

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»  
Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена  
Федеральное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра Российской академии наук  
Федеральное государственное бюджетное учреждение Государственный гидрологический институт  
Российский Фонд Фундаментальных Исследований



## ТРУДЫ

### II Всероссийской конференции «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

*Конференция имени Л.Н. Карлина*

19-20 декабря 2018 года

Санкт-Петербург

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»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА  
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И ДИСТАНЦИОННОМУ  
ЗОНДИРОВАНИЮ ИМ. НАНСЕНА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ТРУДЫ II ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ:  
НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Санкт-Петербург  
2018

Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. – 753 с.

ISBN 978-5-93808-326-4

В сборнике трудов представлены доклады российских и зарубежных специалистов в области метеорологии, океанологии, климатологии, гидрологии, экологии, управления морской деятельностью и образования в сфере гидрометеорологии. Особое внимание уделено результатам фундаментальных исследований и их внедрению при решении прикладных проблем, в том числе при разработке технологий мониторинга Мирового океана с целью исследования и освоения его ресурсов, 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.

#### **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

#### **Оператор конференции:**

- Организатор деловых мероприятий ООО «Инпроэкспо»

#### **Поддержка Конференции:**

- Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности
- Комитет по науке и высшей школе
- Морской совет при Правительстве Санкт-Петербурга

*Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 18-05-20115 Г*

#### **Программный комитет Конференции:**

*Председатель:* Родионов А.А. (ИО РАН). *Заместитель председателя:* Зимин А.В. (ИО РАН).

*Члены программного комитета:* Ашик И.М. (ААНИИ); Бобылев Л.П. (ФОНД НАНСЕН-ЦЕНТР); Ерёмкина Т.Р. (РГГМУ); Зацепин А.Г. (ИО РАН); Гриценко В.А. (БФУ им. И.Канта); Кузьмин В.А. (ГГИ); Малинин В.Н. (РГГМУ); Мамаева М.А. (ГГИ); Плинк Н.Л. (РГГМУ); Рябченко В.А. (ИО РАН); Пака В.Т. (ИО РАН); Пелиновский Е.Н. (ИПФ РАН); Угрюмов А.И. (РГГМУ); Филатов Н.Н. (ИВПС КарНЦ РАН); Цепелев В.Ю. (Северо-Западное УГМС); Шилин М.Б. (РГГМУ).

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  
2018

Proceedings of the II Russian national conference “Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives” – SPb.: HIMIZDAT, 2018. – 753 p.

ISBN 978-5-93808-326-4

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 researchers and engineers, specialized in hydrometeorology and ecology. This book is useful for students and postgraduates of relevant specialties.

**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
- Committee for Science and Higher Education
- St. Petersburg Maritime Council

*The conference is held with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the project No. 18-05-20115 G*

**Program committee of the Conference:**

Chairman: Rodionov A.A. (IO RAS). Vice-chairman: Zimin A.V. (IO RAS).

Program Committee Members: Ashik I.M. (AARI), Bobilev L.P. (NIERSC), Eremina T.R. (RSHU), Zacepin A.G. (IO RAS), Gricenko V.A. (IKBFU), Kuzmin V.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 AHM), Shilin M.B. (RSHU).

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абрамов Д.В., Никифоровский А.А.</i> К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	25
<i>Аверкиев А.С., Дубравин В.Ф.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСРЕДНЕНИЯ НА РАСЧЕТ ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	28
<i>Аверкиев А.С., Рыбалко А.Е., Лукьянов С.В., Новиков М.О.</i> ОЦЕНКА СКОРОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ.....	33
<i>Агафонова С.А., Михайлюкова П.Г., Фролова Н.Л.</i> МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РЕКАХ В РАЙОНЕ Г. ВЕЛИКИЙ УСТЮГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	37
<i>Акселевич В.И., Мазуров Г.И., Хайруллин К.Ш.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАЛИМЕТРИИ ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ УГРОЗ.....	41
<i>Александров В.Я.</i> О СВЯЗИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В АНТАРКТИКЕ С ОСОБЕННОСТЯМИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ.....	45
<i>Алояртов Р.М., Федоров А.М., Белоненко Т.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ.....	49
<i>Амаро Медина Д.Р.</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	52
<i>Анискина О.Г., Берегалов Д.С.</i> ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ДЛЯ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ WRF-ARW.....	55
<i>Атаджанова О.А., Зимин А.В., Коник А.А., Свергун Е.И., Романенков Д.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ БАРЕНЦЕВА, КАРСКОГО И БЕЛОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	58
<i>Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ИЛИ ВЫШЕ И НИЖЕ КАПЧАГАЙСКОЙ ПЛОТИНЫ ПО МЕСЯЦАМ И НА ГОД.....	63
<i>Бадюков Д.Д., Чевель К.А., Данирова Г.А., Казанов Е.В.</i> ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТРАНСПОРТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	67
<i>Байдаков Г.А., Вдовин М.И., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.</i> ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА И ТЕПЛА В ПОГРАНИЧНОМ ВОЗДУШНОМ СЛОЕ В ПРИСУТСТВИИ ПЕНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ.....	71
<i>Байкова И.М., Кострюкова О.Н.</i> ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В УНИВЕРСИТЕТЕ.....	75
<i>Банищикова Л.С., Банищikov А.А.</i> ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДООХРАННЫХ ЗОН С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА.....	79
<i>Бардина Т.В., Бардина В.И.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЧВОГРУНТОВ КАРЬЕРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОДОСБОРА Р. НЕВЫ МЕТОДАМИ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ.....	83
<i>Баринова Г.М., Краснов Е.В., Романчук А.Ю., Рябкова О.И., Ушакова Л.О.</i> КОНФЛИКТЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИМОРСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ: АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРОБЛЕМ.....	87
<i>Белоненко Т.В., Колдунов А.В.</i> ТРЕНДЫ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И МОДЕЛЬНЫМ ДАННЫМ.....	91
<i>Беязо В.А., Дроздов В.В., Дмитриев А.А.</i> КОСМИКО-ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ РИТМИКА АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЗЕМЛИ И ЕЕ УЧЕТ В ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗАХ КЛИМАТА И ПОГОДЫ.....	94

<i>Беспалова Л.А., Авакова А.Г., Цыганкова А.Е.</i> ДИНАМИКА ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД.....	97
<i>Бойцов В.Д., Педченко А.П.</i> ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ КЛИМАТ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ ХХ – НАЧАЛЕ ХХІ СТОЛЕТИЙ.....	101
<i>Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А.</i> МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ: ТЕНДЕНЦИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА.....	105
<i>Бородулина Г.С., Токарев И.В., Левичев М.А.</i> ИЗОТОПНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА БАСЕЙНА РЕКИ НЕГЛИНКА (КАРЕЛИЯ).....	109
<i>Буковский М.Е., Дудник С.Н., Семенова А.В., Бессонова И.В.</i> КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ И МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКЕ ЦНЕ У Г. ТАМБОВА.....	113
<i>Булгаков К.Ю., Чаликов Д.В.</i> СТРУКТУРА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД ВОЛНАМИ.....	117
<i>Быкова С.Г., Мамаева М.А.</i> ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ.....	121
<i>Вареник А.В., Коновалов С.К., Метик-Дионова В.В.</i> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....	124
<i>Вареник А.В., Калинин Д.В.</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЫЛЕВОГО ПЕРЕНОСА НА ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЧЕРНОГО МОРЯ..	128
<i>Венцюлис Л.С., Воронов Н.В., Быстрова Н.Ю.</i> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ.....	133
<i>Владимирова О.М., Еремينا Т.Р., Исаев А.В., Рябченко В.А., Савчук О.П.</i> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОТОКОВ ФОСФОРА В ВОДНОЙ СРЕДЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	137
<i>Войнов Г.Н., Пискун А.А.</i> ПРИЛИВНЫЕ И СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ У МЫСА КАМЕННОГО (ОБСКАЯ ГУБА).....	140
<i>Волкова А.А., Гриценко В.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ С ПОВЕРХНОСТИ КОНЕЧНОГО ОБЪЕМА ВОДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПЛАВУЧЕСТЬЮ.....	144
<i>Воскресенский К.С., Гудошников Ю.П., Андреев О.М.</i> ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕДОВОГО ОСТРОВА.....	148
<i>Второва А.И., Мякишева Н.В., Горбатенко А.А.</i> МЕЖГОДОВОЕ КОЛЕБАНИЕ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО РЕЧНОГО СТОКА ВЕРХОВЬЯ Р. УФА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	151
<i>Второва А.И., Горбатенко А.А., Мякишева Н.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ РЕК ЮЖНОГО УРАЛА В ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	156
<i>Вязилова А.Е., Алексеев Г.В., Смирнов А.В., Пнюшков А.В.</i> ВЛИЯНИЕ ЛЕТНИХ ПОТЕПЛЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРЕСНЫХ ВОД В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ.....	161
<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.....	165
<i>Георгиевский В.Ю.</i> ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА.....	169
<i>Глок Н.И., Алексеев Г.В., Вязилова А.Е., Смирнов А.В.</i> МЕТОД ПРОГНОЗА ЛЕДОВИТОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ОТ НЕСКОЛЬКИХ МЕСЯЦЕВ ДО НЕСКОЛЬКИХ ЛЕТ.....	172

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Малахова Ю.А. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МОРЕХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЙОННОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ УРОВНЕ УПРАВЛЕНИЯ.....	176
Голованева О.В., Суботялов М.А. ИХТИОФАУНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ: ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМАТИКИ.....	180
Головин Н.В., Кубышкин Н.В., Рудаков В.В. АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБСКОЙ ГУБЫ ПО СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	183
Горошкова Н.И., Стриженок А.В. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ЛЕНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА.....	184
Горшкова О.М., Чевель К.А., Бадюков Д.Д. ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НЕФТЕПРОДУКТАМИ И АНИОНАКТИВНЫМИ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ.....	189
Гребнева Е.А., Полонский А.Б. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ PH ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ С СЕРЕДИНЫ ХХ СТОЛЕТИЯ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ.....	192
Гречушников М.Г., Ретина И.А., Казанцев В.С., Кривенок Л.А., Артамонов А.Ю., Ломов В.А. ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДОЛИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ВНУТРИГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭМИССИИ МЕТАНА С ЕГО ПОВЕРХНОСТИ.....	196
Григоров Н.О., Светачёва А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	200
Григоров Н.О. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ПРЕПОДАВАНИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН.....	202
Григоров Н.О., Никитина В.С. ИНЕРЦИОННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ РОТОАНЕМОМЕТРОВ.....	204
Гузенко Р.Б., Харитонов В.В., Миронов Е.У. ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ТОРОСОВ И СТАМУХ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ.....	206
Гуревич Е.В., Марков М.Л. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ В Г.ТОСНО.....	209
Густоев Д.В. ОБ ЭФФЕКТАХ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРЕНДА ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ВРЕМЕННОГО ХОДА УРОВНЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ).....	212
Даньшина А.В. ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА СТРУКТУРУ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ.....	217
Денисов В.В. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ КАДАСТРОВОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИБРЕЖЬЯ ЗАПАДНОГО МУРМАНА (АКВАКУЛЬТУРА).....	220
Джалилов А.Г. МЕЗОПЛАНКТОН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ.....	224
Дмитриев В.В., Сергеев Ю.Н., Кулеш В.П., Третьяков В.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА СКОРОСТИ МАССООБМЕНА В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ.....	228
Драбенко Д.В., Виноградов Р.А., Андреев О.М., Орлова Е.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ: СПЕЦИАЛЬНОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.....	233
Дроздов В.В., Поляков Ю.Н., Косенко А.В. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОПОРНЫХ ЗОНАХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ.....	235
Дубровская К.А., Литова Т.Э., Матвеев М.С. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	239



