	5	8	12	22	25	27	27	29	30
За «холодный» период 1973-1997 гг.									
Среднее	95	93	89	83	78	70	65	62	62
За «теплый» период 1998-2018 гг.									
Среднее	93	90	82	64	53	42	33	27	25
Разность между значениями в «холодный» и «теплый» периоды									
Разность	-2	-3	-7	-19	-25	-28	-32	-35	-37

Изменения между «холодным» и «теплым» периодом нарастают по ходу летнего периода, достигая максимума в сентябре.

Наиболее значительные изменения ледовитости моря между «холодным» и «теплым» периодом наблюдаются в сентябре и составляют 32-37%. В целом ледовитость моря в конце летнего сезона (в сентябре) в «холодный» период составляла 62-65%, а в «теплый» период 25-33% (уменьшилась в 2 раза).

На рисунке 2 представлен сезонный ход изменения ледовитости Восточно-Сибирского моря в различные климатические периоды и за весь ряд наблюдений. Из рисунка видно, что освобождение ото льда половины (50%) акватории моря в «теплый» период достигается уже к середине августа, в то время как в «холодный» не наблюдалось вообще. К концу периода таяния в последний период в среднем может очищаться до 2/3 акватории моря, а в «холодный» период очищалась ото льда только 1/3. В среднем очищение стало происходить на 2-3 декады раньше.

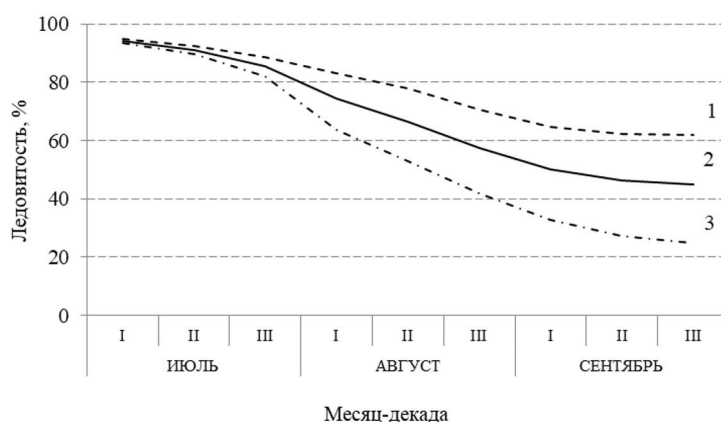


Рис. 2. Сезонный ход средних значений ледовитости Восточно-Сибирского моря, %
1- «холодный» период, 2- весь ряд наблюдений, 3- «теплый» период.

Повторяемость типов ледовых условий в различные периоды. Анализ ледовых условий в разные периоды на трассе СМП в Восточно-Сибирском море был проведен на основе данных по ледовитости. В долгосрочных ледовых прогнозах в качестве критерия типизации принята величина, равная $0,8\sigma$, где σ величина среднего квадратичного отклонения. По этому критерию была сделана сортировка лет по трем типам ледовых условий – «легкий», «средний» и «тяжелый» и оценена повторяемость реализаций каждого из типов (таблица 2).

Таблица 2. Количество лет (N) с различными типами развития ледовых условий и их повторяемость (P, %) в Восточно-Сибирском море в «холодный» и «теплый» климатические периоды

Годы климатических периодов	Длина ряда	Тип развития					
		Тяжелый		Легкий		Средний	
		N	P, %	N	P, %	N	P, %
«Холодный» период 1973-1997гг.	25	11	46	1	4	13	54
«Теплый» период 1998-2018гг.	21	3	14	8	38	10	48

Как следует из таблицы 2, как в «холодный», так и в «теплый» климатические периоды преобладает повторяемость «среднего» типа, которая составляет 50%.

Для «холодного» периода характерна высокая повторяемость «тяжелого» типа ледовых условий и малая повторяемость «легкого» типа. В годы «теплого» периода наблюдается обратное соотношение.

Таким образом, ледовые условия стали легче, произошло уменьшение ледовитости моря и площадей ледяных массивов, возросла продолжительность безледного периода, изменились условия летнего плавания. [3].

Положения кромки и массива льдов в августе-сентябре. Вследствие изменчивости ледовых условий в Восточно-Сибирском море межгодовые колебания положения кромки льдов довольно значительны. По мере очищения моря кромка льда смещается к северу [4].

В работе была выполнена обработка данных и анализ изменчивости положения кромок в августе – сентябре в Восточно-Сибирском море по ледовым картам ААНИИ за период 1973-2018 гг.

На рисунках 3-4 представлены положения кромки дрейфующего льда и границы массивов сплоченных льдов в «холодный» и «теплый» периоды.

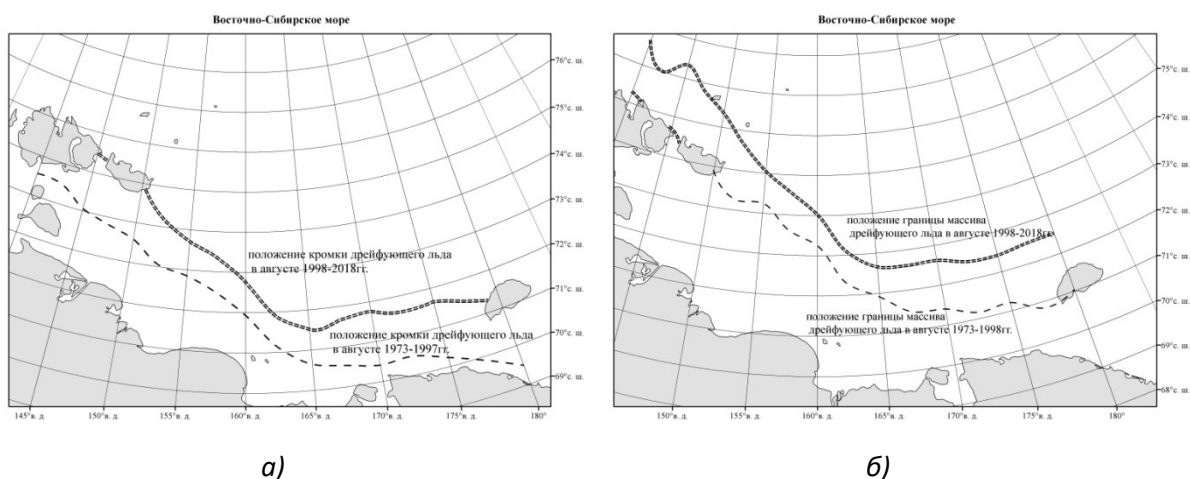


Рис.3. Положения кромки и массива льдов в августе а) - кромка б) - массив.

В августе разность между положениями кромок в «теплый» и «холодный» периоды в западной части Восточно-Сибирского моря (западнее 160°в.д) составляет 45-55 миль, а в восточной части в районе о. Врангеля около 80-105 миль. Диапазон изменчивости положения массивов составляет 45-60 миль в западной части, и соответственно, в восточной – 75-100 миль.

В сентябре разность между положениями кромок в «теплый» и «холодный» периоды в западной части Восточно-Сибирского (западнее 160°в.д) моря составляет 130-170 миль, а в восточной части в районе о. Врангеля около 180-210 миль. Диапазон изменчивости положения массивов составляет 120 - 200 миль в западной части, и соответственно, в восточной – 200 - 220 миль.

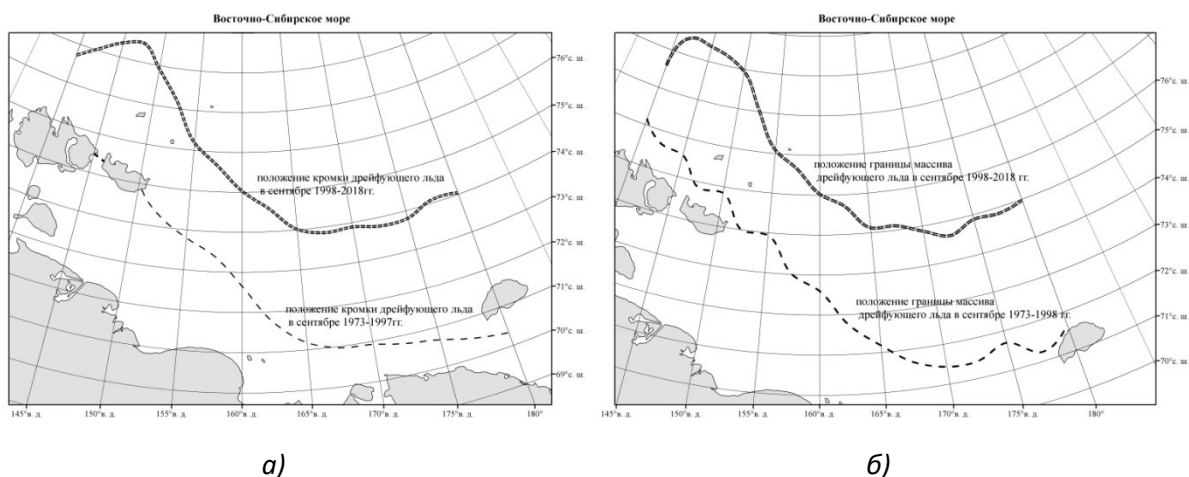


Рис. 4. Положения кромки и массива льдов в сентябре а) - кромка б) - массив.

Построенные карты распределения кромок и массивов в летний период наглядно подтверждают изменения в летнем режиме Восточно-Сибирского моря в последнее двадцатилетие. Следовательно, становится очевидным важность мониторинга за изменениями границ положения льдов и разработки долгосрочного прогноза для планирования морских операций на СМП.

Выводы. Выполненная работа для Восточно-Сибирского моря подтверждает, наличие устойчивого тренда уменьшения ледовитости и площадей ледяных массивов в летний период. Анализ повторяемости ледовых условий в разные климатические периоды на трассе СМП показал, что ледовые условия стали легче. За последнее двадцатилетие повторяемость «среднего» и «легкого» типов составила 86%.

Анализ распределения границы дрейфующих льдов и границы сплоченных льдов, показывает что наблюдается значительное смещение границы льдов в летний период, что существенно изменяет условия плавания судов в легкую сторону.

Построенные пространственные распределения положения кромок и массивов могут быть в дальнейшем использованы для разработки прогностической модели.

Литература

1. Наблюдения за ледовой обстановкой: Учебное пособие. СПб. ГУ «ААНИИ», 2009.-360 с.
2. Юлин А.В., Тимофеева А.Б., Павлова Е.А., Шаратунова М.В., Хотченков С.В. Межгодовая и сезонная изменчивость ледовитости российских арктических морей в современном климатическом периоде. Москва, ГОИН «Материалы шестой всероссийской конференции по прикладной океанографии», 2018.
3. Юлин А.В., Шаратунова М.В., Павлова Е.А., Иванов В.В. Сезонная и межгодовая изменчивость ледяных массивов Восточно-Сибирского моря .СПб, Проблемы Арктики и Антарктики. 2018.№3, С. 5-15.
4. Карклин В.П., Карелин И.Д. Сезонная и многолетняя изменчивость характеристик ледового режима морей Лаптевых и Восточно-Сибирского// Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. М.: Изво МГУ, 2009. С. 187 – 201.

ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ СТОКА РЕК ПРИ НАЛИЧИИ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Ю.В. Шарина

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия.

THE REAL-TIME RIVER DISCHARGE COMPUTATION IN THE CONDITIONS OF ICE FORMATIONS

Yu.V. Sharina

Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute», St. Petersburg, Russia.

Рассматриваются разработанные и усовершенствованные в отделе гидрометрии и гидрологической сети ГГИ методики оперативного учета стока рек с разными типами ледового режима.

The methods of the real-time discharge computation for the rivers with different types of ice regime developed and improved in the Department of hydrometry and hydrological network of SHI are considered.

Оперативный учет речного стока заключается в вычислении ежедневных расходов воды (ЕРВ) в реальном времени на основе измеренных уровней воды.

Связь между расходом и уровнем может нарушаться в результате стеснения живого сечения потока ледяными образованиями. Характерным признаком данного режима является отклонение точек измеренных расходов воды (ИРВ) влево от соответствующих кривых расходов (КР) свободного русла при наличии сведений о ледовых явлениях [1].

Для выбора метода учета стока необходимо различать основные типы зимнего режима рек:

I – отсутствие непрерывного сплошного ледостава вследствие порожистости и значительной водоносности в зимнее время (реки горных и предгорных районов Кавказа и Алтая);

II – наличие неустойчивого ледостава (реки юга и запада ЕТР), Кавказа);

III – наличие длительного непрерывного сплошного ледостава (реки севера и центра ЕТР, Сибири, Дальнего Востока);

IV – промерзание водотока и наледи (реки юго-востока ЕТР, Восточной Сибири и Дальнего Востока).

Традиционно для учета речного стока в зимний период используются переходные коэффициенты $K_{зим}$, но эта характеристика становится трудно определяемой в связи с невозможностью измерения расходов в период сложной ледовой обстановки (ледохода, наличия полыней и т.п.). Интерполяция измеренных расходов в интервале между наблюдениями требует большого количества измерений и физически не всегда обоснована [2].

В соответствии с Рекомендациями [3] в качестве первого приближения к значению расхода воды принимается значение расхода, полученное по опорной КР для текущего уровня воды H_t . В качестве опорной КР при оперативном учете стока принимается КР, построенная по данным ИРВ прошлых лет. Для уточнения вычисленного по опорной КР расхода воды используются поправки, которые вычисляются с использованием того или иного способа экстраполяции характеристик изменения пропускной способности русла (ПСР).

В общем случае значение оперативного расхода воды на момент времени (срок) t вычисляется по формуле

$$Q_{\text{опт}}=Q(H_t)(1+\tilde{q}_t), \quad (1)$$

где – $Q(H_t)$ расход воды, полученный по опорной КР для уровня H_t , зафиксированного в момент времени t , м³/с;

\tilde{q}_t – значение поправки, экстраполированное тем или иным способом на момент времени t .

В качестве характеристик изменения ПСР во времени используются относительные отклонения ИРВ $\tilde{q}_{\text{и}}$ от опорной зависимости $Q(H)$.

$$\tilde{q}_{\text{и}}=\frac{Q_{\text{и}}-Q(H_{\text{и}})}{Q(H_{\text{и}})}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{и}}$ – измеренный расход воды, м³/с;

$Q(H_{\text{и}})$ – расход воды, полученный по опорной КР для уровня $H_{\text{и}}$, зафиксированного во время измерения расхода воды $Q_{\text{и}}$, м³/с.

Для рек I типа в зимний период характерно чередование периодов ледяных образований и периодов свободного русла. Для рек горных и предгорных районов нередки зимние паводки.

Рассмотрим пример расчета оперативных расходов в створе гидрологического поста (ГП) р. Ходзь – ст-ца Бесленевская. Ледяные образования появляются на реке практически каждую зиму, но ледостав, как правило, не образуется. В 2012 г. первые ледяные образования (забереги, шуга) были отмечены 19 января и продолжались до 17 марта. В период с 19 по 25 января оперативные расходы вычислялись непосредственно по опорной КР. В период с 26 января по 6 февраля оперативные расходы вычислялись по формуле (1) с учетом относительного отклонения ИРВ от 25 января. В период с 7 февраля до даты окончания периода ледяных образований оперативные расходы вычислялись по формуле (1) с учетом сглаженных значений \tilde{q}_t , вычисляемых по формуле

$$\tilde{q}_t=\frac{\tilde{q}_1+\tilde{q}_2}{2}, \quad (3)$$

где \tilde{q}_1 – относительное отклонение последнего ИРВ;

\tilde{q}_2 – относительное отклонение предпоследнего ИРВ.

На рис. 1а показано сравнение режимного гидрографа, построенного по данным об ЕРВ из гидрологического ежегодника (ГЕ) и оперативного гидрографа.

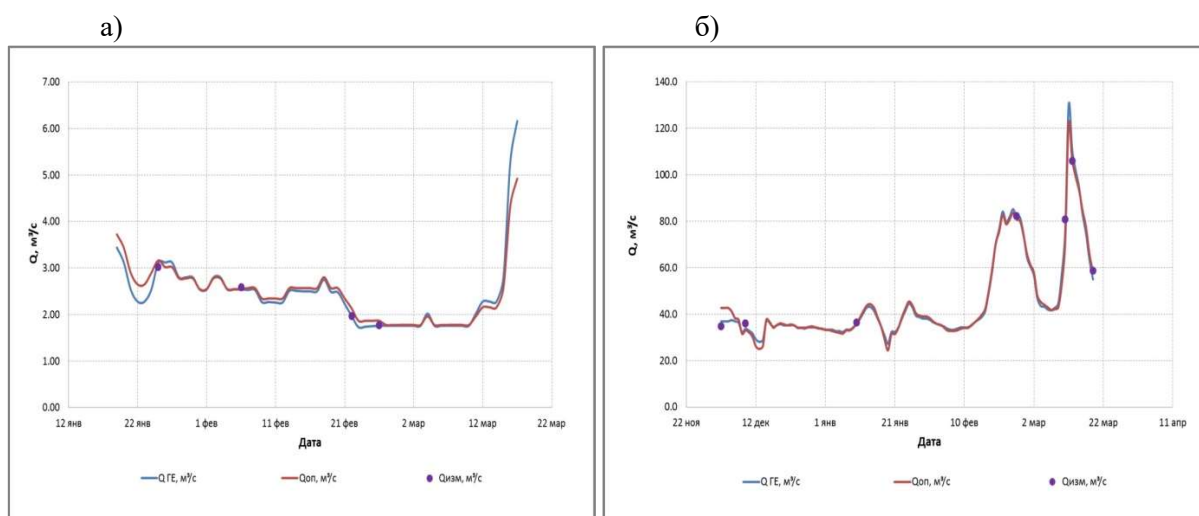


Рис. 1 а) Гидрограф р. Ходзь в створе ГП Бесленевская за период ледяных образований

(19.01-17.03.2012 г.)

б) Гидрограф р. Сосна в створе ГП Елец за период ледяных образований

(05.12.2013-13.03.2014 г.)

Реки II типа характеризуются наличием периодических замерзаний и вскрытий реки вследствие продолжительных оттепелей или поступления теплых вод (сбросы сточных и промышленных вод, попуски из водохранилища и т.п.).

С физической точки зрения интенсивность ледообразования и нарастания льда в осенне-зимний период зависит от содержания в воде ледяных образований (шуги, сала, льдин) [2]. В период стаивания льда этот процесс развивается более интенсивно: уменьшение массы ледяных образований происходит пропорционально сумме положительных температур воздуха. Для периода замерзания по данным прошлых лет может быть построен график связи $\tilde{q}_t = f(|\sum t_i|)^{0.5}$, а для весеннего периода стаивания график связи $\tilde{q}_t = f(\sum t_i)$.

В итоге получаются аналитические зависимости:

$$\tilde{q}_n = \tilde{q}_0 - a_n \left(\left| \sum_1^{\tau} t_i \right| \right)^{0.5} \quad (4)$$

$$\tilde{q}_в = \tilde{q}_{вн} + a_в \left(\sum_1^{\tau} t_i \right), \quad (5)$$

где \tilde{q}_n - относительное отклонение в предледоставном переходном периоде;

\tilde{q}_0 - относительное отклонение от опорной КР последнего расхода, измеренного в период, предшествующий появлению ледяных образований;

$a_n, a_в$ - коэффициенты, полученные для зависимостей (4) и (5) по данным прошлых лет;

t_i - температура воздуха в i -тый день после перехода ее через нулевое значение осенью или весной;

$\tilde{q}_в$ - относительное отклонение в период весеннего стаивания;

$\tilde{q}_{вн}$ - относительное отклонение от опорной КР последнего расхода, измеренного при устойчивом ледоставе.

Рассмотрим пример расчета оперативных расходов в створе ГП р. Сосна – г. Елец за период ледовых явлений 2013-2014 гг. Участок реки характеризуется наличием неустойчивого ледостава. В результате анализа данных измерений и наблюдений за зимние периоды с 1999 по 2012 г. удалось получить зависимости вида (4) и (5) для периодов замерзаний и вскрытий реки.

В период с 9 декабря по 10 января оперативные расходы определялись по формуле (1) с учетом относительного отклонения, полученного по зависимости вида (4). В период с 11 января до начала периода таяния (11 марта) оперативные расходы определялись с учетом сглаженных по формуле (3) относительных отклонений ИРВ. В период с 11 по 13 марта оперативные расходы определялись по формуле (1) с учетом относительного отклонения, полученного по зависимости вида (5). На рис. 16 показано сравнение режимного гидрографа, построенного по данным об ЕРВ из ГЕ и оперативного гидрографа.

Для рек III типа характерно наличие длительного устойчивого ледостава без периодов оттепелей.

Рассмотрим пример расчета оперативных расходов в створе ГП р. Обь – г. Колпашево за период ледовых явлений 2015-2016 гг. В начале зимы на участке поста образуются полыньи, что

делает невозможным измерение расходов. По данным измерений и наблюдений прошлых лет была получена устойчивая зависимость вида (4), которая использовалась для расчета относительных отклонений за период с 6 ноября 2015 по 13 января 2016 г. В период устойчивого ледостава (13 января – 3 апреля) относительные отклонения определялись по формуле (3). Для периода весеннего таяния по данным прошлых лет была получена зависимость вида (5), которая использовалась для расчета \tilde{q}_t до полного схода ледяных образований (19 апреля). На рис. 2а показано сравнение режимного гидрографа, построенного по данным об ЕРВ из ГЕ и оперативного гидрографа.