<i>Дымент Л.Н., Лосев С.М.</i> МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ДРЕЙФА ЛЬДА В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ.....	242
<i>Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.</i> ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ХРЕБТОВ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ.....	246
<i>Еремеева А.О., Беляков В.П.</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ В РАЙОНЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАБЕРЕЖНЫХ «МФК ЛАХТА ЦЕНТР».....	249
<i>Еремина Т.Р., Ершова А.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ МОРСКОГО МУСОРА В РЕГИОНЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА.....	253
<i>Еремина Т.Р., Васечкина Е.Ф.</i> БАЗОВЫЕ КАФЕДРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МОРСКИХ НАУК.....	257
<i>Есаулов А.С., Белякова О.И., Бурковский И.В., Цыганов А.Н., Мазей Ю.А.</i> ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АССОЦИАЦИЙ КАРИОРЕЛИКТИД (CIPHONORA) НА ПЕСЧАНОЙ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ.....	259
<i>Ефимов В.А., Чалов С.Р., Тимофеев И.В., Кошелева Н.Е.</i> ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	262
<i>Ефимова Л.Е., Ефимов В.А., Чалов С.Р.</i> ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ: СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ.....	266
<i>Жигульский В.А., Максимова Е.Ю.</i> МЕЛИОРАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ РАЗЛИЧНОЙ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЦЕННОСТИ.....	270
<i>Заболотников Г.В.</i> НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	274
<i>Завьялов П.О.</i> ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ РЕЧНОГО ПЛЮМА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.....	278
<i>Задонская О.В., Алексеев Л.П.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕК СЕСТРА И ЧЕРНАЯ И ИСТОЧНИКИ ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	281
<i>Зацепин А.Г., Арашкевич Е.Г., Кубряков А.А., Силкин В.А., Станичный С.В.</i> ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛЕТНЕ-ОСЕННЕЕ ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ЧЕРНОМ МОРЕ.....	285
<i>Здоровеннов Р.Э., Кураев А.Р.</i> ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ ОЗЕРАХ.....	287
<i>Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э., Богданов С.Р., Волков С.Ю., Гавриленко Г.Г., Пальшин Н.И., Ефремова Т.В., Тержевик А.Ю.</i> ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ ОЗЕРАХ.....	291
<i>Зинченко В.А., Колдунов А.В., Гордеева С.М.</i> МЕЗОМАСШТАБНАЯ ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА НОРВЕЖСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ.....	295
<i>Зув В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А., Харламова Н.Ф.</i> КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА Р. МАЙМА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) В ПЕРИОД С 1940-2016 ГГ.....	299
<i>Иванов В.В., Головин П.Н.</i> МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕГО СЛОЯ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА.....	303
<i>Игнатьева Е.С., Яковлева Д.А., Шупило А.И., Салюк П.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, РЕГИСТРИРУЕМОГО СО СПУТНИКОВ, В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ В АВГУСТЕ 2018 Г.....	307
<i>Ионов В.В., Май Р.И., Пряхина Г.В., Рубченя А.В., Смагин Р.Е.</i> ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЛИВНОГО РЕЖИМА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ КЕРЕТЬ, КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ.....	311

<i>Иошина А.Р., Хартиев С.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ГРОЗ И ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ НА АЗОВСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ.....	315
<i>Кайстренко В.М., Таниока Ю., Чой Б.Х., Ли Х.Дж.</i> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ ЯПОНСКОГО (ВОСТОЧНОГО) МОРЯ.....	319
<i>Калавиччи К.А., Баимачников И.Л.</i> МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНИЧЕСКИХ И АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.....	323
<i>Калинин В.Г., Механошина Е.В., Богданова К.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИГODOVОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА РЕК ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В МНОГОВОДНЫЕ И МАЛОВОДНЫЕ ГОДЫ.....	327
<i>Калугин А.С.</i> СЕЗОННЫЕ И ГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАССЕЙНАХ РЕК АМУР И ЛЕНА В XXI ВЕКЕ.....	331
<i>Калюжный И.Л., Лавров С.А.</i> ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗИМНЕГО СТОКА РАВНИННЫХ РЕК ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА.....	335
<i>Католиков В.М., Католикова Н.И., Чубарова А.В.</i> ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕК САХАЛИНА.....	339
<i>Килесо А.В., Грищенко В.А.</i> ОРОГРАФИЧЕСКИЕ РИСКИ ДОННОЙ ТОПОГРАФИИ: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ДЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ.....	344
<i>Клеванный К.А., Еремеева А.О.</i> ПРОГНОЗ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АКВАТОРИЮ НЕВСКОЙ ГУБЫ И ТЕРРИТОРИЮ В РАЙОНЕ «МФК ЛАХТА-ЦЕНТР».....	347
<i>Клименко Д.Е., Остахова А.Л.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРОНИКНОВЕНИЮ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ ПОД ПОЛОГ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ.....	351
<i>Колупаева А.Д., Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Виноградова Т.А.</i> МЕТОДЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПАВОДКОВ В БАССЕЙНАХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	355
<i>Коннова С.А., Данилушкина А.А., Фахруллина Г.И., Фахруллин Р.Ф.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ БАКТЕРИЙ <i>A. VORKUMENSIS</i> В БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ...	358
<i>Коновалов А.М., Батурова Г.В.</i> ПОДХОДЫ К РАНЖИРОВАНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ДОЛГОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ В АРКТИКЕ.....	362
<i>Кононова Н.К., Шабанов П.А., Иванов В.В.</i> АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ПЕРВОМ СИНОПТИЧЕСКОМ РАЙОНЕ ПО ТИПИЗАЦИЯМ Б.Л. ДЗЕРДЗЕЕВСКОГО И Г.Я. ВАНГЕНГЕЙМА.....	366
<i>Костарев А.Д.</i> МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.....	370
<i>Кузнецова Д.А., Баимачников И.Л.</i> МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТЛАНТИЧЕСКОЙ ВЕТВИ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ.....	374
<i>Кузнецова М.Н., Плинк Н.Л.</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТА НАНОСОВ.....	377
<i>Курочкина Л.С., Журавлев С.А.</i> ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА ФИНСКОГО ЗАЛИВА.....	381
<i>Кучеренко О.Е., Аксянов Т.М., Яковлева Т.И.</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА.....	385
<i>Кучерявченко У.Д.</i> АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «ТОМСКНЕФТЬ» ВНК.....	389

<i>Лавров С.А., Калужный И.Л.</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СТОК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ЕГО ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ.....	391
<i>Лебедева Л.С.</i> ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЧНОГО СТОКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ.....	396
<i>Липатов М.А., Май Р.И.</i> ТРЕНДЫ ВЕКТОРОВ ДРЕЙФА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ.....	400
<i>Литина Е.Н., Захарчук Е.А., Тихонова Н.А.</i> ДИНАМИКА ГИПОКСИЙНЫХ ЗОН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ НА РУБЕЖЕ XX и XXI ВЕКОВ.....	404
<i>Магрицкий Д.В., Юмина Н.М.</i> НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНАХ СТЕПНЫХ РЕК ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ.....	408
<i>Мазуров Г.И., Тарабукин И.А., Акселевич В.И.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В АТМОСФЕРЕ.....	412
<i>Май Р.И., Павлова Е.А., Тюгалева А.И., Хотченков С.В.</i> РЕГРЕССИОННЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ АЙСБЕРГОВ.....	415
<i>Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М.</i> ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ И КЛИМАТ.....	419
<i>Малинин В.Н., Вайновский П.А., Митина Ю.В.</i> О ПОТЕПЛЕНИИ АРКТИКИ 20-40-Х ГОДОВ.....	422
<i>Малышева А.А., Колдунов А.В., Белоненко Т.В.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ АГУЛЬЯССКОГО ТЕЧЕНИЯ НА МЕРИДИОНАЛЬНУЮ ТЕРМОХАЛИННУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ.....	427
<i>Мамаева М.А.</i> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	432
<i>Мартьянов С.Д., Дворников А.Ю., Рябченко В.А., Сеин Д.В., Гордеева С.М.</i> ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	436
<i>Минкина А.В.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ МУЛЯНКИ ГОРОДА ПЕРМИ.....	440
<i>Мискевич И.В.</i> ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВ РЕК ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕШСКОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ.....	444
<i>Михайлова А.С., Василевская Л. Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА.....	448
<i>Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Абшаев А.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА И ДИАГНОЗА МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ МНОГОЯЧЕЙКОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАТОРА.....	452
<i>Михальцева С.В., Бычкова И.А., Смирнов В.Г., Буткевич С.Р.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА.....	456
<i>Молодцова А.С., Молодцов Д.В.</i> РЕАКЦИЯ ДВУХСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА <i>MASOMAVALTHISA</i> НА ПОВЫШЕННУЮ ПЛОТНОСТЬ ПОСЕЛЕНИЯ.....	460
<i>Молодыхина С.В., Май Р.И.</i> РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА КАРСКОГО МОРЯ, ВЫЧИСЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ВЕКТОРНЫХ ЛЕДОВЫХ КАРТ ФОРМАТА SIGRID-3.....	464
<i>Мханна А.И.Н., Руденко С.В., Озерова Н.А.</i> МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ КРУПНЫХ ГОРОДОВ, НАПРИМЕР, ГОРОД САНКТ ПЕТЕРБУРГ...	468
<i>Наумов Л.М., Гордеева С.М., Белоненко Т.В.</i> ВЕРИФИКАЦИЯ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКОГО ПРОДУКТА DT18 В ПРИПОЛЯРНОМ РЕГИОНЕ.....	473

<i>Немировская Л.Г.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В РЕГИОНАЛЬНОМ АСПЕКТЕ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УВЛАЖНЕНИЯ (ОПРЕДЕЛЁННЫХ ПО НЕСКОЛЬКИМ КРИТЕРИЯМ), НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАССИВОВ ИХ ДАННЫХ, ДЛЯ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	477
<i>Немчинов Е.О.</i> РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА НЕИЗУЧЕННЫХ РЕК ЮГА СИБИРИ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ.....	482
<i>Нестерова Н.В., Макарьева О.М.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК ЗОНЫ МЕРЗЛОТЫ.....	485
<i>Николаева Е.А., Широкова В.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ДУБНЫ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	489
<i>Новикова А.М., Полонский А.Б.</i> ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЁРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД С 1951 ПО 2017 ГГ.....	493
<i>Новикова Ю.С., Башмачников И.Л.</i> СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ.....	496
<i>Новоселова Е.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА (ПРИПАЯ) ВО ФЬОРДАХ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА.....	499
<i>Орехова Н.А., Коновалов С.К.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ЗОН ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА И СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	503
<i>Павлова Е.А., Миронов Е.У.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЙСБЕРГОВ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ И ВЕРТОЛЁТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	507
<i>Паничев В.В., Жигульский В.А., Бульшиева М.М., Шуйский В.Ф., Максимова Е.Ю., Бульшиева А.М.</i> НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОВ НЕВСКОЙ ГУБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ.....	511
<i>Педченко А.П., Бойцов В.Д.</i> ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 1900-2017 ГГ.....	516
<i>Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В.</i> МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ВОЛН-УБИЙЦ.....	520
<i>Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Николаев А.А., Исмагилов Н.В., Аухадеев Т.Р., Мягков М.А., Мустафина А.Б.</i> КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ.....	524
<i>Петриченко С.А., Новицкий М.А.</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПОГРАНИЧНОГО И ПРИЗЕМНОГО СЛОЕВ В МОДЕЛИ WRF ДЛЯ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ.....	528
<i>Пискун А.А.</i> РЕЖИМ УРОВНЕЙ ВОДЫ В ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБАХ.....	532
<i>Платонова Е.В., Михальцева С.В., Бычкова И.А., Смирнов В.Г., Степанов В.В., Старцев Л.А.</i> ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ АЙСБЕРГОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В МОРЯХ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ.....	536
<i>Порубаев В.С., Миронов Е.У., Мочнова Л.П.</i> ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В ПОСЛЕДНИЕ ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ.....	540
<i>Ракутин М.Ю., Капустин Т.Н.</i> РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАДРОКОПТЕРА.....	543
<i>Рахуба А.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ.....	547
<i>Рачкова А.Н., Секисов Н.Л., Дембский А.Д., Гаман Л.В.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИКЕ.....	551
<i>Рожкова-Тимина И.О.</i> ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОГО РЕЖИМА В ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМАХ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОБИ.....	555

<i>Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г., Князева М.А.</i> ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДКА МУРМАНСКОГО АРКТИЧЕСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА И КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН – НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ХАБ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА.....	558
<i>Рыбалко А.Е.</i> НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ: ПОСЛЕСЛОВИЕ К ГОДУ ФИНСКОГО ЗАЛИВА-2014.....	562
<i>Самко Е.В., Новиков Ю.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫСЛА САЙРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АВГУСТЕ-НОЯБРЕ 2002-2014 ГГ.....	565
<i>Сандалюк Н.В., Белоненко Т.В.</i> ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ ПО ДАННЫМ ГЛАЙДЕРОВ.....	569
<i>Саноцкая Н.А., Звезгинцев Д.И., Головатских М.А.</i> ОСОБЕННОСТИ УСТЬЕВЫХ ПРОЦЕССОВ И ФАКТОРОВ, ИХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ, В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ЭСТУАРНОГО ТИПА.....	573
<i>Сапунов В.Б.</i> ТРАДИЦИОННЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ.....	576
<i>Селезнева А.В., Беспалова К.В., Селезнев В.А.</i> ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МАЛОВОДЬЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ Р. ВОЛГИ.....	580
<i>Серых И.В., Костяной А.Г.</i> КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.....	584
<i>Соботюк Д.И., Замарин Г.А., Драбенко Д.В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЁМКИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.....	588
<i>Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терёшина М.А., Вилимович Е.Н.</i> СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА ГЛУБОКОГО.....	590
<i>Соломонова И.В.</i> СТАТИСТИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В РЯДАХ ГОДОВОГО СТОКА РЕК.....	594
<i>Стокоз А.К., Плинк Н.Л.</i> МЕЛКОМАСШТАБНОЕ ЦУНАМИРАЙОНИРОВАНИЕ В РАЙОНЕ ПГТ. ЮЖНО-КУРИЛЬСК (О. КУНАШИР).....	598
<i>Стрежалковская В.Р., Поталова Е.Ю.</i> АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ВЛАДИВОСТОКА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА.....	601
<i>Стригунова Я.В., Булгаков К.Ю., Еремина А.В.</i> ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ВОЛН К ПАРАМЕТРИЗАЦИЯМ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ.....	605
<i>Сумачев А.Э.</i> ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ.....	609
<i>Сухачев В.Н., Захарчук Е.А., Тихонова Н.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В СИСТЕМЕ БАЛТИЙСКОГО И СЕВЕРНОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	613
<i>Терехова Р.А.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ ВОДНОГО КАДАСТРА ПО УСТЬЕВЫМ ОБЛАСТЯМ РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ.....	617
<i>Терешина М.А., Ерина О.Н., Вилимович Е.А., Соколов Д.И., Коровчинский Н.М.</i> СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ОЗЕРА.....	620
<i>Тимофеева А.Б., Хотченков С.В., Юлин А.В.</i> КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛИЧЕСТВА СПЛОЧЕННЫХ ЛЬДОВ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В ПЕРИОД НАВИГАЦИИ.....	624
<i>Тимофеева Л.А., Янковская О.А.</i> УЧЁТ ГЕНЕЗИСА СТОКА ВОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СТОКА РАСТВОРЁННЫХ ВЕЩЕСТВ.....	628

<i>Тихонова Н.А., Гусев А.В., Захарчук Е.А., Сухачев В.Н.</i> ЧИСЛЕННОЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШОГО БАЛТИЙСКОГО ЗАТОКА.....	632
<i>Толстиков А.В., Чернов И.А.</i> ЧИСЛЕННОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В БЕЛОМ МОРЕ.....	636
<i>Травкин В.С., Федоров А.М., Белоненко Т.В.</i> ГЛУБОКАЯ КОНВЕКЦИЯ В МОРЕ ЛАБРАДОР ПО ДАННЫМ МАССИВА ARMOR 3D.....	639
<i>Третьяков В.Ю., Фролов С.В., Сарафанов М.И.</i> КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ПО МАРШРУТУ ОБСКАЯ ГУБА – БЕРИНГОВ ПРОЛИВ.....	643
<i>Третьяков М.В., Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Шикломанов А.И.</i> МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ВОДОСБОРАХ РЕК НА АБИОТИЧЕСКУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ЭКОСИСТЕМЫ ОБСКО-ТАЗОВСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ.....	647
<i>Трубина М.А., Ефименко Н.В., Поволоцкая Н.П., Товбушенко Т.М.</i> ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КУРОРТНОЙ БИОКЛИМАТОЛОГИИ В РЕГИОНЕ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД.....	651
<i>Тюгалева А.И., Май Р.И.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА.....	655
<i>Ушаков М.В.</i> ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОМЕРЗАНИЯ РЕК ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ.....	659
<i>Фахруллина Г.И., Нигаматзянова Л.Р., Хакимова Э.И., Иимухаметов И.Р., Фахруллин Р.Ф.</i> СИМБИОЗ СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД CAENORHABDITIS ELEGANS С БАКТЕРИЯМИ-НЕФТЕДЕСТРУКТОРАМИ ALCANIVORAX BORKUMENSIS В СИСТЕМЕ “ХОЗЯИН-МИКРОФЛОРА”.....	661
<i>Федоров А.М., Белоненко Т.В.</i> ГЛУБОКАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ.....	663
<i>Федорова И.В., Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э.</i> ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ.....	665
<i>Филатов Н.Н., Мениуткин В.В.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И МОДЕЛИРОВАНИИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОЕМОВ.....	669
<i>Цепелев В.Ю., Анискина О.Г., Лукьянова М.В.</i> ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ВТОРОГО БЛОКА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ Г. СОСНОВЫЙ БОР.....	673
<i>Цыганов А.Н., Малышева Е.А., Бабешко К.В., Есаулов А.С., Мазей Ю.А.</i> ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАКОВИННЫХ АМЕБВ ААПА-КОМПЛЕКСАХ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ.....	674
<i>Чанцев В.Ю., Гудошников Ю.П., Скутин А.А., Плешанов Д.А.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОБСКОЙ ГУБЫ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ.....	677
<i>Черемных А.В., Скорик Я.В., Сабанчиева Д.Х., Подгайский Э.В.</i> ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В РОССИЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: НАПРАВЛЕНИЯ, СИСТЕМЫ, ИНСТРУМЕНТЫ.....	671
<i>Чернова М.А., Кузьмин К.А.</i> УТОЧНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ БИТЮГ.....	685
<i>Шаночкин С.В., Гайдукова Е.В., Викторова Н.В., Баймаганбетов А.</i> МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ.....	688
<i>Шаратунова М.В., Иванов В.В.</i> ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД.....	692

<i>Шарина Ю.В.</i> ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ РЕЧНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА (НА ПРИМЕРЕ ГП Р. УРАЛ – Г. ОРЕНБУРГ).....	697
<i>Шаронов А.Ю., Мамаева М.А.</i> ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ.....	701
<i>Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В.</i> РЕЖИМ ОХОТСКОГО АНТИЦИКЛОНА И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЭКСТРЕМУМЫ В КУРИЛО-ХОККАЙДСКОМ РЕГИОНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1950-2017 ГГ.....	705
<i>Шейкин И.Б.</i> ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЗОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТЕОДАНЫХ.....	709
<i>Шелутко В.А., Урусова Е.С.</i> ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЫБОРОЧНЫХ ОЦЕНОК ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ НАБЛЮДЕНИЙ.....	713
<i>Шеманаев К.В., Кузьмин В.А., Бородин Е.С., Мамаева М.А.</i> ФОНОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ.....	715
<i>Шестакова Е.Н.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ.....	719
<i>Шилин М.Б., Васильев Ю.С., Масликов В.И., Чусов А.Н.</i> УПРАВЛЕНИЕ ПЛАВАЮЩИМ МУСОРОМ В РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ С ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ.....	723
<i>Шмакова М.В.</i> РАСЧЕТЫ РЕЧНЫХ НАНОСОВ.....	726
<i>Штанников А.В., Муждаба О.В.</i> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ..	730
<i>Яговкина Е.А., Хаймина О.В., Кубышкин Н.В., Смирнов К.Г., Гудошников Ю.П.</i> НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ У МЫСА КАМЕННЫЙ (ОБСКАЯ ГУБА КАРСКОГО МОРЯ). ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗА.....	734
<i>Яковлева Д.А., Башмачников И.Л.</i> ТРЕНДЫ И ЦИКЛИЧНОСТИ ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ И ПРЭСНОЙ ВОДЫ В КУПОЛЕ ХОЛОДНЫХ ВОД МОРЯ ЛАБРАДОР.....	738
<i>Яковлева Т.И., Шарина Ю.В.</i> КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКИХ РУСЛОВЫХ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ ДЛЯ ЗАМЫКАЮЩИХ СТВОРОВ ПРИТОКОВ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТВОРА Г. КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ.....	742
<i>Янгличева Ю.Р.</i> ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ В Г. КАЗАНИ.....	746
<i>Ячменова М.В.</i> ОПЫТ ФГБУ «СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ УГМС» В ОБСЛУЖИВАНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ.....	749