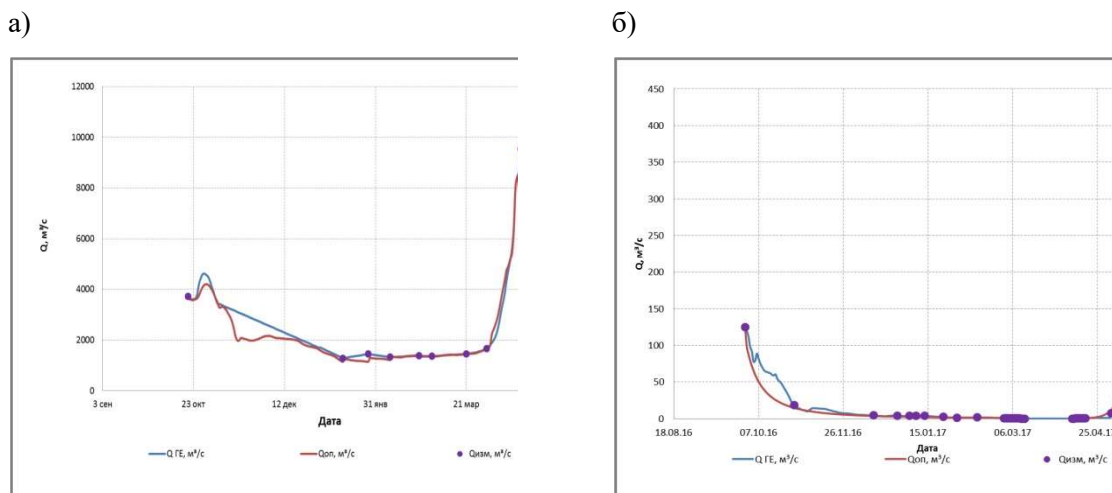


Рис. 2 а) Гидрограф р. Обь в створе ГП Колпашево за период ледяных образований (06.11.2015-19.04.2016 г.)

б) Гидрограф р. Яна в створе ГП Верхоянск за период за период ледяных образований (29.09.2016-20.05.2017 г.)

Из рис. 2а видно, что учет температур воздуха позволяет получить более обоснованный физически ход расходов воды в периоды замерзания и таяния льда.

Для рек IV типа характерно практически ежегодное прекращение стока в зимний период вследствие промерзания водотока до дна. Для оперативного учета стока таких рек традиционно используется экстраполяция значения последнего ИРВ на период до момента следующего ИРВ, однако, измерения расходов воды на таких реках часто ненадежны из-за невозможности охватить отдельные струи потока.

Одна из особенностей гидрографа в устойчивые зимы без оттепелей – спад расходов воды по мере убывания запасов влаги в бассейне реки. На основе этой физической тенденции построена одна из моделей гидрометрического учета стока. Уменьшение расходов воды с наступлением межени происходит по экспоненциальному закону [2]. Применительно к этим условиям кривая спада гидрографа стока эффективно описывается формулой, выведенной Буссинеском как решение нелинейного дифференциального уравнения фильтрации:

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + \alpha_0 T)^2}, \quad (6)$$

где α_0 – коэффициент истощения стока;

T – время от начала ледовых явлений до момента расчета.

Модель учета стока в предвесенний период принимает вид [2]

$$Q = Q_{min} \cdot e^{\alpha_n T}, \quad (7)$$

где α_n – коэффициент нарастания стока;

T – время от начала весеннего подъема водности до момента расчета.

В качестве Q_o принимается расход, измеренный в период открытого русла за несколько дней до появления ледяных образований, Q_{min} – расход, измеренный в конце спада гидрографа или в самом начале возобновления стока. Параметры α_o и α_n определяются по данным прошлых лет.

Рассмотрим пример расчета оперативных расходов в створе ГП р. Яна – г. Верхоянск за период ледовых явлений 2016-2017 гг. Для реки на участке ГП характерно практически ежегодное прекращение стока вследствие перемерзания на перекатах. В зимний период 2016-2017 гг. спад расходов воды наблюдался в период с 29 сентября 2016 по 12 марта 2017 г. сток отсутствовал в период с 13 марта по 10 апреля 2017 г., и с 11 апреля по 20 мая 2017 наблюдался весенний подъем водности. По данным нескольких прошлых зим были определены осредненные значения параметров α_o и α_n . В качестве Q_o было принято значение ИРВ от 29 сентября, Q_{min} – значение расхода, полученное методом интерполяции в конце спада гидрографа. Для расчета оперативных расходов в период спада водности использовалась зависимость (6), в период подъема – зависимость (7).

На рис. 26 показано сравнение режимного гидрографа, построенного по данным об ЕРВ из ГЕ и оперативного гидрографа.

Изложенные методики основаны на физических закономерностях, что позволяет осуществлять расчет оперативных расходов воды на объективной основе. Кроме того, они могут быть легко реализованы в виде компьютерной программы, что позволит автоматизировать оперативную обработку гидрологической информации.

Литература

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. III. Составление и подготовка к печати гидрологического ежегодника. Л.: Гидрометеоиздат, 1958. 292 с.
2. Методические рекомендации по учету стока на реках в зимний и переходные периоды. Л. : 1980. 50 стр.
3. Оперативный учет стока на водотоках. Методы обработки наблюдений за уровнями и расходами воды. СПб.: 2018. 107 стр.

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ПОРТОВОГО МЕТЕОРОЛОГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ В РФ

Шаромов А.Ю., Мамаева М.А.

ФГБОУ «Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова», Санкт-Петербург, РФ

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, РФ

Sharomov A., Mamaeva M.

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

Обсуждаются вопросы образования и подготовки портовых метеорологов для метеорологического обслуживания деятельности портов.

The issues of education and training of port meteorologists for meteorological provision of port activities are discussed.

Российская Федерация - морская держава в северном полушарии с очень протяжённой береговой линией (37 653 км), которая имеет выход к океанским путям мира, но пересекает климатические зоны от полярной до субтропической. Это создаёт некоторые трудности в реализации использования возможностей круглогодичной навигации в морях России и морского метеорологического обслуживания в замерзающих морях. Сегодня морское портовое хозяйство России – это 67 морских портов мощностью около 1003,6 млн. тонн в год с протяженностью причального фронта порядка 148 тысяч погонных метров. Работа морских портов во многом определяется физико-географическими особенностями акваторий морей и береговой суши и в ряде случаев это формирует навигационный период работы морского порта, многие из которых перестают работать в зимний период времени. Морские порты России, включённые в реестр морских портов [1,2] (рис.1.), входят в состав 8 морских бассейнов, тяготеющих к трём океанам – Северному Ледовитому, Тихому и Атлантическому. По территории или географическому положению они расположены крайне неравномерно.



Рис.1 Морские порты России.

Территориально-хозяйственная классификация морских портов по 8 морским бассейнам определяется и обусловлена многими факторами, главными из которых является доступность портовых территорий к осуществлению деятельности в морском порту в целях торгового

мореплавания и реализация экономической эффективности прилегающих территорий. Каждый морской порт или гавань отличается профилем специализации, размером территории суши и акватории порта, расположением и преобладающими метеорологическими условиями в течение года, так что существует большое многообразие индивидуальных требований к локальному морскому метеорологическому обслуживанию и специализации тех, кто осуществляет его в порту. К предоставлению морского метеорологического обслуживания в портах обычно привлекаются различные организации, что неизбежно приводит к различным требованиям в том или ином порту [3,4].

Морское метеорологическое обслуживание основных портов и гаваней обычно помогает избежать рисков при выполнении всех или некоторых из следующих видов деятельности:

- перемещения судов (заход в порт, выход из порта или перемещение по порту);
- погрузка/разгрузка контейнеров, обеспечение сохранности и складского хранения контейнеров, включая безопасность кранов и подъемного оборудования;
- посадка и высадка пассажиров, особенно на вспомогательном судне;
- дозаправка топливом;
- погрузка барж;
- дноуглубительные и очистные работы;
- судостроительные и другие строительные работы;
- работы по инженерному оснащению портов;
- ледокольное обслуживание в портах и на подходах к ним;
- работы по борьбе с загрязнением моря в акватории порта;
- спасательные операции;
- работа предприятий, торговли, урегулирование судебных споров и страхование;
- отдых на воде; и некоторые другие.

Условия погоды влияют на операции по заходу судна в док и выход из него. Наличие метеорологической информации фактической и прогнозируемой об ожидаемом усилении ветра, волнения и дальности видимости помогает планировать работу морского порта, движение судов в гавани, из гавани или в её пределах. Когда тропический циклон угрожает конкретному порту, прогнозируемое перемещение циклона повлияет на решение капитана судна предпринять маневры по уклонению от него, выйдя в открытое море или переждав в гавани или на рейде.

Прогнозы погоды в море, порту и гавани не всегда оправдываются, поскольку физико-географические условия отдельных акваторий в рамках общей циркуляции атмосферы имеют тенденцию оказывать значительное влияние на распределение скорости ветра и выпадение осадков, формирование ледовых условий и ограниченной видимости и т.п., на местном или локальном уровне. Поэтому очень важно чтобы метеорологический персонал и моряки имели возможность реагировать на изменения метеорологической обстановки в морском порту в целях безопасности мореплавания и техники безопасности выполнения работ в порту и гавани.

Портовые метеорологи (ПМ) играют весьма важную роль в обеспечении связи между национальными гидрометеорологическими службами (НМГС) и сообществом капитанов-судоводителей. Их функции являются по своей природе истинно международными: где бы ни находилось судно, оно должно иметь возможность получить помощь, в которой нуждается для выполнения функций метеорологической наблюдательной станции, а также информацию о морском метеорологическом обслуживании, предоставляемом в данной стране, данном регионе и за границей. ВМО осуществляет международную координацию, а роли и распределение ответственности описаны в Руководстве по Глобальной системе наблюдений (ВМО-№ 488) [11], а национальные службы выполняют свои международные обязательства в своих МЕТЕО зонах с учётом технических возможностей их обслуживания. Наблюдения за морской средой в РФ ведутся в соответствии с национальными требованиями, изложенными в наставлениях по гидрометеорологическим станциям и постам [6-9].

Категории персонала, для которых требуется подготовка по морской метеорологии в морском порту:

- метеорологический персонал, выполняющий функции наблюдателей, прогнозистов и климатологов для морских целей;
- портовые метеорологи (ПМ);
- моряки плавсостава.

Для каждого класса морского метеорологического персонала требуется подготовка как в области общей метеорологии, так и в области оперативной морской метеорологии до различных уровней, необходимых для выполнения конкретных задач в морском порту [10-13].

Классификация и образовательные требования к метеорологическому персоналу, включая программу подготовки, подробно представлены в Руководстве по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии (ВМО-№ 1083), том I — Метеорология. Рамочная основа ВМО для компетенций в области морского метеорологического и океанографического обслуживания (Технический регламент (ВМО-№ 49), том I, часть V) [13] может быть использована для оценки прогнозистов на предмет их соответствия требованиям. Принципы и процедуры, регулирующие обучение метеорологического персонала всех классов, занятого морской метеорологической деятельностью, а также портовых метеорологов и моряков, изложены в Наставлении по морскому метеорологическому обслуживанию (ВМО-№ 558), том I, часть VI [3]. Кроме того, должны приниматься во внимание стандарты, установленные соответствующими международными органами, для подготовки штурманского состава судов, например, Международная конвенция ИМО по стандартам обучения и конвенция ПДНВ, аттестации и несения вахт для капитанов и вахтенных помощников, в которой установлены требования в области морской метеорологии к подготовке капитанов и старших помощников судов тоннажем 200 брутто-регистрационных тонн или более. Полярный кодекс ИМО также содержит руководящие принципы в области подготовки моряков, выполняющих свои обязанности в полярных водах.

Цель метеорологического обучения портовых метеорологов заключается в совершенствовании знаний в области принципов и организации метеорологического прогнозирования в области морской среды, использования морских метеорологических приборов и методов наблюдений на борту судна, использования кодов и метеорологических бортовых журналов, а также процедур регистрации и передачи наблюдений. Персоналу, участвующему в подготовке кадров, следует руководствоваться публикацией Руководящие указания для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания (ВМО-№ 1114) [12]. Регулярные курсы по подготовке портовых метеорологов к выполнению их обязанностей следует организовывать исходя из требования к каждому элементу морского обслуживания, а именно:

1. **Ветер.** Информация о ветре обычно считается наиболее важным элементом для моряка. Морякам нужно знать изменения скорости и направления ветра в течение дня в районе плавания или проведения работ. Идентификация морского бриза, развивающегося вдоль побережья, важна как для прибрежных населенных пунктов, так и для расположенных дальше на суше, из-за его охлаждающего воздействия и повышения уровня комфорта для человека или даже из-за возможного развития гроз вдоль кромки морского бриза.
2. **Волны.** Информация о волнах, как правило, является вторым по важности элементом после ветра. Правила безопасности на судах бывшего советского рыболовного флота предусматривали, что, когда скорость ветра достигала 30 узлов (эквивалент 15 метров в секунду) или высота волн превышала 4 метра, суда типа СРТ (средние рыболовные траулеры) должны были прекращать движение или оставаться в порту. Некоторые порты становятся труднодоступными, когда в море наблюдается очень сильное волнение и зыбь. Туристические курорты с океанскими пляжами могут нуждаться в информации об опасных высоких волнах зыби.
3. **Период волны.** Определенные структуры (прибрежные и морские нефтяные операции) уязвимы для определенных периодов волн больше, чем другие. Период

волны может ограничивать управляемость большим судном при длинном периоде волн зыби. Капитаны портов могут закрывать входы в порт или задействовать дополнительные буксиры для безопасного прохода судов в порт и из порта, когда отмечается зыбь с длинным периодом волны. Некоторые порты могут оказаться под комбинированным воздействием направления волны и зыби с длинным периодом волны.

4. **Прибой и буруны.** Высокие буруны могут нанести ущерб сооружениям, построенным вблизи моря, и вызвать эрозию побережья. Для популярных океанских пляжей могут потребоваться прогнозы прибойной волны. Прогноз должен включать в себя максимальную высоту и направление бурунов, наряду с ветром и приливами и отливами, которые влияют на разрушение волн. Когда предсказаны высокие буруны, спасательные станции могут вызвать дополнительный персонал или закрыть пляж.
5. **Видимость.** Туман и дымка являются наиболее распространенными причинами ограниченной видимости, но снег, густая мгла, дым и сильный дождь также могут рассматриваться как опасные явления. Минимальное значение дальности видимости, требующее выпуска предупреждения, должно определяться по согласованию с пользователями. Видимость менее двух морских миль, хотя обычно и не является опасной для большинства судоходных операций в течение дня, тем не менее, снижает в некоторой степени способность моряка к безопасному маневрированию. Видимость менее одной мили представляет опасность для судоходства и морских операций в морском порту. При видимости менее полумили для безопасной навигации от судов потребуются значительное снижение скорости движения вперед или даже полная остановка до тех пор, пока видимость не улучшится. При видимости, приближающейся почти к нулю, опасность есть не только для любых движущихся судов, но и для судов, стоящих на якоре или лежащих в дрейфе. Снижение видимости также может увеличить риск столкновения судов друг с другом.
6. **Облачность и осадки.** Информация об облачном покрове и продолжительности солнечного сияния является важной для тех, кто решил провести время на воде для отдыха и катания на лодках, и им необходимо решить, стоит ли выходить в море. Информация об осадках важна не только для комфортного отдыха на воде, но и для сохранности груза на судне или в морском порту, хотя сильные осадки могут также значительно сократить дальность видимости и затруднить все виды морских операций.
7. **Грозы и шквалы.** Суда, находящиеся на судоходных путях, особенно уязвимы для внезапных изменений погоды, связанных с грозами и ярко выраженными холодными фронтами. Крупные контейнеровозы и круизные суда в порту и загруженные судоходные пути особенно уязвимы для шквалов и внезапных грозовых порывов ветра из-за длинных и высоких бортов этих судов (т. е. из-за высокой парусности). Многие суда, особенно небольшие суда, в прибрежных водах уязвимы для шквалов во время грозы и линий шквалов, водяных смерчей и сильных грозовых разрядов.
8. **Температура воздуха.** Экстремальные температуры, как положительные, так и отрицательные, могут снизить работоспособность и потенциальную готовность к предотвращению несчастных случаев среди работников, подвергающихся воздействию экстремальных температур из-за начальной стадии переохлаждения или, наоборот, Полярный кодекс ИМО определяет функционирование судоходства при низких температурах атмосферного воздуха как опасное

явление. Кодекс определяет «воздух низкой температуры» как области с температурой воздуха не выше -10°C . теплового удара.

9. **Температура моря.** Из-за риска переохлаждения очень холодная температура моря является критически важным ограничивающим фактором для выживания персонала в воде без соответствующей защиты. Например, время выживания человека в воде при температуре ноль градусов Цельсия составляет менее 10 минут.
10. **Океанические течения.** Информация об океанических течениях используется в навигации. Познание течений также особенно важно для моделирования перемещения возможных разливов нефти и других загрязняющих веществ. Течения в сочетании с ветрами у морской поверхности играют значительную роль в дрейфе морского льда и айсбергов.
11. **Отбойные течения.** Взаимодействие волн, ломающихся вдоль береговых линий и вблизи скалистых мысов или других береговых сооружений, может вызвать отбойные течения. Отбойные течения относят воду от берега, тем самым создавая опасность для пловцов и небольших судов. Местные спасательные станции лучше всего подходят для определения потенциальной опасности отбойных течений, обусловленной существующими характеристиками пляжа и высотой волн, направлением волн, приливо-отливными и ветровыми условиями.
12. **Штормы, вызванные изменениями уровня воды и сейшми.** Информация о таких изменениях уровня воды играет весьма важную роль при проектировании некоторых прибрежных объектов и для судовых операций на мелководье. Штормовые нагоны и, как их следствие, паводки являются причиной значительного ущерба и гибели людей в прибрежных населенных пунктах. Наиболее распространенным и самым опасным изменением уровня воды, вызванным штормом, является штормовой нагон в результате тропического циклона.
13. **Приливы и отливы.** Время полной и малой воды и высота уровня воды на текущий и последующие дни представляют собой важную информацию, используемую судами и береговыми инженерами при планировании инженерно-проектных работ.
14. **Обледенение.** Нарастание льда на надстройке и палубном оборудовании судов, даже очень больших, может серьезно повлиять на безопасность и эффективность работ. Например, обледенение антенн может вывести из строя радио- и радиолокационное оборудование.
15. **Замерзающая водяная пыль.** Замерзающая водяная пыль является наиболее опасной формой обледенения судна в море и отмечается почти в 90 процентах судовых сводок об обледенении. Брызговое обледенение может прирастать со скоростью, превышающей несколько сантиметров в час, и его трудно удалить из-за твердости льда и прочного прилипания. Суда обычно создают большую часть водяной пыли, когда идут носом на волну, и минимальное количество водяной пыли, когда идут курсом по волнам.
16. **Морской лед.** Ледовые условия не только затрудняют навигацию, но и могут иногда приводить к повреждению судов. Морской лед может представлять опасность для всех классов морского транспорта. Может отмечаться ледяной затор, вызывающий разрушения мостов и гаваней, а также паводок.
17. **Айсберги** являются основным источником опасности для судоходства. Столкновение может произойти в условиях ограниченной видимости или в штормовую погоду со снегопадом. Востребована информация о местоположении

айсбергов в указанные сроки и об их предполагаемых размерах, скорости и направлении дрейфа.

18. **Тропические циклоны.** Местоположение центра циклона (или внутритропической депрессии) обычно дается в координатах широты и долготы в предупреждениях для открытого моря, предназначенных для больших судов, находящихся в море, однако для прибрежных вод его положение должно быть выражено через расстояние и направление на хорошо известные прибрежные поселения.
19. **Цунами** возникают в результате подводной сейсмической активности. Они могут привести к огромным разрушениям и гибели людей. Предупреждение о значительном цунами должно сопровождаться быстрой эвакуацией населения из всех низкорасположенных районов на пути волн цунами, в том числе в морском порту.
20. **Влажность.** Информация о высокой влажности может иметь большое значение при транспортировке грузов из-за ее потенциально опасного воздействия на груз, особенно в сочетании с низкими температурами поверхности моря, что приводит к конденсации влаги на поверхности корпуса и груза.
21. **Ветровое выхолаживание.** Охлаждение под действием ветра, превосходящее определенные пороговые значения, является очень важным критерием для комфортного состояния человека. Переохлаждение и обморожение могут произойти в результате ветрового выхолаживания в течение очень короткого времени, что снижает работоспособность и, тем самым, увеличивает вероятность несчастных случаев.
22. **Сейши** в гавани могут привести к беспорядочным перемещениям судна, затрудняя швартовку и увеличивая опасность столкновений. Аномально низкие уровни воды, возникающие под воздействием ветрового давления — так называемые отрицательные нагоны воды — могут влиять на морские операции в прибрежных районах, устьях рек или на входах в гавани. Информация о таких отклонениях в уровне воды также востребована.

Подготовка портового метеоролога в РФ должна проходить исходя из рекомендаций ВМО и ИМО на национальном уровне в образовательных центрах Росгидромета и учебных центров агентства морского и речного флота.