CONTENT

<i>Abramov D.V., Nikiforovsky A.A.</i> TO THE QUESTION OF THE CRITERIA OF QUALITY OF HYDROLOGICAL MODELING.....	25
<i>Averkhev A.S., Dubravin V.F.</i> ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE AVERAGING ON EVAPORATION CALCULATION BY THE DATA OF URGENT OBSERVATIONS.....	28
<i>Averkiev A.S., Rybalko A.E., Lukyanov S.V., Novikov M.O.</i> ESTIMATION OF SEDIMENTATION RATE IN THE GULF OF FINLAND.....	33
<i>Agafonova S.A., Mikhaylyukova P.G., Frolova N.L.</i> RIVER ICE MONITORING IN THE DISTRICT OF VELIKY USTYUG USING RADAR AND OPTICAL SATELLITE IMAGES.....	37
<i>Akselevich V.I., Mazurov G.I., Khairullin K.S.</i> USE OF A QUALIMETRY FOR THE RUNKING OF NATURAL THREATS.....	41
<i>Alexandrov V.Ya.</i> ON THE CONNECTION OF ICE FORMATION IN ANTARCTICA WITH THE PECULIARITIES OF ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE SOUTHERN POLAR REGION.....	45
<i>Aloiarov R.M., Fedorov A.M., Belonenko T.V.</i> A STUDY OF STERIC LEVEL OSCILLATION IN THE NORTHWESTERN PART OF THE PACIFIC: SATELLITE DATA ANALYSIS.....	49
<i>Amaro Medina D.R.</i> INTEGRAL ASSESSMENT OF ECOLOGICAL WELL-BEING OF WATER OBJECTS.....	52
<i>Aniskina O.G., Beregalov D.S.</i> HYDRODYNAMIC WEATHER FORECAST BASED ON WRF-ARW MODEL FOR KIROVSKAYA OBLAST.....	55
<i>Atadzhanova A.A., Zimin A.V., Konik A.A., Svergun E.I., Romanenkov D.A.</i> FEATURES OF SURFACE MANIFESTATIONS OF SUBMESOSCALE EDDIES IN THE BARENTS, KARA AND WHITE SEAS USING SATELLITE DATA.....	58
<i>Babkin A.V., Babkin V.I., Madibekov A.S., Musakulkyzy A., Cherednichenko A.V.</i> FORECASTING OF THE RUNOFF OF THE ILI RIVER UPPER AND LOWER KAPCHAGAYSKAYA DAM ON MONTHS AND FOR A YEAR.....	63
<i>Badyukov D.D., Chevel K.A., Danirova G.A., Kazanov E.V.</i> ECOLOGICAL STUDIES OF AQUATIC ECOSYSTEMS USING AN ALTERNATIVE MODE OF TRANSPORT.....	67
<i>Baydakov G.A., Vdovin M.I., Sergeev D.A., Troitskaya Yu.I.</i> LABORATORY INVESTIGATION OF PULSE AND HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE BOUNDARY LAYER IN THE PRESENCE OF FOAM ON THE SURFACE WATER.....	71
<i>Baykova I.M., Kostryukova O.N.</i> CLIMATE CHANGE AND THE MODERN VIEW ON ECOLOGICAL EDUCATION AT THE UNIVERSITY.....	75
<i>Banshchikova L.S., Banshchikov A.A.</i> REAL-TIME MONITORING OF WATER PROTECTION ZONES USING UAV.....	79
<i>Bardina T.V., Bardina V.I.</i> ENVIRONMENTAL CONTROL OF SOILS GROWTHS OF CAREERS ON THE TERRITORY OF THE CLEANAGE OF THE NEVA RIVER BY METHODS OF PHYTOTESTING.....	83
<i>Barinova G.M., Krasnov E.V., Romanchuk A.Yu., Ryabkova O.I., Ushakova L.O.</i> CONFLICTS OF NATURE USE IN COASTAL REGIONS OF RUSSIA: ANALYSIS OF KEY PROBLEMS.....	87
<i>Belonenko T.V., Koldunov A.V.</i> TRENDS OF LEVEL FLUCTUATIONS IN NORTHERN ATLANTICS BY SATELLITE AND MODEL DATA.....	91
<i>Belyazo V.A., Drozdov V.V., Dmitriev A.A.</i> EARTH'S SPACE- AND GEOPHYSICAL ATMOSPHERICAL CIRCULATION RYTHM AND ITS ROLE IN LONG-TERM WEATHER AND CLIMATE PREDICTION.....	94



<i>Bespalova L.A., Avakova A.G., Tsygankova A.E.</i> DYNAMICS OF HAZARDOUS WEATHER PHENOMENA OF THE AZOVA-BLACK SEA COAST IN RUSSIA IN MODERN TIMES.....	97
<i>Boitsov V.D., Pedchenko A.P.</i> HYDROLOGICAL CLIMATE OF LAKE ILMEN IN THE SECOND HALF OF XX – BEGINNING OF XXI CENTURIES.....	101
<i>Bolgov M.V., Korobkina E.A., Filippova I.A.</i> THE MINIMAL RUNOFF ON EUROPEAN PART OF RUSSIA: TRENDS AND METHODS OF VALUE UNDER OF CHANGING CLIMATE.....	105
<i>Borodulina G.S., Tokarev I.V., Levichev M.A.</i> ISOTOPIC ESTIMATION OF THE WATER BALANCE COMPOSITION ON THE NEGLINKA RIVER BASIN (KARELIA).....	109
<i>Bukovskiy M.E., Dudnik S.N., Semenova A.V., Bessonova I.V.</i> SHORT-TERM FORECAST OF FLOODING AND ITS MAXIMUS LEVEL ON THE TSNA RIVER NEAR TAMBOV....	113
<i>Bulgakov K.Yu., Chalikov D.V.</i> STRUCTURE OF THE ATMOSHERE BOUNDARY LAYER ABOVE WAVES.....	117
<i>Bykova S.G., Mamaeva M.A.</i> EDUCATION AND TRAINING OF PERSONNEL FOR THE METEOROLOGICAL PROVISION OF CIVIL AVIATION.....	121
<i>Varenik A.V., Kononov S.K., Metik-Diyunova V.V.</i> QUANTIFYING NUTRIENT'S FLUXES WITH ATMOSPHERIC DEPOSITIONS IN COASTAL AREAS OF THE CRIMEAN PENINSULA.....	124
<i>Varenik A.V., Kalinskaya D.V.</i> IMPACT OF DUST TRANSPORT ON THE NUTRIENTS INPUT ON THE BLACK SEA SURFACE.....	128
<i>Ventsyulis L.S., Voronov N.V., Bystrova N.Yu.</i> ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS.....	133
<i>Vladimirova O.M., Eremina T.R., Isaev A.V., Ryabchenko V.A., Savchuk O.P.</i> QUANTITATIVE EVALUATION OF THE PHOSPHORUS FLOWS IN PELAGIC SYSTEM OF THE GULF OF FINLAND BASED ON THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING.....	137
<i>Voinov G.N., Piskun A.A.</i> TIDAL AND STORM SURGES LEVELS AT CAPE KAMENNY (GULF OF OB).....	140
<i>Volkova A.A., Gritsenko V.A.</i> FEATURES OF NEAR SURFACE CIRCULATION WHEN SUBMITTING FROM THE SURFACE OF THE FINAL VOLUME OF WATER WITH NEGATIVE FLOATING.....	144
<i>Voskresenskii K.S., Gudoshnikov Y.P., Andreev O.M.</i> ESTIMATION OF THE LIFETIME OF THE ARTIFICIAL ICE ISLAND.....	148
<i>Vtorova A.I., Myakisheva N.V., Gorbatenko G.N.</i> THE INTERANNUAL FLUCTUATION OF THE REGULATED RIVER FLOW OF THE UPPER REACHES OF THE RIVER UFA IN MODERN CONDITIONS.....	151
<i>Vtorova A.I., Gorbatenko A.A., Myakisheva N.V.</i> PECULIARITIES OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE MOUNTAIN RIVERS OF THE SOUTHERN URALS IN TECHNOGENOUSLY BREACHED CONDITIONS.....	156
<i>Vyazilova A.E., Alekseev A.E., Smirnov A.V., Pnyushkov A.V.</i> IMPACT OF SUMMER WARMINGS ON FRESH WATER CONTENT IN ARCTIC OCEAN.....	161
<i>Gavrilenko G.G., Zdorovennova G.E., Zdorovennov R.E., Volkov S.Yu., Efremova T.V., Palshin N.I., Bogdanov S.R., Terzhevnik A.Yu.</i> SPATIAL INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE FIELD IN ICE-COVERED LAKES.....	165
<i>Georgievsky V.Yu.</i> WATER RESOURCES OF THE RUSSIAN FEDERATION UNDER CHANGING CLIMATE.....	169
<i>Glok N.I., Alekseev G.V., Vyasilova A.E., Smirnov A.V.</i> THE FORECAST METHOD FOR BARENTS SEA ICE FROM MULTIPLE MONTHS TO SEVERAL YEARS.....	172
<i>Gogoberidze G.G., Rumiantceva E.A., Malakhova Yu.A.</i> ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT IN THE MODEL OF STRATEGIC SPATIAL PLANNING OF MARITIME ACTIVITIES AT DISTRICT SPATIAL LEVEL.....	176

<i>Golovaneva O.V., Subotyalov M.A.</i> FISH FAUNA OF NOVOSIBIRSK REGION: SYSTEMATIC ISSUES.....	180
<i>Golovin N.V., Kubyshkin N.V., Rudakov V.V.</i> ANALYSIS OF ICE CONDITIONS OF THE NORTHERN PART OF THE GULF OF OB BY REMOTE SENSING INFORMATION...	183
<i>Goroshkova N.I., Strizhenok A.V.</i> VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF ICE PHENOMENA ON RIVERS IN THE MIDDLE LENA BASIN UNDER CLIMATE CHANGE.....	184
<i>Gorshkova O.M., Chevel K.A., Badyukov D.D.</i> CONTAMINATION OF THE MOZHAISK RESERVOIR OF OIL PRODUCT AND ANION-ACTIVE SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES.....	189
<i>Grebneva E.A., Polonsky A.B.</i> ASSESSMENT OF THE SURFACE WATER PH CHANGE OF THE BLACK SEA FROM THE MIDDLE OF THE XX CENTURY TO THE PRESENT.....	192
<i>Grechushnikova M.G., Repina I.A., Kazantev V.S., Krivenok L.A., Artamonov A.Yu., Lomov V.A.</i> INFLUENCE OF VALLEY-TYPE RESERVOIR HYDROLOGICAL REGIME AT THE METHANE SURFACE FLUX SEASONAL CHANGE.....	196
<i>Grigorov N.O., Svetachova A.A.</i> ERRORS OF TEMPERATURE SENSORS INVESTIGATION.....	200
<i>Grigorov N.O.</i> USING OF HARDWARE IN HYDROMETEOROLOGICAL SUBJECTS TRAINING.....	202
<i>Grigorov N.O., Nikitina V.S.</i> INERTIA ERRORS OF ROTATING ANEMOMETERS.....	204
<i>Guzenko R.B., Kharitonov V.V., Mironov Ye.U.</i> PECULIARITIES OF THE INTERNAL STRUCTURE OF ICE RIDGES AND STAMUKHAS IN THE ARCTIC SEAS.....	206
<i>Gurevich E.V., Markov M.L.</i> NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF FLOODING IN THE TOWN OF TOSNO.....	209
<i>Goustoev D.V.</i> ON THE EFFECTS OF CHANGES IN THE INTENSITY OF THE TREND THE AGGREGATION OF THE SOURCE DATA (FOR EXAMPLE, SEA LEVEL OF THE NORTH ATLANTIC).....	212
<i>Danshina A.V.</i> THE INFLUENCE OF CALCULATING GRID DISCRETISATION ON THE HYDRODYNAMIC FIELDS STRUCTURE.....	217
<i>Denisov V.V.</i> CADASTRE APPROACH AND ITS APPLICATION TO THE MANAGEMENT OF LIVING RESOURCE IN COSTAL ZONES OF THE WESTERN MURMUN (AQUACULTURE).....	220
<i>Jalilov A.G.</i> MESOPLANKTON OF THE AZERBAIJANI AQUATORY OF THE CASPIAN SEA.....	224
<i>Dmitriev V.V., Sergeev Yu.N., Kulesh V.P., Tretyakov V.Yu.</i> MODELING OF THE ENVIRONMENTAL FACTOR EFFECT ON THE MASS TRANSFER RATE IN THE WATER ECOSYSTEM.....	228
<i>Drabenko D.V., Vinogradov R.A., Andreev O.M., Orlova E.U.</i> APPLICATION OF UNCLEANED AIRCRAFT IN THE ARCTIC REGION: SPECIAL HYDROMETEOROLOGICAL SECURITY.....	233
<i>Drozdov V.V., Polyakov Yu.N., Kosenko A.V.</i> METHODS AND TECHNOLOGIES OF PROVIDING ECOLOGICAL AND TECHNOSPHERE SAFETY AT IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN BASIC ZONES OF SOCIAL ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ARCTIC.....	235
<i>Dubrovskaya K.A., Litova T.E., Matveev M.S.</i> ASSESSMENT OF CHANGES IN THERMAL REGIME OF LAKES IN EUROPEAN RUSSIA.....	239
<i>Dyment L.N., Losev S.M.</i> METHOD OF LONG-RANGE ICE DRIFT FORECAST IN THE ARCTIC BASIN.....	242
<i>Elkin D.N., Zatsepin A.G.</i> LABORATORY STUDY OF THE IMPACT OF UNDERWATER RIDES ON THE ALONGSHORE DOWNWELLING CURRENT AND BOTTOM EKMAN LAYER ASSOCIATED WITH IT.....	246

<i>Eremeeva A.O., Beliaikov V.P.</i> ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE COASTAL ECOSYSTEM OF THE NEVA BAY AT THE LAKHTA CENTER EMBANKMENTS PROJECT SITE.....	249
<i>Eremina T.R., Ershova A.A.</i> STUDY OF THE PROBLEM OF MARINE LITTER IN THE GULF OF FINLAND REGION.....	253
<i>Eremina T.R., Vasechkina E.F.</i> SPECIALIZED DEPARTMENTS AS A TOOL TO IMPROVE THE QUALITY OF HIGHER EDUCATION IN THE FIELD OF MARINE SCIENCES.....	257
<i>Esaulov A.S., Belyakova O.I., Burkovsky I.V., Tsyganov A.N., Mazei Y.A.</i> FACTORS OF KARYORELICTEAN COMMUNITY (CILIOPHORA) ASSEMBLY IN THE SANDY INTERTIDAL ZONE OF THE WHITE SEA.....	259
<i>Efimov V.A., Chalov S.R., Timofeev I.V., Kosheleva N.E.</i> CHEMICAL COMPOSITION OF WATER IN THE EXTRACTION OF MINERAL RESOURCES.....	262
<i>Efimova L.E., Efimov V.A., Chalov S.R.</i> CHEMICAL COMPOSITION OF WATER OF WESTERN DVINA RIVER: SEASONAL FEATURES.....	266
<i>Zhigulsky V.A., Maksimova E.Yu.</i> RECLAMATION OF DISTURBED UNDER WATER LANDSCAPES WITH VARIOUS FISHERY VALUE.....	270
<i>Zabolotnikov G.V.</i> NEW APPROACHES TO SECURITY OF AUTOMOBILE MOVEMENT IN ADVERSE WEATHER CONDITIONS.....	274
<i>Zavialov P.O.</i> INTERNAL STRUCTURE OF RIVER PLUME AS REVEALED BY HIGH RESOLUTION IN SITU MEASUREMENTS.....	278
<i>Zadonskaya O.V., Alekseev L.P.</i> ECOLOGICAL STATE OF SESTRA AND CHERNAYA RIVERS AND THEIR POLLUTION SOURCES.....	281
<i>Zatsepin A.G., Arashkevich E.G., Kubrakov A.A., Silkin V.A., Stanichny S.V.</i> STORM IMPACTS ON SUMMER-AUTUMN PHYTOPLANKTON BLOOMING IN THE BLACK SEA.....	285
<i>Zdorovennov R.E., Kouraev A.R.</i> ICE CONDITIONS AND ORGANIZATION OF HYDROPHYSICAL MEASUREMENTS IN ICE-COVERED LAKES.....	287
<i>Zdorovennova G.E., Zdorovennov R.E., Bogdanov S.R., Volkov S.Yu., Gavrilenko G.G., Palshin N.I., Efremova T.V., Terzhevik A.Yu.</i> SPATIAL INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE FIELD IN ICE-COVERED LAKES.....	291
<i>Zinchenko V.A., Koldunov A.V., Gordeeva S.M.</i> MESOSCALE EDDY DYNAMICS OF THE NORWEGIAN SEA BY SATELLITE ALTIMETRY DATA.....	295
<i>Zuev V.V., Korotkova E.M., Uymanova V.A., Kharlamova N.F.</i> CLIMATE-RELATED VARIATIONS IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE MAIMA RIVER (MOUNTAIN ALTAI) DURING 1940-2016.....	299
<i>Ivanov V.V., Golovin P.N.</i> INTERANNUAL VARIABILITY OF THERMOHALINE PARAMETERS IN THE DEEP ARCTIC OCEAN.....	303
<i>Ignateva E.S., Iakovleva D.A., Shupilo A.I., Salyuk P.A.</i> RESEARCH OF THE SEA SURFACE COLOR FORMATION MECHANISMS MEASURED BY SATELLITES IN THE AMUR BAY IN AUGUST 2018.....	307
<i>Ionov V.V., Mai R.I., Pryakhina G.V., Rubchenia A.V., Smagin R.E.</i> EXPERIENCE OF THE COMPLEX RESEARCH OF THE TIDAL MODE OF ESTUARIAL AREA OF THE RIVER KERET, KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA.....	311
<i>Ioshpa A.R., Khartiev S.M.</i> ESPECIALLY EDUCATION AND REPEATABILITY OF THUNDERSTORMS AND TORRENTIAL RAIN ON THE AZOVSKOM COAST OF KRASNODAR REGION.....	315
<i>Kaistrenko V.M., Tanioka Yu., Choi B.H., Lee H.J.</i> QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE TSUNAMI HAZARD FOR THE JAPAN SEA (EAST SEA) COAST.....	319
<i>Kalavichchi K.A., Bashmachnikov I.L.</i> INTERANNUAL VARIABILITY OF THE OCEANIC AND ATMOSPHERIC HEAT FLUXES IN THE BARENTS SEA.....	323
<i>Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V., Bogdanova K.A.</i> FEATURES OF INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF RIVER RUNOFF OF THE VOTKINSKY RESERVOIR CATCHMENT IN HIGH AND LOW WATER YEARS.....	327