Литература

1. Федеральное агентство морского и речного транспорта. Реестр морских портов – <http://www.morflot.ru>
2. Федеральный закон Российской Федерации от 8 ноября 2007 г. N 261-ФЗ "О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
3. Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию Том I — Глобальные аспекты Дополнение VI к Техническому регламенту ВМО. - ВМО-№ 558 Издание 2012 г. Обновлено 2018 г., - 81 с.
4. Руководство по морскому метеорологическому обслуживанию. - ВМО-№ 471, Изд. 2018 г., - 93 с.
5. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. – Министерство Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации, Федеральная Служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2009, -135 с.
6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть I. Гидрометеорологические наблюдения на береговых станциях и постах. (РД 52.10.842-2017)
7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постах. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть II. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, проводимые штатными наблюдателями. Книга 1. Общие методические требования к организации и обеспечению гидрометеорологических и актинометрических наблюдений на судах. (РД 52.04.316-92)

8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть II. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, проводимые штатными наблюдателями. Книга 2. Методики выполнения гидрометеорологических наблюдений на судах. (РД 52.04.316-92)
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Часть III. Гидрометеорологические наблюдения, проводимые штурманским составом на морских судах (РД 52.04.585-97)
10. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. ВМО-№ 8. — 2014, 1400 с.
11. Руководство по Глобальной системе наблюдений. - ВМО-№ 488, - 2010, - 182 с.
12. Руководящие указания для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания (ВМО-№ 1114).
13. Технический регламент (ВМО-№ 49), том I, часть V

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ИНТЕНСИВНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОД ЖЕЛТОГО МОРЯ

Швед Яна Валерьевна¹, Фролова Наталия Сергеевна¹

¹Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, Россия

SATELLITE MONITORING OF INTENSIVE FLOWERING OF THE YELLOW SEA WATERS

Swed Yana Valerievna¹, Frolova Nataliya Sergeevna¹

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia.

В данной статье рассмотрена экологическая проблема Желтого моря, связанная с ежегодным обильным цветением воды. Для Желтого моря эта проблема особенно актуальна, поскольку на данный момент не удаётся предотвратить развитие данного процесса. Для того чтобы найти решение этой непростой задачи, необходимо сначала выявить истинные причины такого масштабного нашествия водорослей. Цель данного исследования заключалась в изучении процесса интенсивного цветения вод Желтого моря по данным спутниковых наблюдений и выявлении возможных причин данного процесса. Для того чтобы максимально охватить прибрежную территорию Желтого моря, были использованы спутниковые данные среднемесячных значений температуры и концентрации хлорофилла, фосфатов, нитратов в четырёх точках. Для работы были использованы такие статистические методы, как корреляционный анализ, взаимная корреляция, гармонический анализ Фурье и спектр, был проведён анализ тренда временного ряда и построен сезонный ход за все интересующие годы. Полученные результаты показали, что, в зависимости от района моря, на обильное цветение морской воды вдоль побережья могут оказывать влияние как биогенные вещества, фосфаты и нитраты, так и температура воды.

This article discusses the environmental problem of the Yellow sea, associated with the annual abundant flowering of water. For the Yellow sea, this problem is particularly relevant, because at the moment it is not possible to prevent the development of this process. In order to find a solution to this difficult problem, it is necessary to first identify the true causes of such a large-scale invasion of algae. The purpose of this study was to study the process of intensive flowering of the Yellow sea waters from satellite observations and identify possible causes of this process. In order to cover the coastal area of the Yellow sea as much as possible, satellite data of average monthly values of temperature and concentration of chlorophyll, phosphates, nitrates in four points were used. For work were used such statistical methods as correlation analysis, cross-correlation, harmonic analysis and Fourier spectrum analysis was conducted of time series trend, seasonal and built the course over the years. The results showed that, depending on the area of the sea, the abundant flowering of seawater along the coast can be influenced by both nutrients, phosphates and nitrates, and water temperature

Введение. Желтое море ежегодно приобретает зелёный оттенок из-за большого скопления водорослей. Причиной данного явления оказывается цветение местных водорослей, которые носят название Энтероморфа пролифера. На побережье Желтого моря располагаются такие крупные города, как Шанхай, Циндао, Сеул, которые ежегодно загрязняют море сточными водами, содержащими биогенные вещества [1]. Для человека, занимающегося сельским хозяйством и использующего воду на бытовые нужды, биогенные вещества являются постоянными спутниками хозяйственной деятельности, однако, именно они могут приводить к

образованию достаточно густого слоя водорослей, которые вредят экосистеме водных объектов и нарушают жизнедеятельность морских организмов. Для Желтого моря эта проблема особенно актуальна, поскольку пока власти Китая не могут предотвратить развитие данного процесса. Для того чтобы найти решение этой непростой задачи, необходимо сначала выявить истинные причины такого масштабного нашествия водорослей. И здесь на помощь приходят современные спутниковые инструменты. Спутниковые измерения позволяют осуществлять долговременные квазинепрерывные наблюдения, охватывающие практически всю территорию Мирового океана, однако они имеют определённые ограничения и требуют верификации по данным натуральных наблюдений.

Цель работы - изучить процесс интенсивного цветения вод Желтого моря по данным спутниковых наблюдений и выявить возможную причину данного процесса.

Материалы и методы. Для определения интенсивности цветения вод Желтого моря и факторов, вызывающих этот процесс, были использованы спутниковые данные среднемесячных значений температуры и концентрации хлорофилла, фосфатов, нитратов в точках с координатами (рисунок 1): 1 точка: 35°30' с.ш., 120°0' в.д.; 2 точка: 36°0' с.ш., 121°15' в.д.; 3 точка: 32°15' с.ш., 121°30' в.д.; 4 точка: 37°45' с.ш., 126°0' в.д. Период наблюдений составил 7 лет с 2007 по 2011, 2013 и 2017 годы. Поля распределения среднемесячных значений температуры, хлорофилла, фосфатов и нитратов на глубине от 0 до 5 метров были взяты из баз данных сервиса мониторинга морской среды Copernicus [2].

Для работы были использованы такие статистические методы как: корреляционный анализ, взаимная корреляция, гармонический анализ Фурье и спектр, был проведён анализ тренда временного ряда и построен сезонный ход за все интересующие годы. Для проведения взаимной корреляции исходный ряд среднемесячных значений концентрации хлорофилла на разных глубинах в слое от 0 до 5 метров был разбит на две выборки: зависимую и независимую.

Для зависимой выборки была рассчитана взаимнокорреляционная функция (ВКФ) r для 25 месяцев и уровни значимости к ней. Все рассчитанные ВКФ были нанесены на один график.

Далее коэффициент ВКФ $r(\tau)$ был проверен на значимость. Все значения ВКФ, превышающие по модулю $r_{кр}$, являются значимыми, а значения ВКФ между уровнями значимости статистически равны нулю [3, 4].

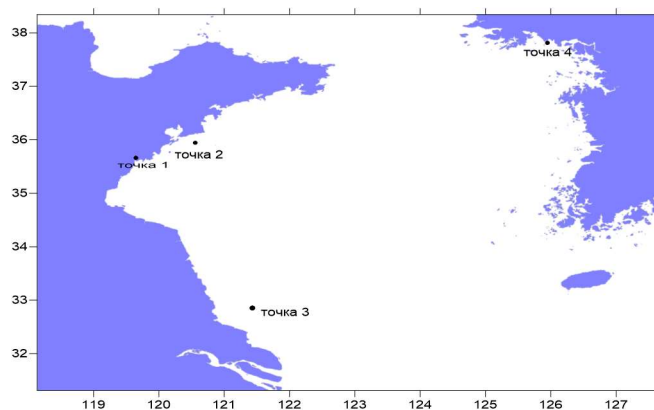


Рис.1. Точки на карте исследуемого района, построенные с помощью программы Surfer

Результаты. Основное воздействие на интенсивность цветения оказывают следующие факторы: сбрасывание сточных вод с попаданием биогенных веществ, таких как фосфаты и нитраты. Следует отметить, что большую роль играет температура поверхности океана, которая оказывает непосредственное влияние на образование зеленых водорослей.

В ходе работы был построен сезонный ход в выбранных точках. Поскольку графики в точках №1 и №2 за рассмотренный период оказались практически одинаковые, то для демонстрации

результатов представлен только сезонный ход за 2017 год для точки №1 (рисунок 2). Анализируя полученные графики за все интересующие годы, можно сделать вывод, что в точках №1 и №2 была выявлена зимняя вспышка показателей хлорофилла, чему способствовало большое попадание биогенных веществ, а конкретно фосфатов, что подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции между концентрациями хлорофилла и фосфатов (таблица 1). При этом в данных точках температура воды не оказывала существенного влияния на показатели хлорофилла. Расчёты и анализ коэффициентов корреляции проводились для слоя от 0 до 5 метров. Поскольку корреляционная матрица показала достаточно хорошую связь между характеристиками по всем глубинам в точках №1 и №2, были взяты осредненные значения характеристик по глубине для расчёта коэффициентов корреляции. Все коэффициенты были проверены на значимость. При проверке было определено, что в точках № 1 и №2 все коэффициенты значимы.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции в точках 1 и 2 (значения коэффициентов корреляции для точки №2 указаны после косой черты).

	ср.знач (Chl)	ср.знач(PO_4)	ср.знач(T)	ср.знач(NO_3)
ср.знач (Chl)	1,000/1,00 0			
ср.знач(PO_4)	0,921/0,93 2	1,000/1,000		
ср.знач(T)	-0,558/ 0,670	-0,592/ 0,673	1,000/1,00 0	
ср.знач(NO_3)	-0,212/ 0,219	-0,235/ 0,271	0,768/0,75 4	1,000/1,000

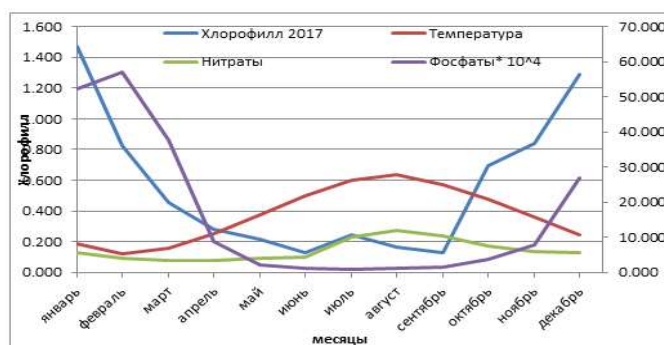


Рис. 2. Сезонный ход концентрации хлорофилла, нитратов, фосфатов и температуры в точке 1 с координатами 35°500' с.ш., 120°000' в.д. за 2017 год. Значения концентрации фосфатов для наглядности увеличены в 10^4 раз

В точке № 3 наблюдалась иная ситуация. В данной области были отмечены высокие показатели нитратов и фосфатов, которые поступали в море со сточными водами из крупного города Шанхай, что способствовало летней вспышке цветения зеленых водорослей. Температура также оказывала большое влияние на показатели хлорофилла, что подтверждается расчётами корреляционной матрицы. Поскольку корреляционная матрица показала плохую связь между характеристиками на разных глубинах, то все значения, за исключением температуры, не

осреднялись. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что показатели хлорофилла на глубине 0,5 метров и значения температуры тесно связаны между собой и имеют сезонный ход. Максимальные значения температуры прослеживаются в летний период с июля по август, что соответствует максимальным показателям хлорофилла. Показатели значений концентрации фосфатов в летний период с глубиной убывают. Максимальные значения на глубине 0,5 метров отмечаются в июне, а на 5,14 метрах в январе - феврале, однако в период исследования было выявлено несколько лет, где максимальные значения определялись в марте-апреле.

Сезонный ход за период исследования в точке №4 повторялся из года в год. Анализ полученных графиков показал, что в точке № 4 была зафиксирована в основном зимняя вспышка эвтрофикации Желтого моря, чему способствовало попадание сточных вод из города Сеул, содержащих большое количество нитратов.

Поскольку корреляционная матрица показала достаточно хорошую связь между глубинами в слое от 0 до 5 метров, то были взяты осредненные значения характеристик для расчёта коэффициентов корреляции. Проверка коэффициентов корреляции на значимость показала, что в точке № 4 все коэффициенты значимы.

Анализируя совмещенный график ВКФ между показателями хлорофилла на разных глубинах и уровней значимости для четырех точек, было выявлено, что между показателями хлорофилла на разных глубинах в точках №1 и № 2 прослеживается хорошая корреляционная взаимосвязь, нет сдвига сезонного хода по глубине, а также четко прослеживается периодичность. Для демонстрации результатов показан график ВКФ для точки №2 (рисунок 3).

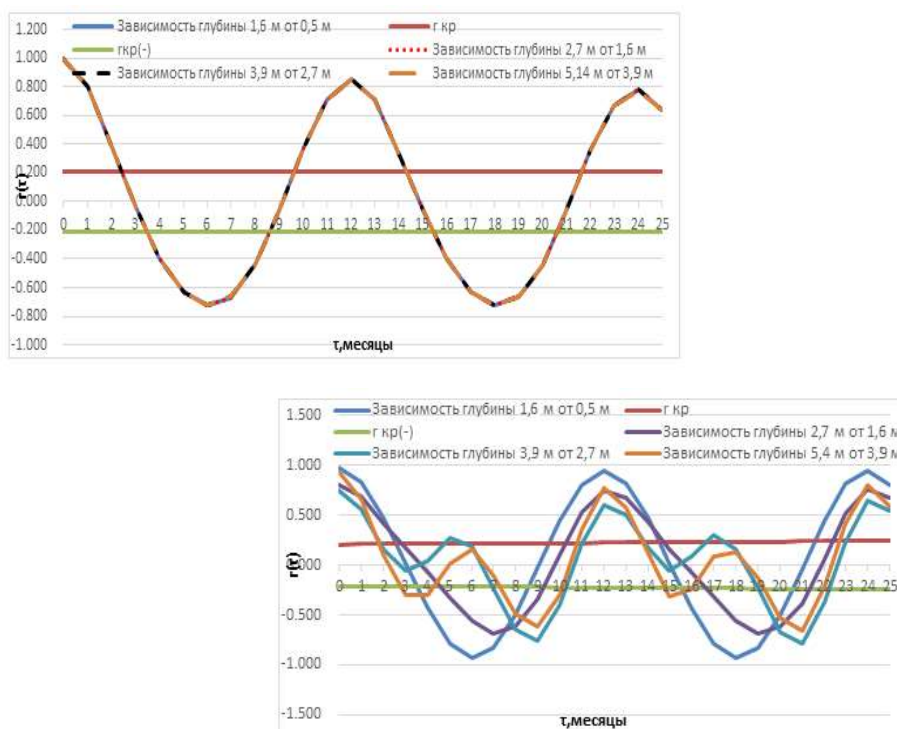


Рис. 3. Совмещенные графики ВКФ между показателями хлорофилла на разных глубинах и уровнях значимости в точке №2 и в точке № 3.

В ходе работы было выявлено, что между глубинами практически отсутствует корреляционная зависимость в точке 3, что видно из рисунка 3, а в точке 4 прослеживается корреляционная связь, но степень связи ВКФ не высокая. Также были отмечены сдвиги

сезонного хода по глубине в точке № 3 и № 4. Четкой периодичности в точках №3 и №4 выявлено не было.

При анализе тренда следует отметить, что, конечно же, длина ряда среднегодовых значений не позволяет говорить о каком-то значимом тренде, но в работе были сделаны приблизительные оценки тенденции в изменении концентрации хлорофилла. Анализ на значимость показал, что в точках №1 и №2 тренд отсутствует. Однако в ходе исследования было обнаружено, что тренд присутствует в точке № 3 только на глубине 5,14 м для среднегодовых значений. Величина линейного тренда среднегодовых значений T_t составляет $0,204 \text{ мг/дм}^3$ в 10 лет, величина положительная, следовательно, показатель концентрации хлорофилла увеличивается.

Также тренд присутствует в точке № 4 для среднегодовых и среднемесячных значений по значимому коэффициенту детерминации. Величина линейного тренда среднегодовых значений T_t составляет $-0,898 \text{ мг/дм}^3$ в 10 лет, величина отрицательная, следовательно, показатель концентрации хлорофилла уменьшается, а среднемесячных $-0,095 \text{ мг/дм}^3$ в 1 год, величина отрицательна, значит, концентрация хлорофилла убывает.

Проведённый гармонический анализ показал, что для среднегодовых значений в основном отмечаются периоды 2, 4 и 5 лет, но в некоторых точках, таких как точка № 3 для глубины 2,7 и 3,9 метров была выявлена периодичность в 3 года. Для среднемесячных значений в основном была выявлена периодичность 6 и 12 месяцев, но для точки № 3 (глубины 0,5 и 1,6 метров) периодичность составила 10 и 12 месяцев

Заключение. В целом можно сказать, что в Желтое море вносится достаточно большое количество биогенных веществ с реками, подверженными промышленному загрязнению. К сожалению, это не может не сказываться на морской экосистеме. Полученные результаты показали, что, в зависимости от района моря, на обильное цветение морской воды вдоль побережья могут оказывать влияние как биогенные вещества, фосфаты и нитраты, так и температура воды.

Литература

1. Энциклопедия Китая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://infokitai.com/zhjoltoe-more.html>
2. Базы данных сервиса мониторинга морской среды Copernicus. [Электронный ресурс]. Режим доступа:
GLOBAL_REANALYSIS_BIO_001_029; GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_025
3. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. – 408с.
4. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации» - СПб.: Изд-во РГГМУ, 2010. – 74 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ

Е.Н. Шестакова^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

APPLICATION POSSIBILITIES OF COMPLEX AND INTEGRATED APPROACHES FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER RESOURCES OF THE SIBERIAN ARCTICE.

E.N. Shestakova^{1,2}

¹ Saint Petersburg University, St. Petersburg, Russia

² Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Дана сравнительная оценка применимости комплексных и интегральных подходов к экологической оценке водных ресурсов Сибирской Арктики. Наиболее эффективным является интегральный подход, оправдывающий себя в условиях дефицита данных режимных наблюдений за биотической компонентой водных экосистем.

A comparative assessment of the applicability of complex and integrated approaches to the environmental assessment of the water resources of the Siberian Arctic is given. The most effective is an integral approach that justifies itself in the conditions of the lack of data from regime observations of the biotic component of aquatic ecosystems.

Интенсивное освоение ресурсов Сибирской Арктики стало причиной формирования многочисленных импактных районов. Многие из них сформировались в результате добычи и транспортировки углеводородного сырья и характеризуются критическим экологическим состоянием геосистем, обусловленного трансформацией геохимического фона, нарушением почвенно-растительного покрова и загрязнением вод.

Оценка современного экологического состояния водных ресурсов этого региона приобретает особенную актуальность в связи с отсутствием гидробиологических наблюдений ГСН для большинства сибирских арктических рек, с несовершенством единичных и косвенных методов экологической оценки водных объектов при отсутствии или разрозненности данных гидробиологического мониторинга и в связи несогласованностью исследований водного режима рек и химического состава вод.

Оценка состояния и антропогенных изменений экосистем по абиотическим параметрам является классическим подходом в экологических оценках. В рамках данного подхода значения конкретных показателей или факторов сравниваются с установленными нормативными (предельно допустимыми) значениями. Наиболее широко известным нормативом являются нормативы ПДК. Стоит отметить, что количество нормируемых антропогенных факторов не соответствует их реальному многообразию, поскольку знания о них ограничены, факторы имеют разную природу (химическую, биологическую, физическую) антропогенного и естественного происхождения. В настоящее время, преимущественно ведётся регламентация содержания

химических веществ, а другие виды воздействия по-прежнему регламентированы недостаточно [1].

Биоиндикация является закономерным этапом развития экологических оценок в связи с несостоятельностью нормирования только абиотических параметров среды. Биотические характеристики имеют ряд преимуществ перед абиотическими, а именно объективность и надёжность. Однако биоиндикация не характеризует причины антропогенных изменений экосистемы, а только уровень этих изменений. Вопрос о лимитирующем антропогенном факторе из всего многообразия факторов остаётся открытым. Результаты биоиндикации зависят от цели исследования и правильного выбора индикатора и его характеристик.

Совместное использование абиотических и биотических параметров экосистемы для оценки её состояния позволяют использовать преимущества каждого подхода. В целом этот подход можно уже назвать комплексным. Этот подход лежит в основе оценки качества вод стандартными методами в России [2]. Примером является шкала сапробности. При таком подходе биотические характеристики учитываются явно недостаточно. Например, при оценке природных вод обычно используется индекс Вудивисса и его модификации, показатели биохимического потребления кислорода (БПК₅) и обилие бактерий. Биотические и абиотические показатели могут сводиться в единый показатель, такой как ИЗВ.

Иногда приоритетное значение приобретают абиотические параметры, а методы биоиндикации служат только для проверки результатов, получены прямыми аналитическими методами качества среды. Раздельное использование факторов живой и неживой природы приводят к тому, что выделение основных факторов, определяющих состояние биоты, и количественно определить многофакторные воздействия на экосистему становится невыполнимой задачей.

Как уже отмечалось выше, экологические оценки должны учитывать всё многообразие состояний оцениваемых систем и воздействий на них путём использования как абиотических, так и биотических показателей. Для решения проблем многомерности исходных данных исследователи применяют различные подходы к оценкам, ставя условные ограничения на выбор оцениваемых компонентов окружающей среды и их свойств.

Существует два пути так называемого свёртывания информации. Первый включает субъективный выбор параметров, то есть усечение информации, а второй подразумевает наличие процедуры свертывания, которая может быть как вербальной, так и формализованной [3].

Примерами первого пути являются единичные покомпонентные оценки, которые проводятся путём сопоставления характеристик системы с уровнями и нормами. Косвенные оценки подразумевают установление значимости объекта по показателям, отражающим функциональные и корреляционные взаимосвязи между оцениваемыми свойствами, то есть отражают объект через сопряжённые показатели.