<i>Kalugin A.S.</i> SEASONAL AND ANNUAL CHANGES OF CLIMATIC CHARACTERISTICS IN THE AMUR AND LENA RIVER BASINS IN THE XXI CENTURY.....	331
<i>Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A.</i> PROCESSES OF THE WINTER RUNOFF FORMING FOR LOWLAND RIVERS UNDER THE CHANGING CLIMATE.....	335
<i>Katolikov V.M., Katolikova N.I., Chubarova A.V.</i> THE DISTINCTIVE FEATURES OF CHANNEL PROCESSES IN SAKHALIN RIVERS.....	339
<i>Kileso A.V., Gritsenko V.A.</i> OROGRAPHIC RISKS OF THE BOTTOM TOPOGRAPHY: QUANTITATIVE ASSESSMENTS FOR THE COASTAL ZONE OF THE SOUTHEASTERN BALTIC.....	344
<i>Klevanny K.A., Ereemeeva A.O.</i> FORECAST OF IMPACTS OF DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PROCESSES ON NEVA BAY IN THE LAKHTA CENTER AREA.....	347
<i>Klimenko D.E., Ostakhova A.L.</i> EXPERIMENTAL DATA ON THE PENETRATION OF EXTREME DEPRESSIVE SEDIMENTS UNDER SECRETS OF CONIFEROUS AND DIFFERENT WOODS.....	351
<i>Kolupaeva A.D., Makarieva O.M., Nesterova N.V., Vinogradona T.A.</i> METHODS OF CALCULATION CHARACTERISTICS OF CATASTROPHIC FLOODS IN THE BASINS OF THE BLACK SEA COAST OF KRASNODAR REGION IN THE CONTEXT OF NONSTATIONARITY OF THE ENVIRONMENT.....	355
<i>Konnova S.A., Danilushkina A.A., Fakhrullina G.I., Fakhrullin R.F.</i> THE USE OF NANOMODIFIED BACTERIA <i>A. BORKUMENSIS</i> IN THE BIOREMEDIATION OF OIL POLLUTION OF THE SEA SURFACE.....	358
<i>Konovalov A.M., Baturova G.V.</i> APPROACHES TO THE RANKING OF THE INDICATORS OF THE NATURAL ENVIRONMENT FOR LONG-TERM INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN THE ARCTIC REGION.....	362
<i>Kononova N.K., Shabanov P.A., Ivanov V.V.</i> ATMOSPHERIC CIRCULATION FLUCTUATION ANALYSIS IN THE FIRST SYNOPTIC REGION ACCORDING TO B.L. DZERDZEEVSKII AND G.YA. WANGENGEIME CLASSIFICATIONS.....	366
<i>Kostarev A.D.</i> MONITORING OF OIL SPILL PROCESSES IN THE AREA OF THE BARENTS SEA USING THE REMOTE SENSING DATA.....	370
<i>Kuznetsova D.A., Bashmachnikov I.L.</i> INTERANNUAL VARIABILITY OF THE ATLANTIC MERIDIONAL THERMOHALINE CIRCULATION.....	374
<i>Kuznetsova M.N., Plink N.L.</i> METHODOLOGICAL CALCULATIONS FOR THE PRELIMINARY EVALUATION OF SEDIMENT TRANSPORT CHARACTERISTICS..	377
<i>Kurochkina L.S., Zhuravlev S.A.</i> SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF THE MAXIMUM SPRING RUNOFF FOR THE RUSSIAN PART OF THE GULF OF FINLAND BASIN...	381
<i>Kucherenko O.E., Aksyanov T.M., Yakovleva T.I.</i> CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ROSHYDROMETHYDROLOGICAL NETWORK.....	385
<i>Kucheryavchenko U.D.</i> ANALYSIS OF USE OF TISSUE NON-OIL GAS OJSC "TOMSKNEFT" VNK.....	389
<i>Lavrov S.A., Kalyuzhny I.L.</i> INFLUENCE OF CLIMATIC CHANGES ON A DRAIN OF A SPRING HIGH WATER AND ITS LONG-TERM FORECAST IN THE VOLGA BASIN.....	391
<i>Lebedeva L.S.</i> SPATIAL VARIABILITY OF RIVER STREAMFLOW IN CENTRAL YAKUTIA.....	396
<i>Lipatov M.A., May R.I.</i> TRENDS OF SEA ICE DRIFT IN ARCTIC OCEAN.....	400
<i>Litina E.N., Zakharchuk E.A., Tikhonova N.A.</i> DYNAMICS OF HYPOXIA IN THE BALTIC SEA AT THE TURN OF THE XX-XXI CENTURIES.....	404
<i>Magritsky D.V., Yumina N.M.</i> THE INUNDATIONS ON THE EASTERN SEASIDE AREA OF AZOV SEA WATERSHED.....	408
<i>Mazurov G.I., Tarabukin I.A., Akselevich V.I.</i> POSSIBILITIES OF MEASURING THE SPEEDS OF MESOSCALE VERTICAL AIR FLOWS IN THE ATMOSPHERE.....	412
<i>May R.I., Pavlova E.A., Tyugaleva A.I., Hotchenkov S.V.</i> REGRESSIONAL RELATIONS BETWEEN THE GEOMETRIC PARAMETERS OF ICEBERGS.....	415

<i>Malinin V.N., Gordeyeva S.M., Naumov L.M.</i> GREENHOUSE EFFECT AND CLIMATE.....	419
<i>Malinin V.N., Vaynovsky P.A., Mitina Yu.V.</i> ABOUT THE WARMING OF THE ARCTIC OF THE 20-40S.....	422
<i>Malysheva A.A., Koldunov A.V., Belonenko T.V.</i> THE EFFECTS OF AGULHAS VARIABILITY ON THE MERIDIONAL THERMOHALINE CIRCULATION.....	427
<i>Mamaeva M.A.</i> STATE AND PERSPECTIVES OF HYDROMETEOROLOGICAL EDUCATION.....	432
<i>Martyanov S.D., Dvornikov A.Yu., Ryabchenko V.A., Sein D.V., Gordeeva S.M.</i> INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PRIMARY PRODUCTION AND SEA ICE IN THE ARCTIC SEAS BASED ON THE MATHEMATICAL MODELING.....	436
<i>Minkina A.V.</i> ECOLOGICAL ASPECTS OF THE STATE OF SMALL RIVERS OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE RIVER OF MULYANKA OF THE CITY PERM.....	440
<i>Miskevich I.V.</i> HYDROLOGICAL-HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF RIVER MOUTHS IN WEST PART OF CHOSHA BAY OF THE BARENTS SEA.....	444
<i>Mikhaylova A.S., Vasilevskaya L.N.</i> RESEARCH OF SOIL TEMPERATURE IN THE SOUTH OF FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT.....	448
<i>Mikhailovsky Yu.P., Sinkevich A.A., Abshaev A.M.</i> FEATURES OF THE FORECAST AND DIAGNOSIS OF THE LIGHTNESS ACTIVITY OF MULTIBACK CONVECTIVE CLOUDS ACCORDING TO THE RADAR INFORMATION.....	452
<i>Mikhaltseva S.V., Bychkova I.A., Smirnov V.G., Butkevich S.R.</i> AUTOMATED DETERMINATION OF THE SEA ICE COVER CONCENTRATION USING SATELLITE DATA OF THE OPTICAL SPECTRAL RANGE.....	456
<i>Molodtsova A.S., Molodtsov D.V.</i> RESPONSE OF <i>MACOMA BALTHICA</i> BIVALVE MOLUSCS TO THE INCREASED DENSITY OF SETTLEMENT.....	460
<i>Molodyhina S.V., May R.I.</i> REGIME CHARACTERISTICS OF THE SEA ICE COVER OF THE KARA SEA, CALCULATED ON THE BASIS OF INFORMATION OF THE SIGRID-3 VECTOR ICE CHARTS.....	464
<i>Mkhanna A.I., Rudenko S.V., Ozerova N.A.</i> METEOROLOGICAL FACTORS AFFECTING THE DIFFUSION OF POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERE OF LARGE CITIES, FOR EXAMPLE, ST. PETERSBURG.....	468
<i>Naumov L.M., Gordeeva S.M., Belonenko T.V.</i> ALTIMETRY PRODUCT DT18 VERIFICATION IN THE NEAR-POLAR REGION.....	473
<i>Nemirovskaya L.G.</i> INVESTIGATION OF REGIONAL CLIMATE CHANGE AS EXEMPLIFIED BY VARIABILITY OF CERTAIN CHARACTERISTICS OF MOISTURE (DETERMINED BASED ON SEVERAL CRITERIA), ON THE BASIS OF CREATING SPECIALIZED DATA MASSIFS FOR THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA.....	477
<i>Nemchinov E.O.</i> ESTIMATION OF MAXIMUM RUNOFF DURING SPRING FLOOD IN UNEXPLORED RIVERS (SOUTH SIBERIA).....	482
<i>Nesterova N.V., Makarieva O.M.</i> MATHEMATICAL MODELING OF MAXIMUM RUNOFF CHARACTERISTICS AT THE SMALL RIVERS IN PERMAFROST ZONES..	485
<i>Nikolaeva E.A., Shirokova V.A.</i> DETERMINATION OF THE LEVEL OF POLLUTION OF THE RIVER DUBNA MOSCOW REGION.....	489
<i>Novikova A.M., Polonsky A.B.</i> LONG-TERM VARIABILITY OF THE BLACK SEA WATER TEMPERATURE OVER THE PERIOD FROM 1951 TO 2017.....	493
<i>Novikova I.S., Bashmachnikov I.L.</i> SEASONAL AND INTERANNUAL DYNAMICS OF FRONTAL ZONES IN THE NORTH ATLANTIC.....	496
<i>Novoselova E.V.</i> MODELING OF THE SEA ICE COVER (SINGING) IN THE FERRIES OF WESTERN SPITZBERGEN.....	499
<i>Orekhova N.A., Konovalov S.K.</i> DEVELOPING OXYGEN DEFICIT AND SULFIDE CONTAMINATION IN COASTAL REGIONS UNDER ANTHROPOGENIC PRESSURE.....	503

<i>Pavlova E.A., Mironov E.U.</i> PECULIARITIES OF ICEBERG DISTRIBUTION ACCORDING TO SHIP AND HELICOPTER OBSERVATIONS.....	507
<i>Panichev V.V., Zhigulsky V.A., Bulysheva M.M., Shuisky V.F., Maksimova E.Yu., Bulysheva A.M.</i> SOME SPECIFIC METHODOLOGICAL ASPECTS OF STUDYING THE SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF MACROPHYTE THICKET ECOSYSTEMS IN THE NEVA BAY WITH THE USE OF AERIAL SURVEY.....	511
<i>Pedchenko A.P., Boitsov V.D.</i> LONG-TERM FLUCTUATIONS OF THE BALTIC SEA WATER TEMPERATURE IN 1900-2017.....	516
<i>Pelinovsky E.N., Slunyaev A.V.</i> METHODS AND MODELS FOR ROGUE WAVE FORECASTING.....	520
<i>Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Guryanov V.V., Nikolaev A.A., Ismagilov N.V., Aukhadeev T.R., Myagkov M.A., Mustafina A.B.</i> CLIMATE CHANGE IN THE VOLGA FEDERAL DISTRICT IN CONDITIONS OF GLOBAL WARMING.....	524
<i>Petrichenko S.A., Novitsky M.A.</i> THE CHOICE OF OPTIMAL PARAMETERIZATIONS OF SURFACE AND BOUNDARY LAYERS IN WRF MODEL TO FORECAST THE VARIABILITY OF METEOROLOGICAL PARAMETERS IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER.....	528
<i>Piskun A.A.</i> THE REGIME OF WATER LEVELS IN THE ESTUARIES OF THE OB AND TAZ.....	532
<i>Platonova E.V., Mikhaltseva S.V., Bychkova I.A., Smirnov V.G., Stepanov V.V., Starsev L.A.</i> ASSESSMENT OF ICEBERG DETECTION RELIABILITY WITH THE USE OF SATELLITE DATA IN THE WESTERN ARCTIC SEAS.....	536
<i>Porubaev V.S., Mironov E.U., Mochnova L.P.</i> TENDENCY OF CHANGING THE DURATION OF THE ICE FREE PERIOD IN THE ARCTIC SEAS IN THE LAST THREE DECADES.....	540
<i>Rakutin M.Y., Kapustin T.N.</i> RECOGNITIONAL INSPECTION OF WATER BODIES USING QUADROCOPTER.....	543
<i>Rakhuba A.V.</i> MODELING OF THE DEVELOPMENT OF PHYTOPLANKTON IN THE KUYBYSHEV WATER RESERVOIR UNDER THE CONDITIONS OF REDUCTION OF ANTHROPOGENIC LOAD.....	547
<i>Rachkova A.N., Sekisov N.L., Dembsky A.D., Gaman L.V.</i> ORGANIZATION WATER-BALANCE OBSERVATIONS IN THE ARCTIC.....	551
<i>Rozhkova-Timina I.O.</i> PECULIARITIES OF GAS REGIME IN FLOODPLAIN LAKES IN THE OB'S MIDDLE COURSE.....	555
<i>Rumiantceva E.A., Gogoberidze G.G., Knyazeva M.A.</i> INFORMATION AND ANALYTICAL PLATFORM OF MURMANSK ARCTIC STATE UNIVERSITY AND KOLA SCIENTIFIC CENTER RAS – SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL HAB OF THE REGION INNOVATION DEVELOPMENT.....	558
<i>Rybalko A.E.</i> SOME QUESTIONS OF THE ORGANIZATION AND PURSUANCE OF THE NATURAL ENVIRONMENT MONITORING IN THE GULF OF FINLAND: AFTERWARD TO THE GULF OF FINLAND-2014.....	562
<i>Samko E.V., Novikov Yu.V.</i> FEATURES OF A SAURY FISHERY DEPENDING ON VARIABILITY OF OCEANOLOGIC CONDITIONS IN SOUTH KURIL REGION ACCORDING TO SATELLITE DATA IN AUGUST-NOVEMBER, 2002-2014.....	565
<i>Sandalyuk N.V., Belonenko T.V.</i> CHARACTERISTICS OF MESOSCALE EDDIES IN THE LOFOTEN BASIN FROM THE SEAGLIDERS DATA.....	569
<i>Sanotskaya N.A., Zvegintsev D.I., Golovatskikh M.A.</i> FEATURES OF PROCESSES AND THEIR DEFINING FACTORS IN THE ESTUARIES OF THE RUSSIAN ARCTIC.....	573
<i>Sapunov V.B.</i> TRADITIONAL AND NON-TRADITIONAL METHODS FOR PREDICTION OF NATURAL DISASTERS.....	576
<i>Selezneva A.V., Bespalova K.V., Seleznev V.A.</i> EXTREMELY SMALL WATER AND THEIR INFLUENCE THE ECOLOGICAL CONDITION OF LARGE RESERVOIRS OF THE RIVER VOLGA.....	580
<i>Serykh I.V., Kostianoy A.G.</i> CLIMATE CHANGES OF TEMPERATURE OF THE SOUTH-EAST PART OF THE BALTIC SEA.....	584