Комплексные оценки могут относиться как к первому, так второму пути свёртывания информации. Они обычно строятся на основе единичных оценок и включают в себя различные методы, которые условно по форме выражения можно разделить на 3 группы [4]: нахождение коэффициентов загрязнённости, расчёт индексов загрязнённости воды, классификации качества воды и загрязнённости по численным значениям различных индексов.

Классификация индексов может быть произведена на основе способов их получения. Они делятся на индексы-маркеры (интенсивность водообмена, продуктивность и др.), аналитические индексы (индексы разнообразия и др.) и функции желательности [3, 5, 6].

Считается, что комплексные показатели не лишены проблем. Индексы, характеризующие различные аспекты водных экосистем, порой не могут быть сопоставимы. Выходом из

сложившейся ситуации принято считать использование интегральных показателей. Рассчитываемые на основе комплексных, а также единичных и косвенных оценок, интегральные показатели сравниваются с нормой для получения адекватной оценки состояния экосистемы [7].

Интегральные оценки позволяют использовать разнородную неточную информацию о весовых коэффициентах параметров, использовать нечисловую информацию, оперировать неполной информацией, получать модельные интегральные оценки в условиях дефицита информации о точных значениях весовых коэффициентов параметров.

Процесс построения интегральных оценок в условиях многомерности экологических систем и дефицита информации довольно сложен в связи с не проработанностью правил нормирования и учета вида связей между параметрами, отсутствием методик и правил для формирования интегральных критериев, а также разноплановостью агрегируемых показателей, требующей наличия нескольких уровней свертки, для которых также необходимы унифицированные правила организации.

Тем не менее, учитывая дефицит данных наблюдений для регионов Сибирской Арктики, интегральный подход является наиболее оптимальным решением. Для оценки совокупного состояния водных ресурсов какого-либо бассейна предлагается рассматривать состояние низовий крупных и средних рек в границах данного бассейна, где наиболее развита сеть наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим режимом.

Исходными данными при комплексных и интегральных оценках могут послужить данные наблюдений государственной сети Росгидромета о гидрологическом режиме рек Арктической зоны Российской Федерации, которые публикуются в изданиях государственного водного кадастра, в том числе в «Гидрологических ежегодниках» (до 1980 года), «Ежегодных данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» (с 1981), «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» и др. Данные наблюдений за гидрохимическим и гидробиологическим режимом рек публикуются в «Ежегодниках качества поверхностных вод» и «Ежегодниках качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям». Кроме того, исходными данными являются также экспедиционные наблюдения, которые проводились на ряде притоков Оби (р. Щучья, р. Сось, р. Сыня) Институтом экологии растений и животных РАН в начале 2000-х годов [8], на реке Лена рамках российско-германских экспедиций [9], на реке Норилка и др.

В таблице 1 приведены сведения о наличии данных наблюдений за гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим режимами рек Арктической зоны Российской Федерации.

Таблица 1. Сведения о наличии данных наблюдений за гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим режимами рек Арктической зоны Российской Федерации.

№	Название реки	Данные о гидрологическом режиме	Данные гидрохимических наблюдений	Данные гидробиологических наблюдений
1	Обь	1936-2010 (г. Салехард)	г. Салехард (1980-2014)	-
2	Надым	г. Надым (1955-1991)	г. Надым (1990-2014); с. Дубровино (1990-2014)	-
3	Пур	п. Самбург (1939-1991) пгт. Уренгой (1961-2010)	п. Самбург (1980-2014)	-
4	Таз	п. Тазовский (1962-1996)	п. Тазовский (1980-2014)	-
5	Сыня	п. Овгорт (1963-2010)	п. Овгорт (1980-2014)	экспедиционные данные ИЭРиЖ УрО РАН (2001 год)
6	Щучья	д. Лаборовая (1965-2010)	экспедиционные данные ИЭРиЖ УрО РАН (1978, 2001-2004)	экспедиционные данные ИЭРиЖ УрО РАН (1978, 2001-2004)
7	Правая Хетга	пгт. Пангоды (1979-1993)	пгт. Пангоды (1980-2014)	-
8	Собь	пгт. Харп (1952-1910)	С. Картовож (1990-2014)	экспедиционные данные ИЭРиЖ УрО РАН (2001)
9	Енисей	г. Игарка (1936-2014)	г. Дудинка (1980-2014)	-
10	Турухан	факт. Янов Стан (1943-2013)	факт. Янов Стан (1980-2014)	-
11	Норилка	пос. Валек (1938-2013)	пос. Валек (1980-2014)	экспедиционные данные 80-х гг.
12	Лена	р. Лена - с. Кюсюр (1935-1992)	с. Кюсюр (1980-2014), экспедиционные данные (2005, 2010-2014)	с. Кюсюр, экспедиционные данные (2013, 2014)
13	Оленёк	с. Оленёк (1936-1992) 7,5 км ниже устья р. Буур (1964-1992)	с. Оленёк (1980-2014)	-
14	Анабар	с. Саскылах (1954-1992)	с. Саскылах (1980-2014)	экспедиционные данные СВФУ
15	Колыма	Колымское (1978-1992) Среднеколымск (1927-1992)	г. Среднеколымск (1980-2014)	-

16 Индигирка пос. Индигирский, п. Индигирский
Вороцново (1936-1992) (1990-2014) -

Предшествующие комплексные оценки состояния водных экосистем по гидрохимическим показателям показали, что экосистемы крупных и средних рек Арктики претерпевают значительные изменения. По степени загрязнённости они характеризуются как очень загрязнённые и грязные, а их состояние по легкоокисляемым органическим веществам - как переходное из естественного и равновесного в кризисное [10]. Полученные результаты в дальнейшем могут быть сопоставлены с гидрологическими данными наблюдений для более точной оценки состояния экосистем по абиотическим параметрам.

Очевидно, что даже при отсутствии данных стационарных гидробиологических наблюдений, использование интегрального подхода будет оправданным шагом при оценке состояния водных ресурсов. Этот подход позволит не только объективно сопоставить между собой имеющиеся сведения о химическом и водном стоке и диапазоне их колебаний, но и при наличии внести в модель разреженные данные экспедиционных наблюдений за биотической составляющей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке СПбГУ в рамках НИР СПбГУ (мероприятие 1) «Урбанизированные экосистемы Арктического пояса Российской Федерации: динамика, состояние и устойчивое развитие» и гранта РФФИ 18-05-60291 «Адаптация арктических лимносистем к быстрому изменению климата».

Литература

1. Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С. Изоболный метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ). 2004. 304 с.
2. Кучеренко А.И., Роговец А.И., Сотсков Ю.П. и др. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. СПб: Союз, 1998. 896 с.
3. Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ "Наука", 1994. 280 с.
4. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб: Гидрометеоздат, 2005. 576 с.
5. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб., 2004. 294 с.
6. Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе// Биосфера. 2010. Т. 2, № 3. С. 507–520.
7. Дмитриев В.В. Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов: автореф. докт. дисс. СПб., 2000. 52 с.
8. В.Д. Богданов, Е. Н. Богданова, О.А. Госькова, Л.Н.Степанов, М.И. Ярушина. Экологическое состояние притоков Нижней Оби (реки Сыня, Войкар, Сось). Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 136 с.

9. Нигаматзянова Г.Р., Фролова Л.А., Четверова А.А., Федорова И.В. Гидробиологические исследования проток устьевой области реки Лены // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2015. №4. С.96–108.

10. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Даниленко А.О. Реки материковой части Российской Арктики. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. 276 с.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДНЕАЗИАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ НА ИЗОБАРИЧЕСКОМ УРОВНЕ 925 ГПА

Ю.В. Шипко, В.С. Балакин, Н.В. Зиброва

Центральный научно-исследовательский институт ВВС (Минобороны России)

STRUCTURAL FEATURES OF THE PRE-ASIAN DEPRESSION AT 925 HPA ISOBARIC LEVEL

Yu.V. Shipko, V.S. Balakin, N.V. Zibrova

Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense)

На базе разработанной программно-реализованной модели переднеазиатской депрессии на изобарическом уровне 925 гПа проведен вычислительный эксперимент, по результатам которого выявлены особенности внутренней структуры, выделены общие факторы и кластеры объектов циркуляции.

On the basis of the developed program-implemented model of the pre-Asian depression at the 925 hPa isobaric level, a computing experiment was conducted, the results of which features of an inner pattern structure are revealed, common factors and clusters of circulation objects were identified.

Введение. Рассматривается преобладающий тип атмосферной циркуляции летнего сезона над территорией Ближнего и Среднего Востока – переднеазиатская депрессия (ПАД) [1, 2]. Построена программно-реализованная модель ПАД, на основе проведенного вычислительного эксперимента определены статистические оценки параметров модели [2].

Материалы и методы. В качестве исходной информации использовался архивный материал реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II [3] за летние месяцы (июнь, июль, август) 30-летнего периода 1988–2017 гг. Рассматривались файлы данных срочных значений (00, 06, 12, 18 ч Всемирного скоординированного времени). Предварительно проведен расчет среднесуточных значений геопотенциальной высоты H_{925} в узлах регулярной сетки с шагом $2,5^\circ$ по широте и долготе.

Поскольку депрессия прослеживается до высоты 3–4 км, для оценки ее влияния на погодноклиматические характеристики построена программно-реализованная модель ПАД на изобарическом уровне 925 гПа, где рассматривается ограниченная по широте $\varphi = 10 - 40^\circ$ и долготе $\lambda = 30 - 80^\circ$ поверхность H_{925} , представленная значениями H_{ij} в узлах сетки.

Применен подход [4], определяющий циклонический объект как объем «чаши» (с жидкостью), образованной топографией изобарической поверхности с краевой изогипсой H_0 и горизонтальной плоскостью, проходящей через эту изогипсу. Краевая изогипса определяется по алгоритму [2]: 1) нахождение минимального значения геопотенциальной высоты H_{\min} в рассматриваемой области; 2) определение значения $H_0 = H_{\min} + 4$, которое принимается за краевую изогипсу (учитывается, что изогипсы принято проводить через 4 дам).

В модели ПАД объект циркуляции описывается рядом параметров [2]: H_{\min} ; координаты центра масс объема «чаши» φ_c, λ_c ; площадь S , ограниченная краевой изогипсой H_0 ; условная «масса»

M и плотность $Z = M / S$ рассматриваемого объема; характеристики эллипса рассеяния условных масс объектов циркуляции σ_u, σ_v, k ; угол положения оси ложбины β .

Программная реализация модели позволила провести вычислительный эксперимент, в результате которого получена многомерная выборка (объема $n = 2760$) объектов ПАД.

Факторная модель. С целью сжатия информации использован подход факторного анализа, который состоит в том, чтобы представить параметры модели ПАД ($j = 1, 2, \dots, p$) в виде линейной комбинации небольшого числа $k, (k < p)$ скрытых общих факторов в виде [5]

$$z_j = a_{j1} \cdot f_1 + a_{j2} \cdot f_2 + \dots + a_{jk} \cdot f_k + e_j, \quad (1)$$

где z_j – центрированные и нормализованные параметры модели; a_{jk} – коэффициенты, факторные нагрузки; $f_i, i = 1, 2, \dots, k$ – общие факторы; e_j – специфичный фактор (остаток).

Сделан переход от пространства десяти признаков объектов депрессии к 3-мерному пространству ортогональных факторов. Выделенные общие факторы объясняют ~80 % общей дисперсии признаков.

В таблице 1 представлены полученные факторные нагрузки, где выделены значения, близкие и превышающие по модулю 0,7.

Таблица 1. Факторные нагрузки факторной модели ПАД

Параметр объекта ПАД	Общий фактор модели		
	f_1	f_2	f_3
H_{\min} , дам	0,7263	-0,1039	0,1540
$S \cdot 10^{-6}$, км ²	0,9588	0,1052	-0,1709
$M \cdot 10^{-6}$, км ² дам	0,8775	0,1144	-0,4125
Z , дам	-0,0073	0,0885	-0,9078
σ_u , км	0,9053	-0,1263	0,1876
σ_v , км	0,8115	0,5047	-0,1158
k	-0,0498	0,8271	-0,3209
λ_c , град. в. д.	-0,6921	-0,5059	0,0133
φ_c , град. с. ш.	-0,1100	0,6478	0,3625
β , град.	-0,2619	-0,8371	0,1064

На основании данных таблицы 1 факторам модели дана следующая интерпретация:

- f_1 – фактор мощности ПАД (47 % общей дисперсии);
- f_2 – фактор вытянутости ПАД с учетом ложбин (21 % дисперсии);
- f_3 – фактор интенсивности депрессии (12 % дисперсии).

Полученные результаты могут служить основой при разработке регрессионных моделей параметров атмосферы (в дальнейшем исследовании влияния характеристик депрессии на

метеорологические величины), в которых предикторы являются некоррелированными, что повышает качество статистических и прогностических характеристик моделей.

Результаты кластеризации. С целью определения однородных по структуре групп циркуляционных образований депрессии проведена процедура иерархической кластеризации объектов многомерного пространства (по выборке суточных значений характеристик). При этом не требуется априорной информации о распределении генеральной совокупности объектов. Мерой близости различных объектов ПАД O_i ($i = 1, 2, \dots, n$) выбрано евклидово расстояние [5]:

$$D(O_i, O_j) = \sqrt{(x_{1i} - x_{1j})^2 + (x_{2i} - x_{2j})^2 + \dots + (x_{pi} - x_{pj})^2}, \quad (2)$$

где x_{km} – компоненты вектора наблюдений (k – индекс признака, m – индекс объекта); p – число признаков (параметров) модели ПАД.

На рисунке 1 отображено дерево проведенной кластеризации объектов ПАД, где отчетливо выделяются три ветви сгустков объектов циркуляции.

Визуализация полученного кластеризацией разделения общей совокупности объектов ПАД представлена на плоскости выделенных общих факторов f_1, f_2 (рисунок 2, где обозначены объекты циркуляции левой и правой ветвей «дерева»: кластеров 1 и 3; чтобы не затенять картину разделения кластеров 1, 3, – не показан кластер 2).

По рисунку 2 следует отметить, что по фактору f_1 мощности депрессии хорошо дифференцируются циркуляционные образования кластеров 1 и 3 (тип 1 – более «мощные» объекты).

На рисунке 3 представлено распределение объектов циркуляции для трех кластеров на плоскости факторов f_1, f_3 . По рисунку 3 следует отметить (в первом приближении), что фактор f_3 интенсивности депрессии вносит существенный вклад в дифференциацию объектов кластера 2 и группы кластеров 1, 3.

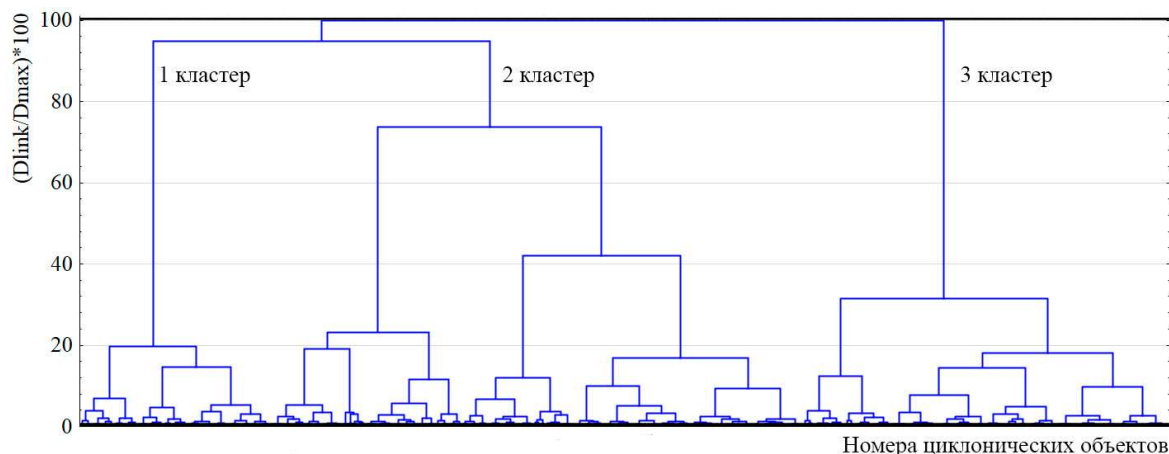


Рис. 1. Дерево иерархической кластеризации в пространстве объектов циркуляции ПАД

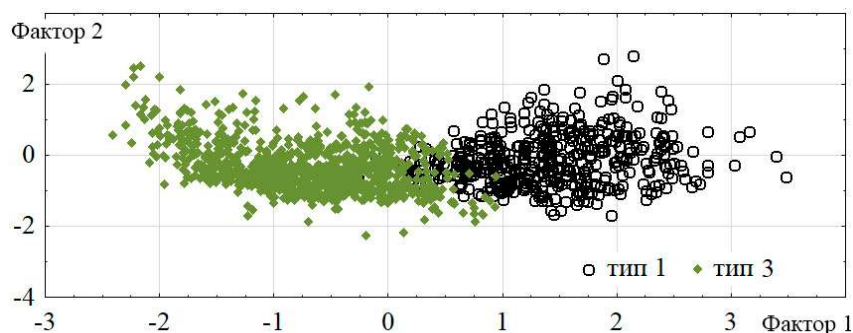


Рис. 2. Отображение кластеров (без учета кластера 2) на факторной плоскости f_1, f_2

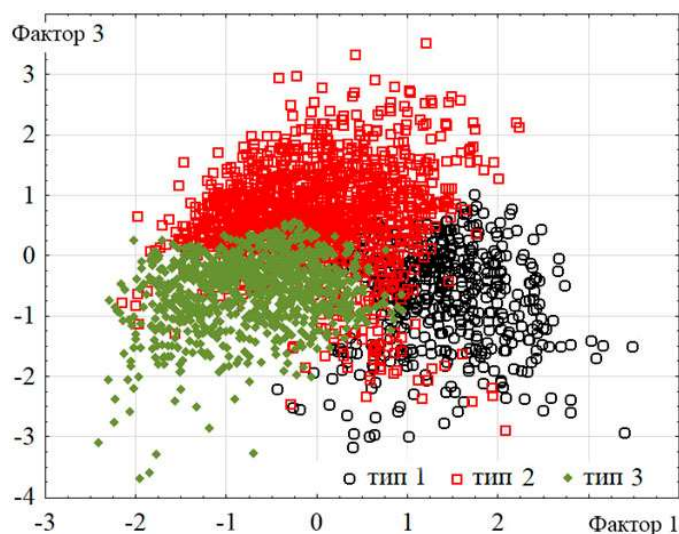


Рис. 3. Отображение кластеров на плоскости факторов f_1, f_3

На рисунке 4 представлены центры циркуляции объектов ПАД для выделенных кластеров 1, 3 на плоскости координат (долгота, широта).

Как следует из рисунков 3 и 4, циркуляционные образования ПАД типа 1 (более мощные по фактору f_1) имеют центры циркуляции в западной части рассматриваемого региона, а кластера 3 (с меньшей мощностью) – в восточной части.

Средние значения общих факторов по рассматриваемым типам (кластерам) циркуляции:

- 1 тип ПАД: $\bar{f}_1 = 1.384$; $\bar{f}_2 = -0.119$; $\bar{f}_3 = -0.710$;

- 2 тип ПАД: $\bar{f}_1 = -0.020$; $\bar{f}_2 = 0.279$; $\bar{f}_3 = 0.659$;

- 3 тип ПАД: $\bar{f}_1 = -0.694$; $\bar{f}_2 = -0.342$; $\bar{f}_3 = -0.584$.

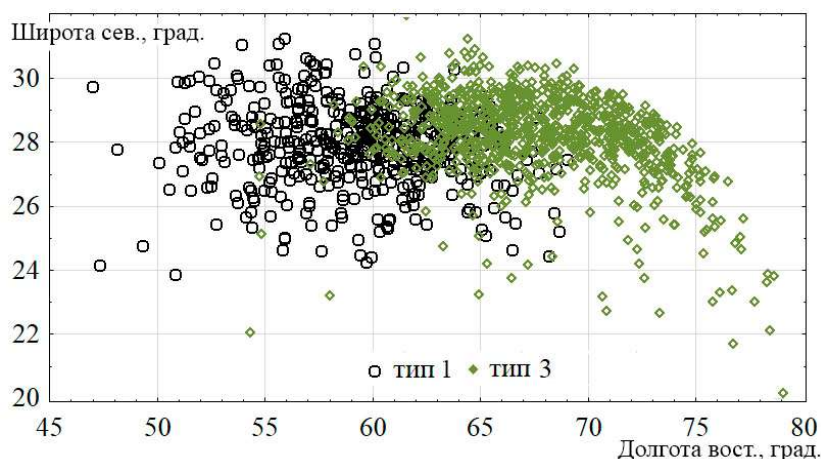


Рис. 4. Отображение центров циркуляции (φ_c, λ_c) кластеров 1, 3 на координатной плоскости

Повторяемость типов (соответственно кластеров 1, 2, 3) ПАД по месяцам составила:

- в июне – 9,6, 42,3, 48,1 %;
- в июле – 11,7, 53,2, 35,1 %;
- в августе – 31,2, 50,5, 18,3 %.

По этим данным можно сделать вывод, что от июня к августу растет повторяемость объектов ПАД 1 типа, что соответствует, в основном, положительным значениям f_1 (рисунок 2), и снижается повторяемость 3 типа (на рисунке 2 – отрицательные значения f_1), что соответствует известному развитию термической депрессии в течение летнего периода).

Заключение. Достоверность полученных результатов обоснована привлечением большого объема исходных данных, применением классических методов многомерной статистической обработки материала, использованием программной реализации расчетных алгоритмов.

Проведенное исследование является предварительным (необходимым) этапом разведочного статистического анализа совокупности циклонических объектов ПАД. Научная новизна работы заключается в получении новых теоретических сведений, расширяющих представление о внутренней структуре циркуляции над территорией Ближнего и Среднего Востока в летний период.

Литература

1. Апасова Е.Г. О характеристиках местоположения центров действия атмосферы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1979. Вып. 58. С. 89–97.
2. Балакин В.С., Шипко Ю.В., А.Н. Маслбойщиков. Модель переднеазиатской депрессии на уровне 925 гПа // Статья в настоящем сборнике.
3. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения: 22.05.2018).
4. Багров Н.А., Орлова И.И. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы // Труды ГМЦ. 1978. Вып. 211. С. 3–14.
5. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ И НАКЛОННЫМ ДНОМ

О.Д. Шишкина

ФИЦ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

LINEAR AND NON-LINEAR MECHANISMS OF SPATIAL TRANSFORM OF INTERNAL WAVES AT THE SHELF WITH HORIZONTAL AND INCLINED BOTTOM

O.D. Shishkina

FRC Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia

Приводятся результаты исследования изменений параметров внутренних волн в шельфовой зоне по данным лабораторных экспериментов и натурных наблюдений (контактные измерения, спутниковые данные).

The results of a study of variation of the parameters of internal waves in the shelf zone basing on laboratory experiments and field observations (contact measurements, satellite data) are presented.

Процессы пространственной трансформации нелинейных внутренних волн в результате их движения вдоль кромки шельфа с горизонтальным дном исследовались автором ранее [1-3]. В данной работе результаты проведенных исследований использованы для расчетов параметров гидрологии и батиметрии, определяющих характер трансформации полностью нелинейных волн. В работе также исследуется механизм пространственной трансформации системы плоских линейных волн над шельфом как с горизонтальным, так и наклонным дном.

Нелинейные волны над шельфом с горизонтальным дном.

На основании методики [1] исследуем процесс пространственной трансформации полностью нелинейной уединенной волны над шельфом с горизонтальным плоским дном.

Скорость движения полностью нелинейного солитона определяется формулой [4]:

$$V_+ = C \left(1 + \alpha_0 \eta + \alpha_1 \eta^2 + \alpha_2 \eta^3 + \alpha_3 \eta^4 + O(\eta^5) \right), \quad (1)$$

где C - скорость линейной волны; η - амплитуда солитона; α_i - коэффициент нелинейности (i -1)-го порядка:

$$\alpha_0 = -\frac{3}{2} \frac{h_1 - h_2}{h_1 h_2}; \quad \alpha_1 = -\frac{3}{8} \frac{H^2 + 4h_1 h_2}{(h_1 h_2)^2}; \quad \alpha_2 = -\frac{3H^2}{16} \frac{h_1 - h_2}{(h_1 h_2)^3}; \quad \alpha_3 = -\frac{15H^2}{128} \frac{(h_1 - h_2)^2}{(h_1 h_2)^4}. \quad (2)$$

При движении исходного солитона над шельфом формируется вторичный солитон, скорость которого V_S^* согласно уравнению Кортевега - де Вриза для двуслойной жидкости с конечными толщинами слоев:

$$V_S^* = C_S + \frac{\alpha_S \eta_S^*}{3}, \quad (2)$$

$$C_s = \sqrt{g \frac{(\rho_2 - \rho_1)h_1 h_{2s}}{\rho_2 h_1 + \rho_1 h_{2s}}} = \sqrt{g \frac{\Delta \rho h_1 h_{2s}}{\rho H_s}}, \quad (3)$$

здесь α_s – коэффициент нелинейности солитона над шельфом, η_s^* – критическая амплитуда солитона над шельфом, g – ускорение свободного падения, h_1 и h_{2s} – толщины верхнего и нижнего слоев жидкости над шельфом, $\rho_1 \approx \rho_2$ – плотность верхнего и нижнего однородного слоев жидкости, $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$ – разность плотностей в нижнем и верхнем слое жидкости, $H_s = h_1 + h_2$ – глубина воды над шельфом.

Условие $\eta_s^* = 0$ в (2) соответствует границе действия волнового механизма трансформации исходной внутренней волны, сменяемого горизонтальными периодическими течениями над дном шельфа [1, 2]. В этом случае соотношение скоростей первичного V и вторичного V_s солитонов в глубокой и мелкой частях шельфа можно записать:

$$\frac{V}{V_s} = \frac{C}{C_s} (1 + \alpha \eta + \alpha_1 \eta^2 + \alpha_2 \eta^3 + \alpha_3 \eta^4 + O(\eta^5)) \quad (4)$$

Из условия постоянства мгновенного расхода жидкости поперек шельфа в глубокой и мелкой частях шельфовой зоны [2] следует:

$$\frac{h_{2s}}{\eta} = \sqrt{\frac{h_2 H_s}{h_{2s} H}} (1 + \alpha \eta + \alpha_1 \eta^2 + \alpha_2 \eta^3 + \alpha_3 \eta^4 + O(\eta^5)) \quad (5)$$

Произведем замену переменных введением соотношения глубин нижнего однородного слоя h_2 и глубины верхнего однородного слоя h_1 в двуслойной жидкости:

$$K_h = h_2 / h_1 \quad (6)$$

После чего получим коэффициенты нелинейности в следующем виде:

$$\begin{aligned} \alpha^* &= -\frac{3}{2} \cdot \frac{1 - K_h}{K_h} \cdot \frac{1}{h_1} = A_1 \frac{1}{h_1}; & \alpha_1^* &= -\frac{3}{8} \cdot \frac{(1 + K_h)^2 + 4K_h}{K_h^2} \cdot \frac{1}{h_1^2} = A_2 \frac{1}{h_1^2}; \\ \alpha_2^* &= -\frac{3}{16} \cdot \frac{(1 + K_h)(1 - K_h^2)}{K_h^3} \cdot \frac{1}{h_1^3} = A_3 \frac{1}{h_1^3}; & \alpha_3^* &= -\frac{15}{128} \cdot \frac{(1 - K_h^2)^2}{K_h^4} \cdot \frac{1}{h_1^4} = A_4 \frac{1}{h_1^4}. \end{aligned} \quad (7)$$

В результате подстановки преобразованных коэффициентов нелинейности (7) уравнение (5) примет следующий вид:

$$\frac{\eta}{h_{2s}} \left(1 + A_1 \frac{\eta}{h_1} + A_2 \left(\frac{\eta}{h_1} \right)^2 + A_3 \left(\frac{\eta}{h_1} \right)^3 + A_4 \left(\frac{\eta}{h_1} \right)^4 + O(\eta^6) \right) = \sqrt{\frac{h_{2s} H}{h_2 H_s}}. \quad (8)$$

Продолжим введение безразмерных коэффициентов и обозначим отношения амплитуды набегающей волны η к толщине придонного слоя над шельфом h_{2s} и к толщине верхнего однородного слоя жидкости h_1 , соответственно:

$$K_{2s} = \eta / h_{2s} \quad \text{и} \quad K_{h1} = \eta / h_1. \quad (9)$$

Соотношение толщин придонных слоев в мелкой и глубокой частях шельфа h_2 и h_{2s} , а также соотношение общих глубин H_2 и H_{2s} обозначим как:

$$K_2 = h_2 / h_{2s} \quad \text{и} \quad K_f = H / H_s. \quad (10)$$

После чего уравнение (8) примет окончательный вид в безразмерных переменных:

$$K_{2S} \left(1 + A_1 K_{h1} + A_2 (K_{h1})^2 + A_3 (K_{h1})^3 + A_4 (K_{h1})^4 + O(\eta^6) \right) = \sqrt{\frac{K_H}{K_2}}. \quad (11)$$

Для определения значения критической амплитуды набегающей волны η^* можно построить графики решения уравнений (8) и (11) при известных коэффициентах в правой части, определяемых фоновой гидрологией и батиметрией шельфовой зоны (Рис. 1).

Линейные волны над шельфом с горизонтальным и наклонным дном.

В термостратифицированном бассейне ИПФ РАН выполнено масштабное лабораторное моделирование взаимодействия внутренних волн с моделью шельфа с плоским горизонтальным и наклонным дном. Система плоских регулярных внутренних волн создавалась с помощью волнопродуктора педального типа (Рис. 3). Горизонтальная ось вращения волнопродуктора размещалась на глубине центра пикноклина. Частота генерации внутренних волн изменялась в пределах спектра частот, характерных для заданного профиля стратификации.

Шельфовая зона имела длину 12 м с начальным переходным участком вдоль борта бассейна длиной 2 м с постепенным расширением до ширины шельфовой зоны 0.8 м. Угол горизонтального наклона дна шельфа равнялся 20°. Измерительная система состояла из двух линеек терморезисторов - 8 датчиков по вертикали и 3 по горизонтали. Измерения параметров внутренних волн производились на расстояниях от волнопродуктора от 4 м до 9 м с шагом 1 м.

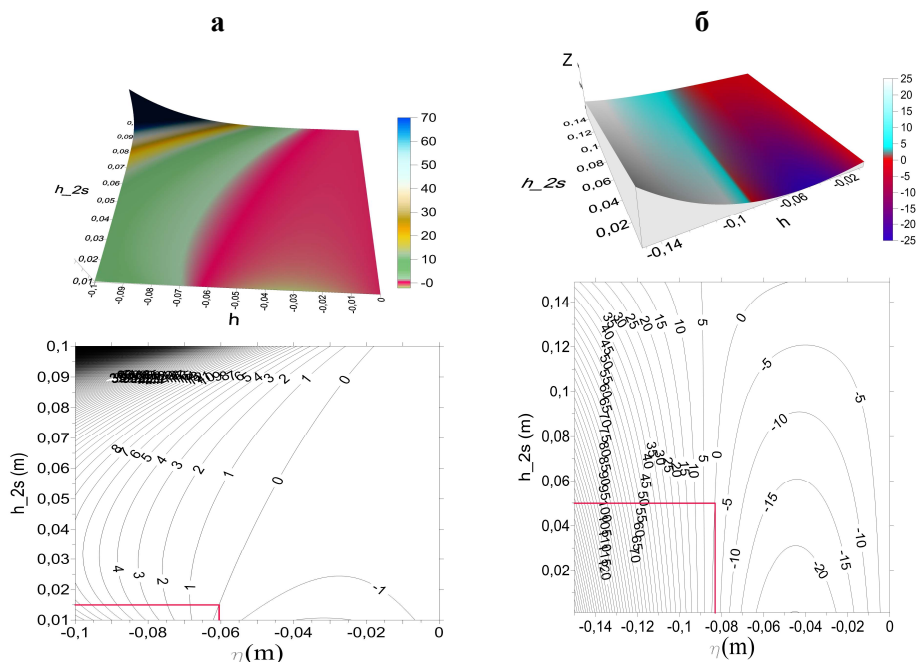


Рис. 1. График уравнения (8) для условий лабораторного эксперимента [1]:

а – «мелкий» шельф; б – «глубокий» шельф (красные линии – экспериментальные данные).

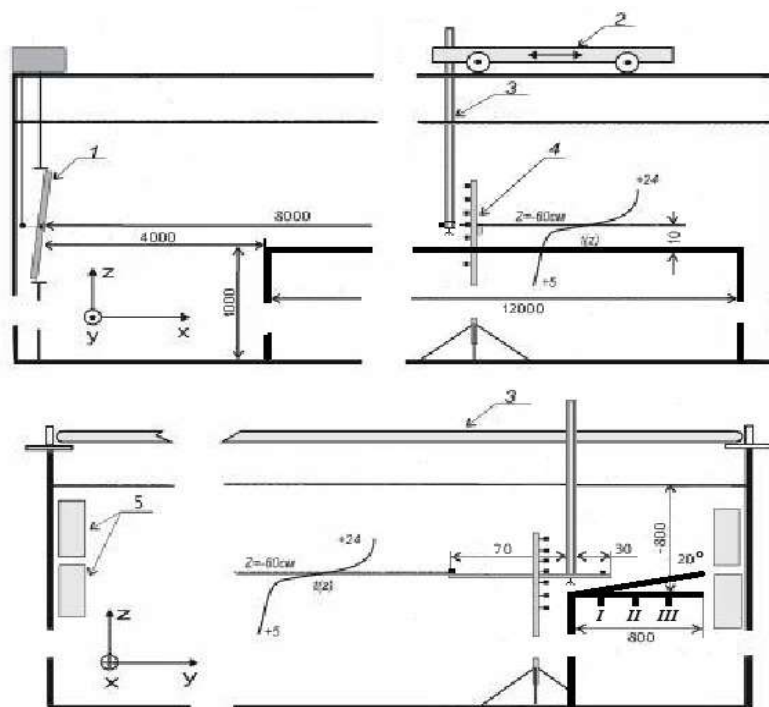


Рис. 2. Схема лабораторной установки ИПФ РАН:
1 - волнопродуктор, 2 - тележка, 3 - доплеровский термоанемометр, 4 - терморезисторы, 5 - теплообменники.

Плоская регулярная система внутренних волн при прохождении над моделью шельфа трансформируется в узкий трехмерный волновой пакет (Рис. 4,а). Наличие наклона дна шельфа ускорило процесс такой трансформации (Рис. 4,б).

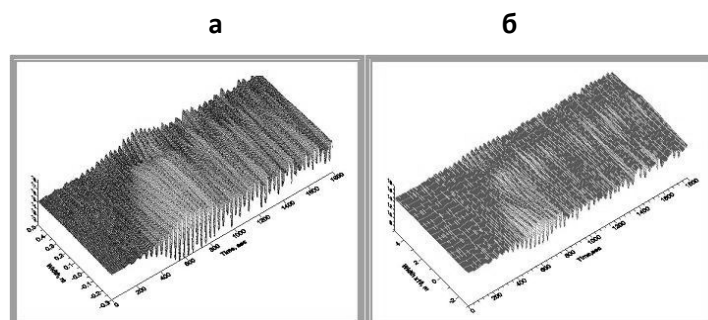


Рис. 4. Трехмерная картина внутренних волн в центре пикноклина на расстоянии 7 м от волнопродуктора: а – горизонтальный шельф, б – наклонный шельф.

Спектральный анализ данных доплеровского термоанемометра (Рис. 5) показал, что при движении вдоль шельфа горизонтальная синхронизация движения частиц во внутренней волне в плоскости X-Y на расстоянии 5 и 6 метров от оси волнопродуктора сменяется синхронизацией в вертикальной плоскости X-Z на расстояниях 7 метров и далее. При этом значения частоты третьей несинхронизированной компоненты скорости жидкости близки по величине частотам

двух синхронизированных компонент. Что приводит к формированию узкого волнового пакета с огибающей в виде биений.

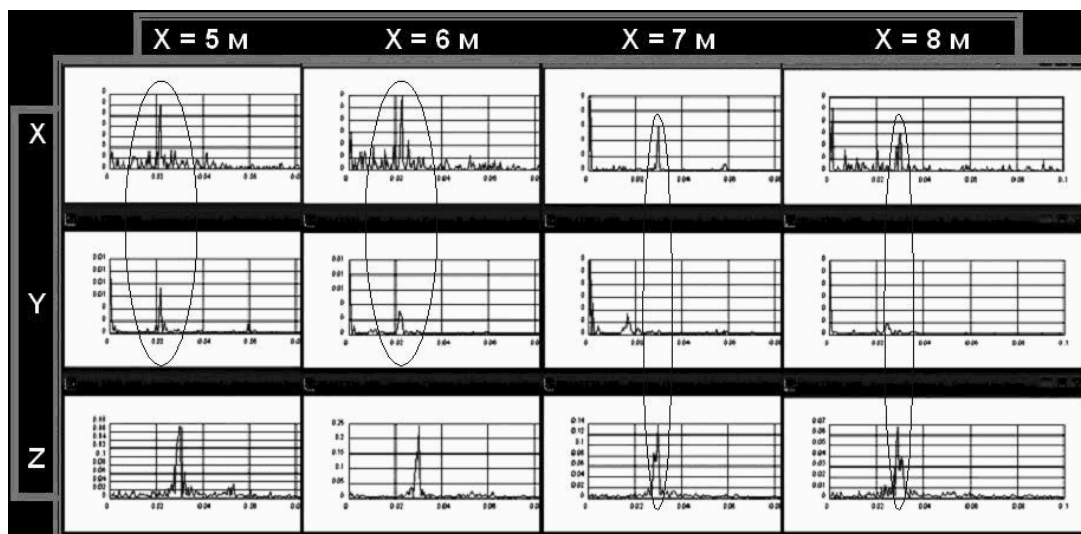


Рис. 5. Спектры трех нормальных составляющих скорости жидкости над кромкой шельфа на различных расстояниях от волнопродуктора вдоль бассейна.

Работа автора финансируется за счет средств государственного задания (тема № 0035-2014-0032).

Литература

1. Shishkina O. D., Svein J. K., Grue J.: Transformation of internal solitary waves at the "deep" and "shallow" shelf: satellite observations and laboratory experiment. *Nonlinear Proc. Geophys.* 2013. V. 20. No. 5. P. 743–757.
2. Шишкина О.Д. Определение условий трехмерной трансформации нелинейных внутренних волн по типу "мелкого" и "глубокого" шельфа: теория, натурные наблюдения, эксперимент. Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – С.-Пб. 2016. 516 с. С. 177–180.
3. Shishkina O. D. Laboratory modeling of mass transfer during internal waves interaction with bottom profile in the shelf zone. *SPE Arctic and Extreme Environments Conference and Exhibition.* 2013. V. 3. P. 2100 – 2105.
4. Slunyaev A., Pelinovsky E., Poloukhina O., Gavriluk S. The Gardner equation as the model for long internal waves. *Proc. Int. Symp. "Topical Problems of Nonlinear Wave Physics"*. 2003. P.368–369.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МУТНОСТИ В ВОДОЕМАХ

М.В. Шмакова

ИНОЗ РАН, СПб, Россия

SPATIAL-TEMPORAL REGULARITIES OF TURBIDITY DISTRIBUTION IN THE WATER BODIES

M.V. Shmakova

Institute of Limnology, SPb, Russia

По данным математического моделирования проведена оценка пространственно-временных закономерностей распределения мутности воды в акватории Сстрорецкого Разлива и озера Неро и построены карты мутности для периодов разной водности.

According to mathematical modeling the estimation of spatio-temporal patterns in water turbidity in the waters Staritskogo Spill and lake Nero and the maps of turbidity for different periods of water availability.

Основные положения. Формирование стока наносов и мутности водного объекта, как и любой природный процесс, зависит от целого комплекса причин. В зависимости от типа водного объекта, источники твердого вещества и вклад той или иной составляющей этого процесса может быть различен. Основным источником наносов для водотоков и водоемов является почвенная эрозия. Вклад почвенной эрозии в общее количество твердых частиц в водных потоках может достигать до 90 % [1]. Этот вклад определяется физико-механическими характеристиками почвогрунтов, слагающих водосборную площадь, типом растительности, климатическими характеристиками, а также интенсивностью антропогенной деятельности на водосборе. Поступление твердого вещества с поверхности водосбора может происходить в результате ветрового переноса пылеватых частиц, водной эрозионной деятельности микроручейковой сети в период интенсивных осадков и снеготаяния.

Стоковые течения в водоемах осуществляют как транзитный перенос наносов, так и могут инициировать взмыв и движение частиц донного грунта (механизм, аналогичный русловым процессам). В верхней части водохранилищ «режим наносов в значительной степени определяется находящейся в подпоре рекой» [2].

Для водоемов в результате сильных течений в периоды половодий и паводков, а также при ветровом воздействии начинается процесс интенсивного взмучивания донных отложений и перенос их во влекомом и взвешенном (преимущественно) [3] состоянии. Для искусственных водоемов (водохранилищ) веский вклад в транспорт наносов, а значит и в показатель мутности приносит процесс абразии берегов за счет их подмыва, механического воздействия ледяных полей и ветрового волнения водных масс. Ветровое волнение, подвижки льда, интенсивные течения, вызванные резкой сработкой уровня водохранилища приводят к разрушению берегов и соответствующему увеличению содержания взвешенных веществ в воде. Последующее распределение взвешенных частиц в акватории определяется ветровыми и гравитационными течениями, расположением и водностью притоков и стоков, морфометрией котловины. Для достаточно хорошо прогреваемых акваторий естественных и искусственных водоемов на мутность влияет и результат жизнедеятельности гидробионтов.

Распределение мутности воды в плане по акватории водоема является неравномерным. Эту неравномерность порождают особенности морфометрии котловины и участки впадения притоков и стока. Также неравномерное распределение мутности вдоль береговой зоны вокруг водоема определяют разные по составу грунты, которыми представлены прибрежная полоса и мелководье.

Движение водных масс, вызванное ветровым перемешиванием для неглубоких водоемов приводит к относительно равномерному перемешиванию озерной воды. Характер и интенсивность ветрового перемешивания определяется скоростью и продолжительностью ветрового воздействия, длиной разгона, морфометрией озера и особенностью его береговой линии [4]. Неоднородная вертикальная стратификация озерных вод, вызванная разностью

температур и, как следствие, плотности, в крупных водоемах приводит к градиентным течениям. Эти течения могут инициировать внутренние волны, параметры которых сопоставимы с ветровыми волнами. Стоковые течения, сформированные впадающими и вытекающими из водоема водотоками, формируют транзитные сквозные течения. Площади, охваченные этими течениями, характеризуются наиболее интенсивным перераспределением твердого вещества, поступающего с впадающими реками. Наибольшая интенсивность этого перераспределения приходится на фазы большой водности – половодье и паводки. Помимо внешних сил, на динамику водных масс в водоеме определяющее влияние оказывают такие внутренние силы как сила инерции и сила внутреннего трения, которая пропорциональна коэффициенту турбулентного обмена и градиенту скорости по глубине [4].