<i>Sobotuk D.I., Zamarin G.A., Drabenko D.V.</i> PERSPECTIVE METHODS OF CARRYING OUT AIR PHOTOGRAPHY WITH UNLIMITED AIRCRAFT.....	588
<i>Sokolov D.I., Erina O.N., Tereshina M.A., Vilimovich E.N.</i> PRESENT HYDROECOLOGICAL REGIME OF LAKE GLUBOKOE.....	590
<i>Solomonova I.V.</i> STATISTICAL HETEROGENEITIES IN THE TIME SERIES OF THE ANNUAL RIVER RUNOFF.....	594
<i>Stokoz A.K., Plink N.L.</i> SMALL SCALE TSUNAMI ZONING OF YUZHNO-KURILSK (KUNASHIR ISLAND).....	598
<i>Strezhalkovskaya V.R., Potalova E.Y.</i> ANALYSIS OF VLADIVOSTOK MICROCLIMATE CHANGE IN VIEW OF THE INTENSIVE CITY DEVELOPMENT.....	601
<i>Strigunova Ya.V., Bulgakov K.Yu., Eremina A.V.</i> SENSITIVITY OF WAVE FORECAST MODEL TO PARAMETRIZATIONS OF PLANETARY BOUNDARY LAYER.....	605
<i>Sumachev A.E.</i> CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON THE HYDROLOGICAL MODE OF NORTHERN DVINA.....	609
<i>Sukhachev V.N., Zakharchuk E.A., Tikhonova N.A.</i> FEATURES OF THE DYNAMICS OF LOW-FREQUENCY LEVEL OSCILLATIONS IN THE SYSTEM OF THE BALTIC AND NORTH SEAS ACCORDING TO SATELLITE ALTIMETRY AND MATHEMATICAL MODELING.....	613
<i>Terekhova R.A.</i> IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF WATER CADASTR STRUCTURE FOR THE RUSSIAN ARCTIC RIVERS ESTUARINE AREAS.....	617
<i>Tereshina M.A., Erina O.N., Vilimovich E.A., Sokolov D.I., Korovchinskiy N.M.</i> COMPARISON OF DIFFERENT MODELS EFFICIENCY IN STUDYING THERMAL REGIME OF A STRATIFIED LAKE.....	620
<i>Timofeeva A.B., Khotchenkov S.V., Yulin A.V.</i> CLIMATE VARIABILITY OF THE LAPTEV SEA ICE MASSIVE DURING NAVIGATION PERIOD.....	624
<i>Timofeeva L.A., Yankovskaya O.A.</i> ASSESSMENT OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS BASED ON STREAM FLOW ORIGIN.....	628
<i>Tikhonova N.A., Gusev A.V., Zakharchuk E.A., Sukhachev V.N.</i> NUMERICAL HYDRODYNAMIC MODELING BIG BALTIC INFLOW.....	632
<i>Tolstikov A.V., Chernov I.A.</i> NUMERICAL SIMULATION OF CHLOROPHYLL DISTRIBUTION IN THE WHITE SEA.....	636
<i>Travkin V.S., Fedorov A.M., Belonenko T.V.</i> DEEP CONVECTION IN THE LABRADOR SEA BASED ON ARMOR 3D.....	639
<i>Tretyakov V.Yu., Frolov S.V., Sarafanov M.I.</i> CLIMATIC CHANGES OF ICE SWIMMING CONDITIONS ON THE ROUTE OF THE OB OBLET - BERINGES OF THE STRAITS..	643
<i>Tretiakov M.V., Rumiantseva E.V., Shestakova E.N., Shiklomanov A.I.</i> METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC CHANGES ON WATERSHEDS OF RIVERS ON THE ABIOTIC COMPONENT OF THE ECOSYSTEM OF THE OB'-TAZ ESTUARINE.....	647
<i>Trubina M.A., Efimenko N.V., Povolotskaya N.P., Tovbushenko T.M.</i> PRIORITY DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF RESORT BIOCLIMATOLOGY IN THE REGION OF CAUCASIAN MINERAL WATER.....	651
<i>Tyugaleva A.I., May R.I.</i> NUMERICAL MODELLING OF ICEBERG DRIFT.....	655
<i>Ushakov M.V.</i> FORMULAS FOR THE CALCULATION OF THE DURATION OF THE FULL FREEZING OF THE UPPER KOLYMA.....	659
<i>Fakhrullina G.I., Nigmatzyanova L.R., Hakimova E.I., Ishmuhametov I.R., Fakhrullin R.F.</i> SYMBIOSIS OF FREE-LIVING NEMATODES CAENORHABDITIS ELEGANS WITH OIL-DEGRADING ALCANIVORAX BORKUMENSIS BACTERIUM IN THE "HOST-MICROBE" SYSTEMS.....	661
<i>Fedorov A.M., Belonenko T.V.</i> DEEP CONVECTION IN LOFOTEN BASIN OF THE NORWEGIAN SEA.....	663
<i>Fedorova I.V., Zdorovennova G.E., Zdorovennov R.E.</i> THERMAL REGIME OF ARCTIC LAKES ON THE BACKGROUND OF CLIMATIC VARIABILITY.....	665

<i>Filatov N.N., Menshutkin V.V.</i> INNOVATIVE METHODS IN EXPERIMENTAL RESEARCHES AND MODELING OF HYDROPHYSICAL PROCESSES AND ECOSYSTEMS OF MAJOR STRATIFIED WATER CODES.....	669
<i>Tsepelev V.Yu., Aniskina O.G., Lukyanova M.V.</i> EFFECT OF THE COOLING INSTALLATION OF THE SECOND UNIT OF THE LENINGRAD NPP ON THE TEMPERATURE-HUMIDITY MODE OF SOSNOVYI BOR.....	673
<i>Tsyganov A.N., Malysheva E.A., Babeshko K.V., Esaulov A.S., Mazei Y.A.</i> SPECIES DIVERSITY OF TESTATE AMOEBA IN AAPA-MIRESON THE KARELIAN SHORE OF THE KANDALAKSHA GULF (THE WHITE SEA COAST).....	674
<i>Chantsev V.Yu., Gudoshnikov Yu.P., Skutin A.A., Pleshanov D.A.</i> NUMERICAL MODELING OF THE OB BAY REGIME WITH HIGH SPATIAL RESOLUTION.....	677
<i>Cheremnykh A.V., Skorik Ya.V., Sabanchieva D.Kh., Podgaiskii E.V.</i> DISTANCE LEARNING IN THE RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY: PATHWAYS, SYSTEMS, TOOLS.....	671
<i>Chernova M.A., Kuzmin K.A.</i> REFINEMENT OF QUANTITY AND PARAMETERS OF SURFACE WATERCOURSES IN THE BASIN RIVER BASIN.....	685
<i>Shanochkin S.V., Gaidukova E.V., Victorova N.V., Baimaganbetov A.</i> METHOD FOR PREDICTING HYDROLOGICAL SITUATIONS BASED ON THE COMBINATION OF PRECEDENTS.....	688
<i>Sharatunova M.V., Ivanov V.V.</i> THE VARIABILITY AGE COMPOSITION OF ICE IN THE WINTER PERIOD OF THE EAST SIBERIAN SEA.....	692
<i>Sharina Yu.V.</i> THE REAL-TIME RIVER RUNOFF CALCULATION IN THE CONDITIONS OF UNSTEADY FLOW AND VARYING BACKWATER (ON THE EXAMPLE OF THE RIVER URAL IN THE ORENBURG GAGING SECTION).....	697
<i>Sharonov A.Yu., Mamaeva M.A.</i> HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY IN MODERN EDUCATION.....	701
<i>Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.</i> THE REGIME OF THE KHOTO ANTICYCLONE AND CLIMATIC EXTREMUMS IN THE KURILO-KHOKKAID REGION DURING THE SUMMER PERIOD 1950-2017.....	705
<i>Sheykin I.B.</i> INTEGRAL CRITERIA FOR THE ESTIMATION OF THE SEASONAL CHARACTERISTICS OF METHODATA.....	709
<i>Shelutko V.A., Urusova E.S.</i> THE APPLICATION OF THE METHOD OF STATISTICAL TESTS (THE MONTE CARLO METHOD) FOR ESTIMATING THE ERRORS OF SAMPLE ESTIMATES OF NUMERICAL CHARACTERISTICS FROM THE TIME SERIES OF OBSERVATIONS.....	713
<i>Shemanaev K.V., Kuzmin V.A., Borodin E.S., Mamaeva M.A.</i> BACKGROUND RIVER RUNOFF FORECASTING AS A KEY ELEMENT OF WATER RESOURCES MANAGEMENT SYSTEMS.....	715
<i>Shestakova E.N.</i> APPLICATION POSSIBILITIES OF COMPLEX AND INTEGRATED APPROACHES FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER RESOURCES OF THE SIBERIAN ARCTICE.....	719
<i>Shilin M.B., Vasiljev Yu.S., Maslikov V.I., Chusov A.N.</i> MANAGEMENT OF FLOATING LITTER IN RIVER SYSTEMS WITH WATER POWER STATIONS.....	723
<i>Shmakova M.V.</i> RIVER SEDIMENT CALCULATIONS.....	726
<i>Shtannikov A.V., Muzhdaba O.V.</i> THE STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF THE HYDROLOGICAL NETWORK IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION.....	730
<i>Yagovkina E.A., Khaimina O.V., Kubyshkin N.V., Smirnov K.G., Gudoshnikov Yu.P.</i> NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS CAPE KAMENYY (OB BAY OF THE KARA SEA). FLUCTUATION FEATURES AND FORECAST POSSIBILITY.....	734
<i>Iakovleva D.A., Bashmachnikov I.L.</i> TRENDS AND CYCLES OF HEAT AND FRESHWATER CONTENTS IN THE COLD WATER DOME OF THE LABRADOR SEA.....	738