Плановые очертания водоема определяют характер ветрового воздействия – разгон ветра, высоту и направление волн. Все это обуславливает интенсивность и направленность процессов взмучивания донного грунта и обмена водными массами. При выраженной извилистости береговой линии и наличии подветренных мелководных бухт мутность воды на участках этих бухт может не повышаться при ветрах относительно благоприятных для такого расположения направлений. Для относительно круглого в плане водоема с выраженными мелководными участками в прибрежной зоне концентрация взвешенных частиц в водной толще будет убывать в середине водоема.

Существенную роль в процессах взмучивания донных отложений играют гидродинамика водных масс, вызванная сработкой уровня водохранилища. Причем, увеличение мутности воды приходится не только на мелководные участки водохранилища, но и на приплотинную часть акватории. При изменениях уровня водоема и скоростей течения в нем наносы, отложившиеся ранее, смываются и распределяются по всей акватории, увеличивая мутность воды.

Твердый сток и мутность водного объекта, как функция климатических факторов, геоморфологических характеристик водосбора и водности, находится в непосредственной зависимости от изменений условий формирования стока на водосборе в силу естественных природных причин или в результате хозяйственной деятельности. Все это изменяет не только среднее значение мутности воды, но и отражается на ее режиме в течение года.

Внутригодовое распределение мутности определяется фазами водности, которые регламентируют поступление аллохтонного вещества в водный объект – продукты смыва и выветривания грунтов подстилающей поверхности водосбора. Также интенсивность поступления грунта извне в одинаковые фазы водности для разных лет определяется водностью и метеорологической обстановкой отдельного года.

Период большой воды обуславливает для всех водных объектов повышенную мутность. Однако, ввиду того, что внутригодовой ход уровня многих озер несколько более сглажен за счет регулирующего влияния емкости, а летние периоды как правило характеризуются продуцированием гидробионтов и ветровым перемешиванием водных масс, то внутригодовое распределение мутности может отличаться от такового для рек, расположенных в той же физико-географической зоне.

Наблюдения за режимом мутности озер и водохранилищ в настоящее время достаточно нерегулярны и нередко затруднены в условиях экстремальных гидрометеорологических явлений – штормовых ветрах, периодов интенсивных и высоких паводков, половодий и так далее. При этом математическое моделирование дает возможность оценить пространственно-временные закономерности распределения мутности в акватории, в том числе и в режиме численного эксперимента при воспроизведении различных неблагоприятных гидрометеорологических сценариев. Результаты такого моделирования могут быть полезны при учете качества воды в водных объектах и планировании водохозяйственной деятельности.

Целью настоящего исследования является оценка полей мутности, сформированных взвешенными веществами, Сестрорецкого Разлива и озера Неро в периоды разной водности методами математического моделирования.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны два мелководных водоема, расположенных в Ленинградской и Ярославской областях – водохранилище Сестрорецкий Разлив и озеро Неро.

Сестрорецкий Разлив – старейшее в России водохранилище, созданное во времена Петра I путём запруды реки Сестры и реки Черной для нужд Сестрорецкого оружейного завода.

Основные характеристики водохранилища: длина – 5.5 км, ширина – 4.5 км, площадь зеркала 10.3 км², этой площади соответствует объем воды 19 млн. м³. Длина береговой линии составляет 20 км, наибольшая и средняя глубины – 5.5 и 1.6 м соответственно. Площадь водосбора Сестрорецкого Разлива, расположенная на юго-западе Карельского перешейка, составляет 566 км². Уровень воды в водохранилище регулируется. В зависимости от климатических условий или экономических задач за последние 15 лет абсолютные отметки изменялись от 7.8 м до 8.5 м. Инерция реакции водохранилища на метеорологические условия составляет около двух дней. Значения мутности воды Сестрорецкого Разлива по данным эпизодических измерений в меженный период составляют около 20 мг/л, в период половодья достигают 40 мг/л и более [5].

Озеро Неро крупнейшее в Ярославской области, имеет большое средообразующее, оздоровительное, рекреационное и водохозяйственное значение для всего региона. Средняя глубина озера – 1.5 м, площадь зеркала около 54.5 км². Средний уклон дна озера составляет 0.07°. Озеро Неро является зарегулированным водоемом – единственный сток из озера – река Векса – перегорожена плотиной у с. Богородицкое. Основными притоками в озеро являются реки Сара и Ишня, а также около 19 рек и ручьев [6]. В научной литературе отмечается повышенная мутность водоема за счет продуцирования гидробионтов в вегетационный период [6]. Данные о мутности воды, сформированной минеральными взвесями, в литературе не встречаются.

Расчеты поля мутности исследуемых водоемов проводились по модели гидродинамики и транспорта наносов в водоеме [7]. Эта модель основана на уравнениях мелкой воды и аналитической формуле расхода наносов [7].

Результаты моделирования. Для периодов межени и половодья по результатам математического моделирования для исследуемых водоемов построены карты полей мутности и рассчитаны средние значения мутности по акватории. Поля мутности воды в акваториях Неро и Разлива достаточно однородны, что объясняется относительно небольшими глубинами (1.0 – 1.5 м). При этом наименьшие значения мутности приходятся на относительно глубоководные участки. Значения мутности для основной части озера Неро составляют около 2 мг/л в меженный период и 8 мг/л в период половодья. При доминирующих ветров северных направлений со средней скоростью 5 м/с мутность озера Неро составляет 10 – 17 мг/л в меженный период.

Для Сестрорецкого Разлива средние значения мутности воды в периоды межени (Рис. 1) и половодья составляют 25 и 50 мг/л соответственно, что хорошо согласуется с данными наблюдений. Расчеты для неблагоприятных метеорологических условий (ветра доминирующего западного направления со скоростью 5 м/с) показали, что инициированное ветровым воздействием перемешивание водных масс приводит к увеличению мутности до 70 мг/л.

Выводы. В настоящее время наблюдения за таким показателем качества воды как мутность в водоемах являются нерегулярными и редкими или отсутствуют вовсе. При этом результаты анализа данных наблюдений за мутностью являются безусловной основой для решения актуальных в настоящее время вопросов водопользования [8] – «прежде чем судить об антропогенном влиянии на мутность водных масс речных потоков, необходимо рассмотреть бытовые характеристики мутности и ее изменчивость» [8]. Результаты математического моделирования полей мутности для разных периодов водности и в условиях ветрового воздействия позволили получить представление о пространственно-временных закономерностях распределения мутности воды в акватории исследуемых водоемов – Сестрорецкого Разлива и озера Неро.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме №0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

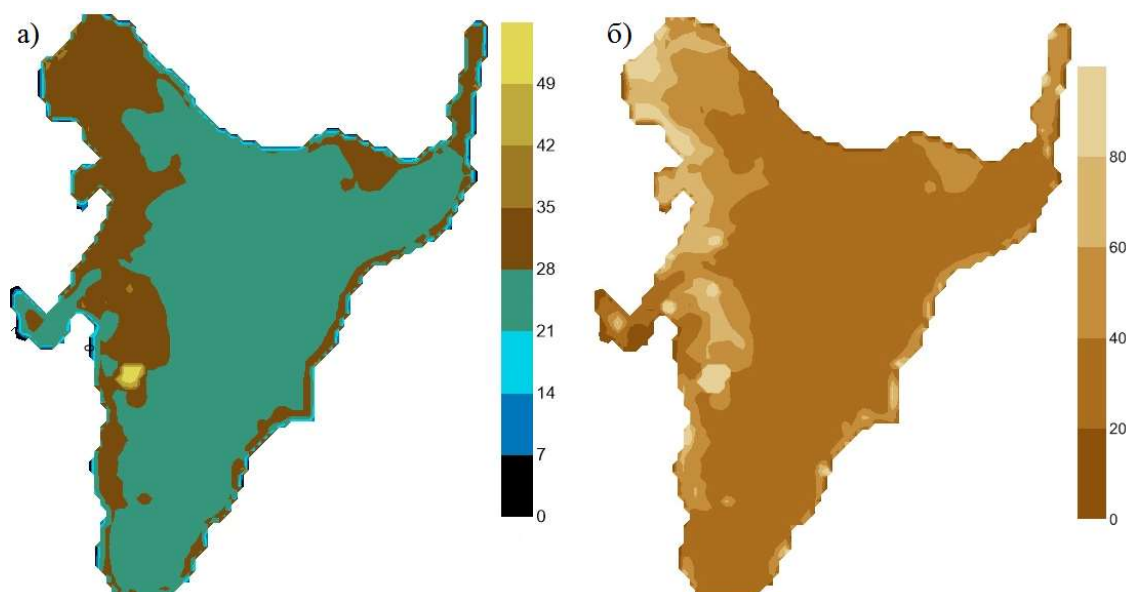


Рис. 1. Распределение мутности воды в акватории Сестрорецкого Разлива в межень – а) и половодье – б), мг/л

Литература

1. Эдельштейн, К. К. Лимнология: учеб. пособие для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт, 2018. – 398 с.
2. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / Под ред. А. В. Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 240 с.
3. Судольский, А.С. Динамические явления в водоемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 263 с.
4. Волны, течения и водные массы водоемов. Конспект лекций / Под ред. проф. Б.Б. Богословского. – Л.: Изд. ЛГМИ, 1980. – С. 4 – 25.
5. Водные объекты Санкт-Петербурга / Под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. – СПб.: Символ, 2002. – 348 с.
6. Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Литвинов А.С., Поддубный С.А. Гидрология и гидрохимия озера Неро. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский дом печати», 2003 – 192 с.
7. Шмакова М.В. Расчеты твердого стока рек и заилиния водохранилищ. СПб.: Издательство ВВМ, 2018. 149 с.
8. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Под редакцией засл. деят. науки и техники РСФСР проф. А. В. Караушева. Издание 2-е. переработанное и дополненное. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 286 с.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ТИПИЗАЦИИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ПЛАВАНИЯ НА ТРАССЕ СМП

А.В. Юлин, канд. геогр. наук, М.А. Мардаровский

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

A.V. Yulin, Cand.Sc., M.A. Mardarovskii

Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

В работе представлены результаты сравнительной оценки международной и российской систем типизации ледовых условий по сложности плавания, проведенной для Карского и Восточно-Сибирского морей.

The paper presents the results of a comparative assessment of the international and Russian ice typing systems for the complexity of navigation conducted for the Kara and East Siberian Seas.

Введение

С 2017 г. в России вступил в действие Полярный кодекс, разработанный в ММО. Основными заявленными принципами при разработке Полярного кодекса являются характеристика условий ледового плавания в форме оценки рисков и комплексный подход к снижению выявленных рисков.

Службы Росгидромета должны быть способны к своевременному предоставлению различным типам пользователей климатической, фактической и прогнозируемой информации о параметрах морского льда и погоды в установленных форматах и формах. Конкретный список параметров должен соответствовать принятой на национальном уровне в Минтрансе системе оценки рисков плавания.

Одним из важнейших параметров для обеспечения безопасности плавания является тип сложности ледовых условий (ЛУ). В настоящее время существует всего несколько принятых систем типизации сложности ЛУ для арктических морей: российская согласно «Правилам плавания в акватории СМП» [1], канадская Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) [2] и новая система Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System, принятая Международной морской организацией [3].

В отечественной науке первые исследования типов ледовых условий по сложности плавания начались в 60-е гг XX века. Так, был разработан коэффициент трудности плавания [4]. В дальнейшем типизация производилась по продолжительности навигационного периода [5] с учетом изменений в трудности плавания.

В связи с этим, в настоящей работе преследуется цель сравнить существующие системы типизаций ледовых условий по сложности плавания.

Материалы и методы

Для проведения сравнительного анализа был выбран оптимальный стандартный маршрут ледового плавания для Карского моря в марте и мае 2016 года и Восточно-Сибирского моря в августе и сентябре 2018 года. Маршруты были разбиты на участки в соответствии с ледовыми условиями на основе обзорных ледовых карт, предоставляемых Центром «Север» ГНЦ АНИИ и доступных в открытом доступе.

Для выбранных маршрутов был произведен расчет протяженности в милях и показатели ледовых условий, такие как возраст и сплоченность. В дальнейшем, эти данные были использованы при расчете индекса Risk Index Outcome (RIO) для плавания судов с ледовым классом Arc4 и Arc7. Полученные значения сравнивались с картами типов ледовых условий по сложности плавания, разрабатываемыми в АНИИ.

Расчет индекса RIO производился путем перемножения сплоченности и коэффициента, зависящего от класса судна и толщины льда. Возможность плавания судна в акватории СМП оценивалась по таблице согласно [1].

Результаты и обсуждение

Система POLARIS была создана на основе разработок арктических стран, осуществляющих судоходство в замерзающих морях. Применяемый подход фактически дублирует систему AIRSS, но является его модернизированной версией. В связи с этим, в настоящей работе сравнение производилось только для системы оценки сложности ледовых условий по трассе СМП и POLARIS.

В России в настоящее время типизация сложности ледового плавания определяется для районов арктических морей [1]:

- юго-западная и северо-восточная части Карского моря,
- западная и восточная части моря Лаптевых,
- юго-западная и северо-восточная части Восточно-Сибирского моря,
- Чукотское море.

Типизация в данный момент включает в себя 4 типа: «чистая вода», «лёгкие», «средние» и «тяжёлые».

В зимний период типизация производится на основе ледовой информации о толщине (возрасте) льда. Летом ключевым параметром является сплоченность льда, характеризующая распространение ледяных массивов, являющихся основным препятствием для судоходства в летнее время. Параметры толщины и сплоченности были разработаны в АНИИ на основе эмпирических материалов в соответствии с [1].

Для каждого моря существует матрица сложности ледовых условий и значений толщины и сплоченности льда. Полученное значение сложности ледовых условий сравнивается с Критериями допуска судов на Северный морской путь в соответствии с категорией их ледовых усилений [1].

В случае с RIO, система оценки выглядит иначе. Коэффициент (значение риска RV) выбирается по таблице для участка плавания, исходя из класса судна и значения толщины (возраста) льда для любого времени года. Далее, этот индекс умножается на значение сплоченности льда. Все полученные частные значения RIO суммируются, и на основе

полученного значения делается вывод о возможности плавания для судов, относящихся к классам PC1-PC7 и ниже PC7 [3].

Рассчитанные значения RIO сравнивались с полученными значениями критериев допуска судов в акваторию СМП. Так, в марте 2016 года в Карском море наблюдались «средние» ледовые условия. Это означает, согласно [1], что судну с классом Arc4 запрещается выход в акваторию моря. Однако, расчёт RIO для стандартного маршрута показал, что для всех участков значение больше >0 , следовательно навигация допускается. В мае тип ледовых условий был «тяжёлый», что означает невозможность плавания судна Arc4. Однако, для ряда участков маршрута RIO >0 и только на 5 участках из 19 наблюдались сложные условия плавания, при которых навигация допускается с ограничениями скорости.

Для судна Arc7 несоответствие результатов двух систем проявилось только в мае 2016 года. В северо-восточной части Карского моря плавание разрешено только с ледокольной проводкой, тогда как RIO для всех участков >0 .

Расчеты RIO для Восточно-Сибирского моря производились на основе данных совместной модели морского льда – океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института [6] в связи с отсутствием таких данных в ЦЛГМИ ААНИИ. В августе 2018 года наблюдались сложные условия плавания в западной части моря (судам класса Arc4 запрещено плавание) и средние в восточной (разрешено с ледокольной проводкой). Однако, только на 3 участках из 25 RIO больше -10 , но меньше 0 , что означает требование к ограничению скорости. В остальных случаях противоречия не наблюдаются. Такие противоречивые результаты в Восточно-Сибирском море могут быть обусловлены использованием модельных расчетов толщины льда.

Это накладывает необходимость на оценку информативности существующих ледовых карт в России и Канаде. Результаты оценки приведены в таблицах 1 и 2.

До начала 1990-х гг. в СССР подробные ледовые карты составлялись на основе материалов ледовых авиаразведок [7]. На карты наносилось 5 параметров морского льда в соответствии с [8]. С внедрением методов дистанционного зондирования Земли, ледовые карты стали создавать на их основе в оперативном режиме, однако количество отображаемых на картах параметров сократилось. В летний период это сплоченность, в зимний – возраст, сплоченность и форма.

Для Северного Ледовитого океана ледовые карты выпускают Канадская ледовая служба, Национальный ледовый центр США и Центр ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ. В зимний период и на тех, и на других отображается только возраст (толщина) льда. Карты для летних месяцев в России содержат только параметр сплоченности, тогда как зарубежные материалы сохраняют на картах информацию о толщине льда, являясь более информативными и пригодными для расчетов индексов риска.

Таблица 1. Сравнение информативности карт из фондов отдела ледового режима и прогнозов ААНИИ для Восточно-Сибирского моря

Период	Август 1985	Август 2018	Январь 2019
Источник данных	Ледовые авиаразведки	ИСЗ	ИСЗ
Параметры:			
<i>возраст</i>	+	-	+
<i>сплоченность</i>	+	+	+
<i>форма</i>	+	-	+
<i>разрушенность</i>	+	-	-
<i>торосистость</i>	+	-	-
Итого параметров:	5	1	3

Таблица 2. Сравнительная таблица информативности обзорных ледовых карт Северного Ледовитого океана, выпускаемых Канадской ледовой службой, Национальным ледовым центром США и Центром ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ

Период	Канадская ледовая служба и Национальный ледовый центр США		Центр ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ	
	Март 2016	Август 2018	Март 2016	Август 2018
Параметры:				
<i>возраст</i>	+	+	+	
<i>сплоченность</i>		+		+
Итого параметров:	1	2	1	1

Заключение

Любой существующей системе типизации сложности плавания присущи свойства формализации. При таких системах прибегают к заданным эмпирическим коэффициентам, которые могут не совсем оптимально учитывать многообразие природных условий.

В настоящее время согласно «Правилам плавания в акватории СМП», основными критериями допуска судов на СМП являются категория ледовых усилений судна (ледовый класс) и тип ледовых условий в районе моря (лёгкие, средние, тяжёлые). Система оценки ледовых условий, разработанная в России, включает в себя три эти типа. В основе их разделения в зимний период положен возраст льда. Ледовые условия в летний период принято определять по параметру сплоченности, поскольку количество сплоченных льдов в море определяет очищение трассы от тяжелых льдов.

Типы ледовых условий определяются для укрупнённых районов арктических морей (по 2 района в каждом море). Таким образом, основными недостатками существующей системы

является ограниченный набор параметров ледяного покрова, используемый для оценки, а также размеры районов, для которых выделяются типы ледовых условий.

Система POLARIS для судов класса Arc4 дает результаты, отличные от результатов, получаемых при оценке допуска судов в акваторию СМП. В летние месяцы это может быть обусловлено недостатком информации о толщине льда, для зимнего периода необходимо уточнение критических значений RIO.

Литература

1. Правила плавания в акватории Северного морского пути. М.: Изд. Минтранс России, 2013, 18 с.
2. Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards. Second edition. January 2018. URL: <https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/tp-tp12259-menu-605.htm#fn1>
3. Guidance on methodologies for assessing operational capabilities and limitations in ice. MSC.1/Circ.1519. 6 June 2016. URL: <https://www.nautinst.org/uploads/assets/uploaded/2f01665c-04f7-4488-802552e5b5db62d9.pdf>
4. Гордиенко П.А., Бузуев А.Я., Сергеев Г.Н. Изучение ледяного покрова как среды судоходства // Проблемы Арктики и Антарктики. 1967. - № 27. - С. 93-104.
5. Справочное пособие для учета ледовых условий (фактических и прогнозируемых) на трасса Северного морского пути (сост. А.Я. Бузуев). Л.:Репрогр. ААНИИ, 1977. – 133 с.
6. Информационные материалы по мониторингу морского ледяного покрова Арктики и Южного Океана на основе данных ледового картирования и пассивного микроволнового зондирования SSMR-SSM/I-SSMIS-AMSR2. 06.08.2018 - 14.08.2018. 2018. № 32 (363). 39 с.
7. Руководство по производству ледовой авиаразведки. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 240 с.
8. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 56 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В АКВАТОРИИ ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА УРОВНЯ

Е. А. Яговкина^{1,2}, О. В. Хаймина², Н. В. Кубышкин²

1-Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

2- ООО «Арктик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург, Россия

THE RESULTS OF A WAVELET ANALYSIS OF NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN OB BAY OF KARA SEA AND POSSIBILITY OF USING THEM FOR DEVELOPING A SHORT-TERM SEA LEVEL FORECAST

E.A. Yagovkina^{1,2}, O.V. Khaymina^{1,2}, N.V. Kubyshkin²

1- Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

2-LLC "Arctic Shelf Consulting"

Выполнен вейвлет-анализ рядов уровня моря и атмосферного давления в районе мыса Каменный (Обская губа). В рядах выделены схожие колебания с квазипериодами 1,5-2 месяца, показан их значимый вклад общую изменчивость.

A wavelet analysis of the data series of sea level and atmospheric pressure in the area near Cape Kamenny was done. In the data series similar fluctuations with quasi period 1.5-2 of month and their significant contribution in total variability was shown.

Структура временных рядов уровня моря в районе мыса Каменный представляет собой суперпозицию квазигармонических колебаний различной природы и непериодических (сгонно-нагонных) колебаний, как и для других участков акватории Обской губы Карского моря. Так в работах Корта В.Г. [1] и Воинова Г.Н и Пискуна А.А. [2, 3, 4] выделяются полусуточные приливные колебания, сезонный ход уровня, колебания в синоптическом диапазоне с периодами от нескольких часов до до 1 и более месяцев) и непериодические (сгонно-нагонные) колебания для всей акватории Обской губы, а также сейшевые колебания у мыса Ям-Сале с периодами 12-13 часов и менее. При этом отмечается, что вклад процессов синоптического масштаба мало значим на фоне мезомасштабных процессов [4]. Сочетание колебаний различного периода на отдельных временных отрезках можно проследить с использованием вейвлет-анализа, что и являлось целью данной работы.

Исходные данные.

Для работы были использованы ежечасные значения уровня моря с января 2019 года по август 2019 года, полученные с гидрологического буя (ООО «Арктик-Шельф Консалтинг»), расположенного у мыса Каменный (Обская губа), а также ряд значений атмосферного давления для этого же района за соответствующий период.

Методы и результаты.

Вейвлет-анализ применяется для исследования сложных данных, в том числе о неоднородных и нестационарных процессах. В отличие от спектрального анализа отображение данных в масштабнo-временную плоскость при вейвлет-преобразовании позволяет выделить свойства составного сигнала на различных участках ряда. Для анализа рядов уровня моря и атмосферного давления в данной работе использовался вейвлет Морле, наиболее часто применяемый при исследовании гидрометеорологических данных [5, 6]. Численная реализация вейвлет-преобразования была выполнена в свободно распространяемой программе Past 3[7].

Результаты вейвлет-преобразования ряда уровня моря (без учета приливов и сезонного хода) за весь период наблюдений представлены на рисунке 1.

Важной особенностью результатов вейвлет-преобразования ряда уровня моря у мыса Каменный является наличие квазигармонического колебания с периодом 1,0-2,5 месяца (рис.1а, 1б, черный прямоугольник). При удалении из исходного ряда уровня квазигармоники с периодом 12 часов и трендовой составляющей (годовой ход), именно данная квазигармоническая составляющая является основной (рис.2.). Такие колебания могут играть роль «шума» при

прогнозе сгонно-нагонных колебаний. Поэтому целесообразно при прогнозе уровня вводить учет данной компоненты по аналогии с приливными колебаниями и годовым ходом уровня.

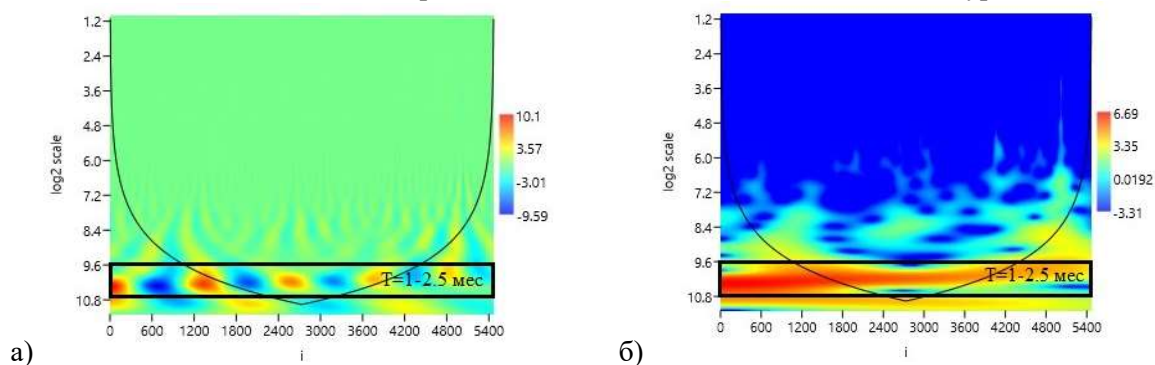


Рис. 1. Коэффициенты вейвлет-преобразования ряда уровня без трендовой и приливной составляющих (а), энергии вейвлет-преобразования ряда уровня без трендовой и приливной составляющих (б) с января 2019 года по август 2019 у мыса Каменный

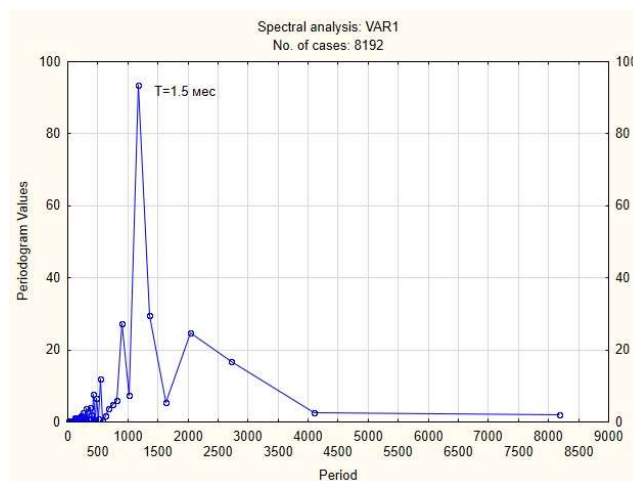


Рис.2. Периодограмма ряда уровня моря уровня без трендовой и приливной составляющих с января 2019 года по август 2019 года у мыса Каменный

При анализе результатов вейвлет-преобразования ряда атмосферного давления также выделяется квазигармоника с периодом 1,0-2,5 месяца. Коэффициенты вейвлет-преобразования синхронных фрагментов ряда уровня и атмосферного давления (03.01.19 –10.03.19) представлены на рисунке 3. Квазигармоника с периодом 1,0-2,5 месяца, присутствующая в ряду атмосферного давления, несколько опережает по фазе аналогичную в ряду уровня. При этом четко прослеживается эффект понижения уровня моря при повышении давления. Амплитуда таких колебаний может превышать амплитуду приливных и сезонных колебаний.

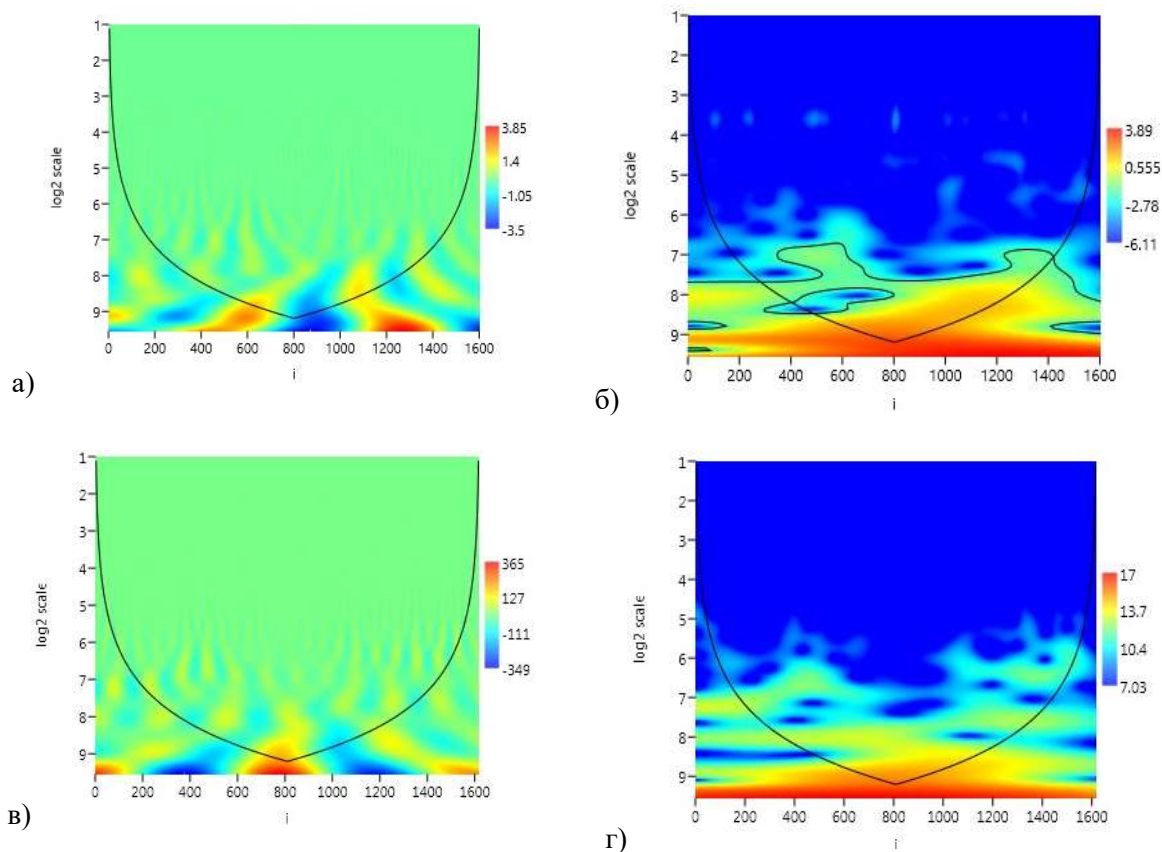


Рис. 3. Коэффициенты вейвлет-преобразования отфильтрованного ряда уровня (а), энергии вейвлет-преобразования отфильтрованного ряда уровня (б), коэффициенты вейвлет-преобразования ряда атмосферного давления (в), энергии вейвлет-преобразования ряда атмосферного давления с 03.01.19 по 10.03.19 у мыса Каменный

Вейвлет-анализ может быть также использован для оценки качества методов фильтрации колебаний. Например, на рисунках 4а и 4б хорошо видно, что в 20-х числах июня (4000-ое значение и далее) значительно возрастает вклад полусуточного прилива в общую изменчивость уровня моря, что связано со вскрытием припая на отдельных участках акватории. Высокое качество учета данной составляющей подтверждается ее отсутствием (рис. 1а и 1б) при работе с рядом уровня, подвергнутому предварительной обработке по методу Г.Н.Войнова [8].

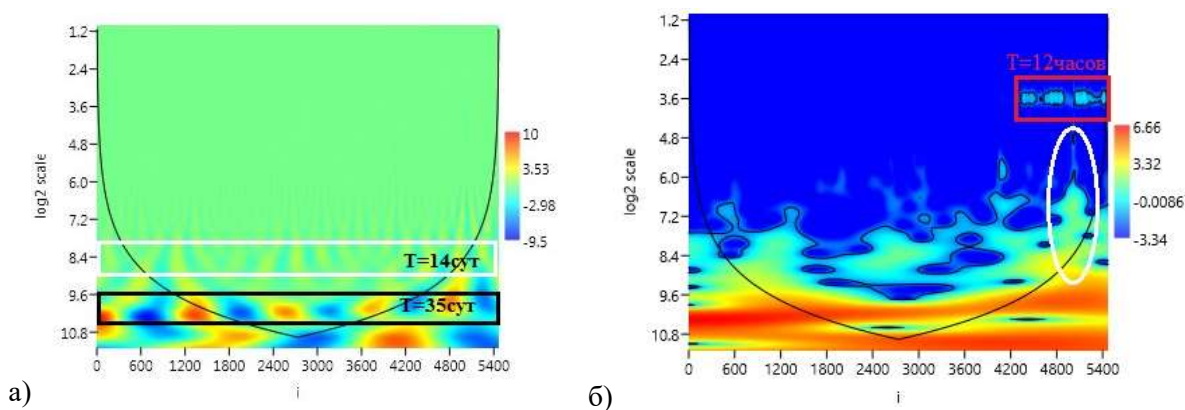


Рис. 4. Коэффициенты вейвлет-преобразования исходного ряда уровня (а), энергии вейвлет-преобразования исходного ряда уровня (б) с января 2019 года по август 2019 у мыса Каменный

Выводы

Наличие сдвига по фазе между выделенными квазигармониками (с периодом 1,0 – 2,5 месяца) в рядах уровня моря и атмосферного давления может послужить основой для разработки метода учета данной составляющей при краткосрочном прогнозе уровня.

Контроль качества учета квазигармонических составляющих различного периода может осуществляться с помощью сравнения результатов вейвлет-преобразования исходных и подвергнутых обработке рядов.

Литература

1. Корт В.Г. Непериодические колебания уровня в Арктических морях и способы их прогноза / В.Г. Корт под общей редакцией Т.П. Марютина. – Ленинград, Москва: Главсевморпути, 1941.
2. Войнов Г.Н. Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ (лед, уровни, структура вод) / Г.Н. Войнов, Ю.В. Налимов, А.А. Пискун, В.В. Становой, Г.Е. Усанкина; под редакцией доктора географических наук Г.Н. Войнова. – СПб., 2017. – 192 с
3. Войнов Г.Н. Приливные и сгонно-нагонные колебания уровня у мыса Каменного (обская губа) / Г.Н. Войнов, А.А. Пискун // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – 2019. – С.140-143
4. Войнов Г.Н. Приливные и сгонно-нагонные колебания уровня у мыса Ям-сале (Обская губа) // Проблемы Арктики Антарктики. - 2016 -№4 С.51-66.
5. Белоненко Т.В. Вейвлет-анализ Тихоокеанской декадной осцилляции и температурных индексов Эль-Ниньо Вопросы промысловой океанологии. Под редакцией Алексева А.П., Кочкикова В.Н., Масленникова В.В. - М. : Изд-во ВНИРО, 2005. - Вып.2. - с.189 - 205.
6. Хаймина О.В. Влияние изменений факторов среды обитания на промысловые популяции атлантического лосося автореферат 2013
7. Past3 Reference manual [электронный ресурс]. – URL: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>
8. Войнов Г.Н. О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. – 2004 – Т. 44 – № 2 С. 172–178.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРИДИОНАЛЬНОГО ПОТОКА ОКЕАНИЧЕСКОГО ТЕПЛА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАЗЫ NAO

Д. А. Яковлева¹, И. Л. Башмачников^{1,2}

¹ Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

REDISTRIBUTION OF MERIDIONAL OCEANIC HEAT FLUXES IN THE NORTHERN NORTH ATLANTIC FOR DIFFERENT PHASES OF NAO

D. A. Iakovleva¹, I. L. Bashmachnikov^{1,2}

¹Institute of Earth sciences, the Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

²NIERSC- Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, Saint Petersburg, Russia

В данной работе исследуется перераспределение океанического потока тепла в приповерхностных слоях Северной Атлантики. В районе 55° с. ш. океанический поток тепла уменьшается, а поток тепла на 65° с. ш. увеличивается за последние 26 лет. Поток тепла на 65° с. ш. выше, чем на 55 с.ш. примерно в 3 раза. По модулям скорости океанических течений показано усиление течения Ирмингера и ослабление Восточно-Гренландского и Норвежского течений в отрицательную фазу Северо-Атлантического колебания (NAO).

In this paper, we investigate the redistribution of oceanic heat fluxes in the upper North Atlantic. The oceanic heat flux decreases at 55 °N, while the heat flux at 65 °N increases for the latest 26 years. The heat flux at 65 °N three times exceeds that at 55N. The Irminger Current strengthens, while the East-Greenland Current and the Norwegian Currents weakens for the negative phase of the North Atlantic Oscillation (NAO).

Введение

В районе Северной Атлантики происходит образование глубинных водных масс, которые составляют возвратный глубинный поток Атлантической меридиональной термохалинной циркуляции, которая в свою очередь может приводить к изменению климата [1]. Образование глубинных вод происходит в результате осенне-зимнего охлаждения (температурная конвекция) и может продолжаться в результате осолонения в районах, где наблюдается нарастание льда (соленостная конвекция). Глубина конвекции напрямую связана с теплосодержанием – чем больше глубина конвекции, тем больше тепла уходит из региона, тем меньше становится теплосодержание. Изменение теплосодержания формируется под влиянием океанических и атмосферных потоков тепла, интенсивность которых может меняться в зависимости от фазы NAO в данном регионе. При отрицательном индексе Северо-Атлантического колебания (NAOI) увеличивается поток тепла через Срединно-океанический хребет в западном направлении, а также в северном направлении через порог Датского пролива с Западно-Исландским течением (продолжение течения Ирмингера) [2].

Поэтому в данной работе рассматривается один из наиболее важных факторов, который влияет на изменение теплосодержания - океанический поток тепла, в зависимости от фазы NAO.

Материалы и методы

Для расчета океанического потока тепла был выбран массив данных ARMOR-3D [3] (массив комбинированных спутниковых и натуральных данных) за период 1993-2108 гг. [4, 5]. Пространственное разрешение 0.25°, временное – месяц.

Океанический поток тела верхнего 500-метрового слоя рассчитывался по формуле:

$$Q = \rho C_p (T - T_{ref}) V dx dz,$$

где $\rho=1027$ (кг/м³) – плотность воды, $C_p=3900$ (Дж/кг*°C) – удельная теплоемкость воды, T – температура (°C), dz – толщина слоя (м), V – меридиональная скорость течения (м/с), dx – расстояние между точка по параллели (м). В качестве базовой температуры (T_{ref}) бралась температура замерзания морской воды -1.8 °C.

Месячные значения индекса Северо-Атлантического колебания (NAOI) были загружены с сайта NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>).

Результаты

На рисунке 1 представлена карта районов и разрезов, по которым производились расчеты. Такие разрезы выбраны, чтобы показать разницу между потоками тепла на 55° с. ш. (Разрез 1) и 65° с. ш. (Разрез 2) и их изменчивость. По абсолютным значениям поток тепла на Разрезе 2 больше примерно в 3 раза. При общем увеличении потока тепла на Разрезе 2 наблюдается общее уменьшение потока тепла на Разрезе 1. Но в последние годы океанический поток тепла на Разрезе 2 резко уменьшается.

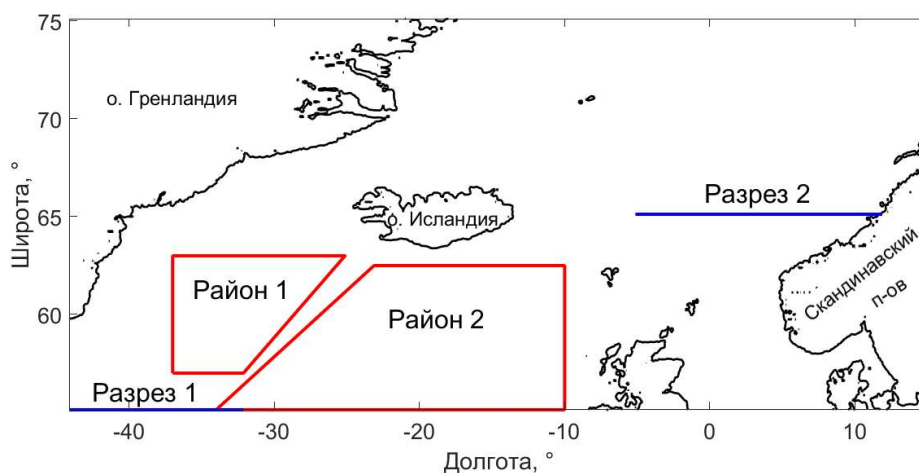


Рис. 4. Карта районов и разрезов, по которым производились расчеты.

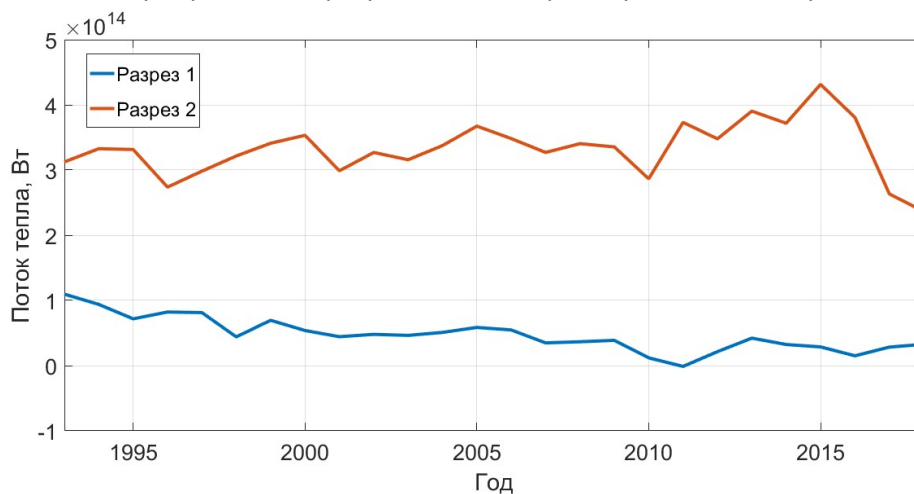


Рис. 2. Межгодовая изменчивость океанических потоков тепла по двум разрезам.

Наибольшие скорости проявляются в Восточно-Гренландском и Норвежском течениях (Рисунок 3). Интересно то, что в различные фазы NAOI интенсивность течения Ирмингера меняется различно с общим изменением интенсивности субполярного круговорота. В положительную фазу NAOI в данном районе усиливается атмосферная циркуляция [6], что приводит к увеличению интенсивности субполярного круговорота, что видно в увеличении скоростей Восточно-Гренландского и Норвежского течениях. Но, в тоже время скорости в течении Ирмингера уменьшаются. В отрицательную фазу NAOI обратная ситуация – течение Ирмингера усиливается, тогда как субполярный круговорот ослабевает. В таблице 1 представлены средние значения, среднеквадратическое отклонение и стандартная ошибка для всех районов и разрезов.

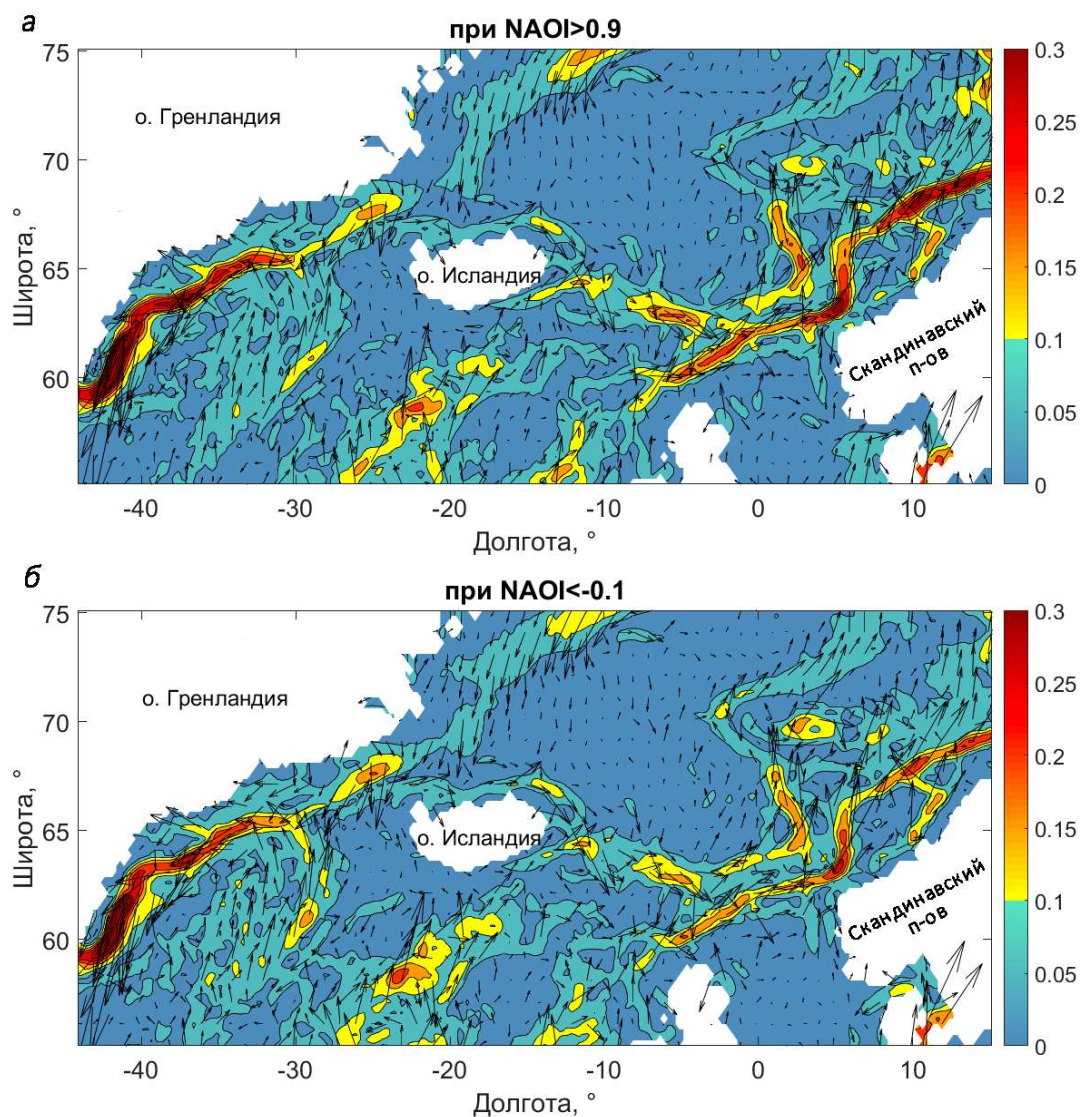


Рис. 3. Пространственное распределение модуля скорости на поверхности: *а* – при $NAOI > 0.9$, *б* – при $NAOI < -0.1$. Цветом обозначены модули скорости (м/с), стрелки показывают направление

Таблица 1. Средние значения, среднеквадратическое отклонение (СКО) и стандартная ошибка модулей скорости в различные фазы NAOI.

	Среднее	СКО	Стандартная ошибка
Район 1 ($NAOI > 0.9$)	0.063	0.017	0.001
Район 1 ($NAOI < -0.1$)	0.064	0.020	0.001
Район 2 ($NAOI > 0.9$)	0.058	0.026	0.001
Район 2 ($NAOI < -0.1$)	0.060	0.025	0.001
Разрез 1 ($NAOI > 0.9$)	0.037	0.011	0.003
Разрез 1 ($NAOI < -0.1$)	0.040	0.016	0.005
Разрез 2 ($NAOI > 0.9$)	0.066	0.054	0.013
Разрез 2 ($NAOI < -0.1$)	0.056	0.045	0.011

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

Литература

1. Buckley, M. W., Marshall, J., 2016. Observations, inferences, and mechanisms of Atlantic Meridional Overturning Circulation variability: A review. *Reviews of Geophysics* 54, 5–63.
2. Barrier, N., Deshayes, J., Treguier, A. M., Cassou, C., 2015. Heat budget in the North Atlantic subpolar gyre: Impacts of atmospheric weather regimes on the 1995 warming event. *Progress in Oceanography* 130, 75-90.
3. См. <http://marine.copernicus.eu/>
4. Larnicol, G., Guinehut, S., Rio, M. H., Drevillon, M., Faugere, Y., Nicolas, G., 2006. The global observed ocean products of the French Mercator project. *Proceedings of the Symposium on 15 Years of Progress in Radar Altimetry*, 13–18 March 2006, Venice, Italy.
5. Nardelli, B., Guinehut, S., Pascual, A., Drillet, Y., Ruiz, S., Mulet, S., 2012. Towards high resolution mapping of 3-D mesoscale dynamics from observations. *Ocean Science* 8(5), 885–901
6. Hurrell, J. W., Deser, C., 2010. North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems* 79(3–4), 231–244.

ПРОБЛЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. КУБАНЬ

Т.И. Яковлева, канд. техн. наук, Ю.В. Шарина

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия.

PROBLEMS OF REAL-TIME MONITORING OF THE RIVERS WATER REGIME AND WAYS OF THEIR SOLUTION ON THE EXAMPLE OF GAGING SITES OF THE KUBAN RIVER MIDDLE REACHES

T.I. Yakovleva, Cand. Tech. Sci., Sharina Yu.V.

Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute», St. Petersburg, Russia

Рассматриваются проблемы оперативного мониторинга водного режима рек и учета стока воды. Приведены основные положения методики оперативного учета и увязки стока воды и примеры её использования на гидрологических постах среднего течения р. Кубань.

The problems of real-time monitoring of the rivers water regime and water discharge computation are considered. The main provisions of the methods of real-time water discharge computation and coordination and examples of its application at gaging sites of the Kuban river middle reaches are given.

Для развития системы мониторинга поверхностных водных объектов наряду с совершенствованием технологий выполнения измерений и сбора данных необходимо развитие используемых методики и технологии оперативной обработки данных.

Внедрение на гидрологической сети автоматизированных комплексов для измерения уровней воды позволяет измерять и передавать в автоматизированном режиме сведения об уровнях воды с любой заданной дискретностью, что крайне важно, особенно для рек с быстро развивающимися паводками и суточным ходом уровня воды. Именно непрерывные наблюдения за уровнями воды и регулярные эпизодические измерения расходов воды являются основой осуществления мониторинга водного режима рек и оценки его количественных характеристик, в том числе оперативных данных о расходах воды, которые необходимы для информационного обеспечения задач гидрологического прогнозирования и безопасного функционирования водохозяйственных систем в бассейнах рек. Разработка методов оперативного учета стока и их реализация в компьютерных технологиях – одна из важнейших составляющих повышения эффективности осуществления мониторинга водного режима рек.

Результаты многолетних исследований по разработке методов оперативного учета стока, выполненных в ГГИ, нашли отражение в нормативном документе, подготовленном в 2018 г. [1]. Предлагаемые решения учета стока как в режимном, так и в оперативном вариантах имеют единую методическую основу. В обоих вариантах в качестве первого приближения к значению расхода воды при фиксированном уровне принимается значение, полученное по уравнению связи расходов и уровней воды – кривой расходов (КР), которое можно существенно уточнить, если учесть изменения пропускной способности русла, нарушающие однозначность этой связи.

Основной предпосылкой для выбора метода гидрометрического учета стока служит оценка однозначности зависимости $Q(H)$. Она выполняется на основе сравнения дисперсии относительных отклонений измеренных расходов воды (ИРВ) от опорной КР и дисперсии случайных погрешностей измерения расходов воды [2].

В общем случае значение оперативного расхода воды на момент (срок) t Q_{ont} вычисляется по формуле

$$Q_{ont} = Q(H_t)(1 + \bar{q}_t). \quad (1)$$

Аппроксимация и подбор наилучшего аналитического выражения в виде уравнения параболы Глушкова или алгебраического полинома для связи $Q(H)$ выполняется в соответствии с алгоритмами, разработанным в ГГИ [3].

В качестве характеристик изменения пропускной способности русла во времени используются относительные отклонения ИРВ \bar{q}_u от опорной зависимости $Q(H)$:

$$\bar{q}_u = \frac{Q_u - Q(H_u)}{Q(H_u)}, \quad (2)$$

где Q_u - измеренный расход воды, $Q(H_u)$ - расход воды, полученный по связи $Q(H)$ для уровня H_u , зафиксированного во время измерения расхода воды Q_u .

Изменения пропускной способности русел происходит под воздействием ряда сезонных, гидроморфологических и динамических факторов, таких как ледовые явления зимой, зарастание в летнюю межень, деформации неустойчивого русла, переменный подпор от выпадающих ниже притоков или размещенных в русле гидротехнических сооружений и т.п. Влияние этих факторов обуславливает разброс точек ИРВ относительно осредняющей (опорной) аппроксимирующей зависимости $Q(H)$ и составляет физическую причину отклонений \bar{q}_u . Хронологическая последовательность отклонений $\bar{q}(t)$ в пределах фазово-однородных периодов рассматривается при этом как случайный временной процесс и, следовательно, для анализа и расчета характеристик этого процесса предлагается использовать методы пространственно-временного разрешения случайных полей и процессов, а именно, различные методы интерполяции и экстраполяции случайных временных рядов [3].

Результаты применения предлагаемых решений оперативного учета и увязки стока рассмотрим на примере расчета оперативных значений расходов воды за апрель-октябрь 2012 г. для гидрологических постов (ГП) на участке среднего течения р. Кубань – г. Армавир и ст-ца Ладожская.

Первоначально в качестве опорной КР для расчета оперативных расходов воды для ГП Армавир была принята многолетняя зависимость расходов от уровней воды (МКР), полученная по данным 2002-2011 гг. (линия 4 на рис. 1). Её аппроксимация выполнена полиномом 2-й степени с ограничениями в точке: $H = 2,65$ м над «0» поста, $Q = 29,1$ м³/с, параметры которой приведены в таблице 1.

Для периода с 1 апреля по 5 июня значения оперативных расходов воды для ГП Армавир вычислялись с использованием МКР. При этом $Q(H)$ в формуле (1) рассчитывалось по уравнению КР, а поправка \bar{q}_i – по методу оптимальной экстраполяции [4] с учетом относительных отклонений от МКР, измеренных к моменту расчета расходов воды.

В период с 29 марта по 5 июня 2012 г. в гидрометрическом створе Армавир было измерено всего 7 расходов воды (рис.1а). Все расходы существенно отклонились от МКР вправо. Среднеквадратическое значение относительных отклонений \bar{q}_i за этот период составило 0,404, что более чем в 2 раза превысило значение среднеквадратического рассеяния МКР. Это свидетельствует о необходимости корректировки положения опорной КР. С этой целью по данным состоявшихся измерений 2012 г. была выполнена аппроксимация зависимости $Q(H)$ в диапазоне уровней, освещённом измерениями расходов воды: 306 - 386 см над «0» поста. За пределами диапазона измерения была выполнена экстраполяция расходов воды до высшего уровня воды $H = 434$ см над «0» поста, наблюдаемого 21 апреля (линия 2 на рисунке 3) и до низшего уровня $H = 269$ см над «0» поста (линия 3 на рисунке 3), соответствующего низшему уровню на МКР. В целом выполнена кусочно-полиномиальная аппроксимация зависимости $Q(H)$, параметры уравнений которой представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры уравнений, аппроксимирующих зависимость расходов (м³/с) от уровней воды (м над «0» поста), р. Кубань – г. Армавир, 2012 г.

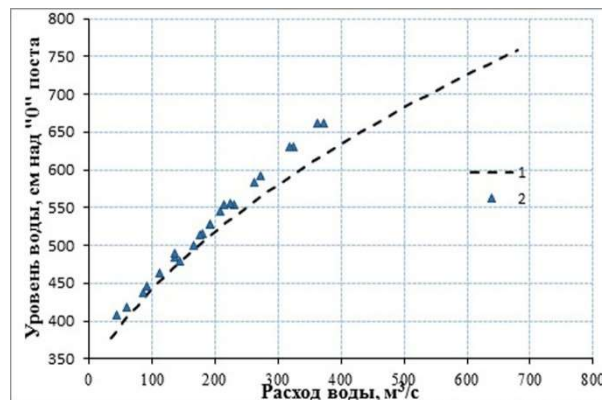
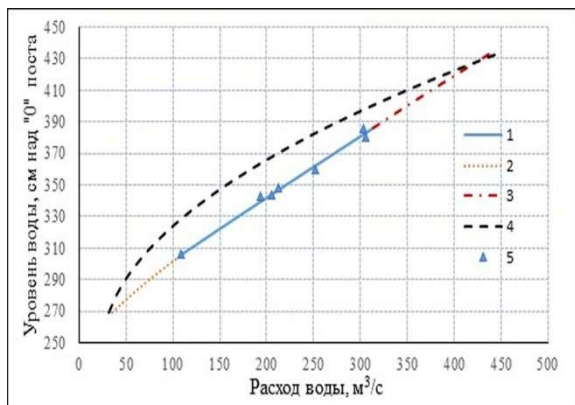
Диапазон уровней, м над «0» поста	Вид уравнения Q(H)	Параметры уравнений Q(H)			
		a_0	a_1	a_2	$\sigma_{\bar{q}}$, %
2,69 – 4,35	МКР – полином*	724,3	575,28	18,1	17,1
3,06 – 3,86	Парабола Глушкова**	246,2	2,6	1,044	2,63

2,69 – 3,05	Полином с ограничениями	1225	-234.65	75.24	
3,86 – 4,34	Полином с ограничениями	-409,56	116,16	18,402	
* a_0, a_1, a_2 – коэффициенты УР: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2$; ** a_0, a_1 – коэффициенты УР: $Q(H) = a_0(H-H_0)^{a_1}$					

После 5 июня в 2012 г. на ГП р. Кубань – г. Армавир больше не было выполнено ни одного измерения расхода воды, и поэтому не было возможности уточнить положение кривой расходов в диапазонах экстраполяции с помощью поправок \bar{q}_t , учитывающих изменения пропускной способности русла. Значения поправок \bar{q}_t в формуле (1) для периода с 6 июня по 31 октября периода приняты равными 0 и оперативные расходы воды получены непосредственно по уравнениям, аппроксимирующим зависимость $Q(H)$, параметры которых приведены в таблице 1.

а)

б)



1 – зависимость $Q(H)$ по данным ИРВ 2012 г., 2- экстраполяция расходов воды до низшего уровня воды по МКР, 3 - экстраполяция расходов воды до высшего, наблюдаемого в 2012 г. уровня воды, 4 – МКР, 5 – ИРВ 2012 г.

Рис. 1. Зависимости расходов от уровней воды:

а) – р. Кубань – г. Армавир; б) – р. Кубань – ст-ца Ладожская

Для оперативного учета стока на ГП ст-ца Ладожская использовалась МКР 2002-2011 гг. (рис. 1б), при этом были забракованы и не принимались в расчет данные 2007 и 2008 гг. На этом ГП в течение расчетного периода было измерено 26 расходов воды и все они были учтены при расчете поправок \bar{q}_t . В интервале от состоявшегося до следующего измерения поправки \bar{q}_t вычислялись методом экстраполяции сглаженного относительного отклонения ИРВ от МКР, полученного по данным двух последних измерений расходов воды [1].

Оценка эффективности предлагаемой методики оперативного учета стока для ГП г. Армавир и ст-ца Ладожская выполнена на основе сравнения оперативных $Q_{оп}$ и режимных $Q_{реж}$ (опубликованных в справочнике ЕДС) значений расходов воды (таблица 2). Относительная погрешность определения оперативного значения расхода воды $\delta Q_{оп}$ вычислялась по формуле:

$$\delta Q_{оп} = (Q_{оп} - Q_{реж}) / Q_{реж} \quad (3)$$

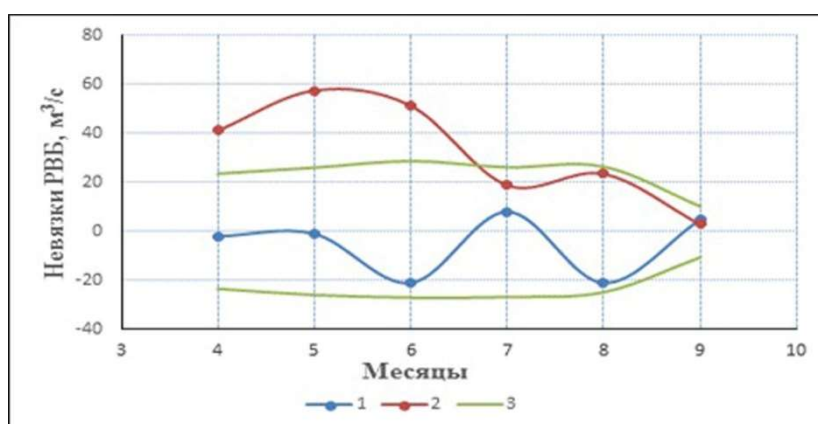
Таблица 2. Результаты оценки эффективности методики оперативного учета стока

Число дней	По методике ГГИ				По данным СК УГМС			
	Относительные погрешности вычисления оперативных ЕРВ				Относительные погрешности вычисления оперативных ЕРВ			
	Случайная, %	Систематическая, %	Наибольшая	Число случаев с $\delta Q_{оп} > 15\%$	Случайная, %	Систематическая, %	Наибольшая	Число случаев с $\delta Q_{оп} > 15\%$

р. Кубань – г. Армавир, апрель- октябрь 2012 г								
214	5,8	0,6	29,4	7	17,6	-7,6	-62,5	61
Р. Кубань – ст-ца Ладожская, апрель- октябрь 2012 г								
214	5,5	0,7	19,0	2	15,3	12,5	56,4	40

Результаты расчетов показали, что использование предлагаемой методики для ГП Армавир позволило более чем в 3 раза повысить надежность оперативного учета стока по сравнению с тем способом, который используется в Северо-Кавказском УГМС: среднее квадратическое значение погрешности снизилось более, чем в 3 раза, при этом систематическая составляющая погрешности составила всего 0,6 %. Для ГП ст-ца Ладожская получены примерно такие же результаты.

Дополнительным инструментом для оценки надежности оперативного учета стока является расчет русловых водных балансов (РВБ), которые отражают соотношение между поступлением воды на участок реки (канала) через верхний ограничивающий створ и стоком в нижнем, замыкающем створе с учетом притока, изъятий, потерь и сбросов воды между ними [5]. Ход невязок РВБ для расчетного участка приведен на рисунке 2.



1 – по методике ГГИ, 2- по оперативным данным СК УГМС, 3 – допустимая невязка

Рис.2. Невязки русловых водных балансов на участке
р. Кубань: г. Армавир – ст-ца Ладожская

Значения невязок РВБ (остаточного члена Q_0), рассчитанных по оперативным данным Северо-Кавказского УГМС для месячных интервалов времени в первой половине года существенно превышают допустимую погрешность невязки РВБ, которая не должна выходить за пределы интервала от $-1,96 \sigma_{Q_0}$ до $1,96 \sigma_{Q_0}$ (σ_{Q_0} – погрешность расчета РВБ).

Невязки РВБ, полученные по данным оперативного учета стока с использованием разработанной методики, в течение всего расчетного периода находятся в пределах допустимой погрешности расчета РВБ, что подтверждает надежность полученных данных оперативного учета стока.

Литература

1. Р 52.08.872-2018 Оперативный учет стока на водотоках. Методы обработки наблюдений за уровнями и расходами воды. СПб.: 2018. 107 стр.
2. Яковлева Т.И. Усовершенствование и адаптация моделей гидрометрического учета стока при неоднозначных зависимостях расходов от уровней воды // Сборник работ по гидрологии ГГИ. 2003. № 26. С. 58-69.
3. Карасев И.Ф., Яковлева Т.И. Усовершенствованные методы гидрометрического учета стока. Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда, Секция 1. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. С.156-163.
4. Карасев И.Ф., Яковлева Т.И. Экстраполяционно-аналитический метод оперативного учета стока рек с неустойчивым руслом (на примере р. Амударья) // Труды ГГИ. 1988. Вып.325. С. 19-30.
5. Методические указания управлениям гидрометслужбы. № 9. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 104 с.

Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология:
достижения и перспективы развития».

Подписано в печать 15.12.2019. Формат 60x90^{1/8}. Электронное издание. Тираж 400 экз.

ХИМИЗДАТ