<i>Yakovleva T.I., Sharina Yu.V.</i> THE SHORT-TERM DAILY DISCHARGE FORECAST USING REGRESSION MODELS AND THE METHOD OF DYNAMIC CHANNEL WATER BALANCES FOR THE OUTFALLS OF THE KRASNODAR RESERVOIR TRIBUTARIES AND KOMSOMOLSK-ON-AMUR GAUGING SECTION.....	742
<i>Yanglicheva Y.R.</i> POLLUTION OF ATMOSPHERE IN KAZAN.....	746
<i>Yachmenova M.V.</i> EXPERIENCE OF FGBU "NORTH-WEST UGMS" IN SERVICING CONSUMERS WITH SPECIALIZED HYDROLOGICAL INFORMATION.....	749

## К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. В. Абрамов<sup>1,2</sup>, А. А. Никифоровский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО «НПО «Гидротехпроект», Валдай, Россия

## TO THE QUESTION OF THE CRITERIA OF QUALITY OF HYDROLOGICAL MODELING

D. V. Abramov<sup>1,2</sup>, A. A. Nikiforovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>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.

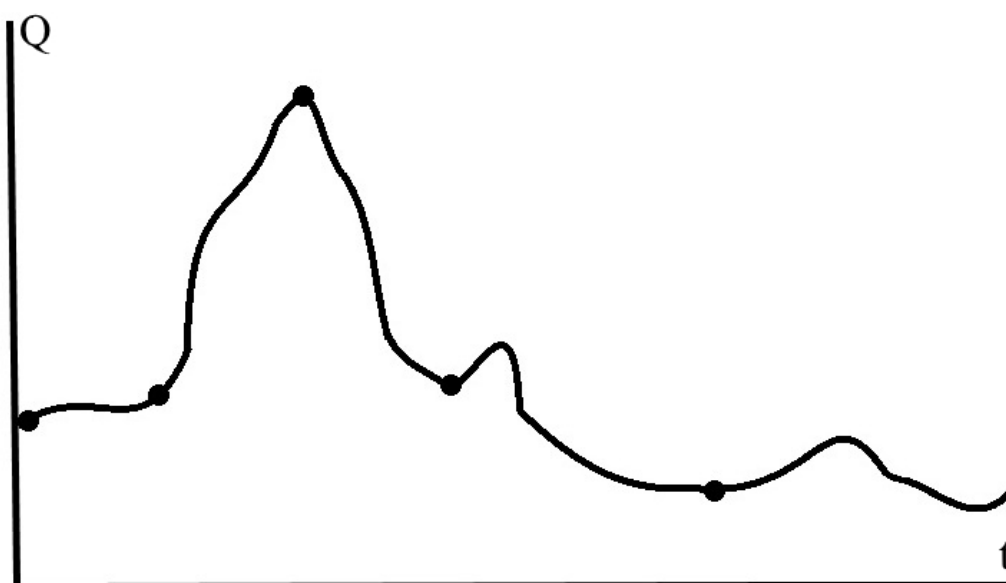


Рис. 1. Условный гидрограф с нанесенными точками характерных фаз гидрологического цикла

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 гидрографах,  $n$  – количество лет наблюдений.

2) Оценка расхождения амплитуд  $\alpha$ , в каждой «реперной» точке, которая описана выражением 2.

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

где  $N$  – общее количество «реперных» точек.

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

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

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  $\xi_i$ , 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:

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

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 выше рассмотренный.

«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, равно 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

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСРЕДНЕНИЯ НА РАСЧЕТ ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.С. Аверкиев<sup>1</sup>, д-р. геогр. наук, В.Ф. Дубравин<sup>2</sup>, д-р. геогр. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE AVERAGING ON EVAPORATION CALCULATION BY THE DATA OF URGENT OBSERVATIONS

A.S. Averkyev<sup>1</sup>, Dr Sc, V.F. Dubravin<sup>2</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Institute of Oceanology. P.P. Shirshov RAS, Moscow, Russia

*В системе взаимодействия океана и атмосферы большая роль принадлежит влагообороту, одним из компонентов которого является испарение. В формулы для расчета испарения и потоков влаги входят скорость ветра, перепады влажности и высоты  $z$ , на которой выполнялись измерения и коэффициент обмена влагой, который также зависит от этих параметров. При этом рассчитанные значения испарения сильно зависят от способа и периода осреднения. Цель настоящей работы – дать количественную оценку влияния осреднения на рассчитанные значения потока влаги  $E_v$  в случаях, если они рассчитаны непосредственно по данным срочных наблюдений и в случае расчета по осредненным данным.*

*Moisture rotation plays an important role in the ocean-atmosphere interaction system, evaporation is one of its components. The formulas for calculating evaporation and moisture fluxes include wind speed, humidity changes and altitude  $z$ , at which the measurements and moisture exchange coefficient were performed, which also depends on these parameters. The calculated values of evaporation depend strongly on the method and the averaging period. The purpose of this paper is to quantify the effect of averaging on the calculated values of the moisture flux  $E_v$  in cases where they are calculated directly from the data of urgent observations and in the case of averaging.*

Осреднение потоков влаги  $E_v$  по времени и по пространству существенно занижает значения потоков, так как в формулу для расчета (1) нелинейно входят метеорологические параметры на двух уровнях и коэффициент обмена влагой ( $C_E$ ), который также зависит от этих параметров.

$$E_v = 0,622P_0^{-1}\rho C_E(E_{0w} - e_a)W, \quad (1)$$

где  $P_0$  – атмосферное давление на уровне моря (гПа);  $\rho$  – плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>);  $e_a$  – упругость водяного пара (гПа);  $E_{0w}$  – максимальная упругость водяного пара при температуре воды  $T_w$ (°C);  $W$  – скорость приводного ветра (м/с);  $C_E$  – коэффициент обмена влагой.

Так, относительно наблюдений в точке по [1] (Gulev, 1994), пространственное двухградусное осреднение занижает потоки испарения на 28 %, а пятиградусное – на 46 %. Искажение потоков влаги (а также и потоков тепла и импульса) происходит и при осреднении по времени входящих в формулы метеорологических параметров с последующим расчетом потоков. В большинстве случаев, как будет показано ниже, это занижение потока влаги при увеличении периода осреднения. Соответственно при осреднении потоков в расчетах и моделях важно знать величину возможных искажений [2].

Для оценки влияния осреднения параметров по времени использовались данные натуральных наблюдений: температуры воздуха  $T_a$ (°C) и воды  $T_w$ (°C), относительной влажности  $f$  (%), атмосферного давления на уровне моря  $P_0$  (гПа) и скорости ветра  $W$  (м/с) (дискретность 1 ч), предоставленные Немецким Центром Океанографических Данных (BSH/DOD (M41)) – на станциях в Южной Балтике Аркона(ArkonaBasin) и Дарсский порог (DarssSill) мониторинговой сети MARNET за 2002-2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075 между ИО РАН и BSH/DOD (M41)). В табл. 1 приведены значения испарения, рассчитанные по данным ежечасных наблюдений и по осредненным значениям метеоэлементов за сутки и за месяц.

Таблица 1. Среднегодовое сезонное испарение  $E_v$  (мм/мес) на станциях Дарский порог (2003-2016) и Аркона (2002-2016), рассчитанный при осреднении с различной дискретностью и постоянным коэффициентом влагообмена  $C_E = 1,3 \cdot 10^{-3}$ 

Дискретность	Месяцы												II- XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Дарский порог (2003-2016)													
час	12,87	7,59	3,95	3,06	5,31	9,31	14,06	17,09	18,08	21,50	18,00	13,04	143,85
сут.	12,87	7,69	3,60	2,99	5,18	9,18	13,84	17,02	17,97	21,56	18,09	13,15	143,13
мес.	13,26	6,52	2,54	1,10	2,65	7,11	10,22	15,67	17,37	19,63	16,80	13,33	126,20
Аркона (2002-2016)													
час	17,60	8,06	5,85	3,87	4,18	9,98	13,37	22,93	21,30	24,79	23,57	16,95	172,45
сут	17,59	8,20	5,86	4,10	4,03	9,89	13,14	22,86	21,41	24,83	23,66	17,11	172,68
мес	14,94	6,79	4,18	1,33	1,45	5,85	10,83	19,28	20,73	23,78	19,69	15,64	144,50

Сравнение значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем осредненным за сутки (аргумент-  $x$ ) и значениям испарения, рассчитанным по среднесуточным значениям гидрометеорологических элементов (функция-  $y$ ), за весь период наблюдений (длина рядов Аркона -  $x_1$ ,  $y_1$  - 2665 сут.; Дарс -  $x_2$ ,  $y_2$  - 2940 сут.) на обеих станциях в Южной Балтике показало, что они хорошо согласуются (табл. 2).

Таблица 2. Статистические параметры рядов при сравнении значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем осредненным за сутки (аргумент-  $x$ ), и значениям испарения, рассчитанным по среднесуточным значениям гидрометеорологических элементов (функция-  $y$ )

	Ср месячные - $y$ , осредненные почасовые - $x$								$y_b$ - восстановленное по уравнению регрессии (2)		
	Длин а ряда	Сред нее $x$	Сред нее $y$	СКО $x$ $\sigma_x$	СКО $y$ $\sigma_y$	$r$	$a$	$b$	Сред $y_b$	Ср квотк $l_{y_b}$	Ср квадр ошибка $y - y_b$
Аркона	2665	0,50	0,50	0,51	0,51	1.0	1.002	0.001	0,50	0,51	0,025
Дарс	2940	0,42	0,42	0,47	0,47	1.0	1.002	0.001	10,84	7,66	0,024

Коэффициент корреляции ( $r$ ) практически равен 1, средние квадратические отклонения равны в обоих расчетных рядах (Аркона  $\sigma_{x1} = \sigma_{y1} = 0.51$ , Дарс  $\sigma_{x2} = \sigma_{y2} = 0.47$ ). Построены уравнения линейной регрессии (формула (2)).

$$y = 1,002x - 0,001 \quad (2)$$

Для ст. Аркона и ст. Дарский порог они имеют одинаковый вид с точностью до третьего знака после запятой, поэтому приведено одно уравнение регрессии и графики уравнений регрессии не приводятся (точки в поле  $XOY$  лежат «плотно» на линии регрессии).

Данные таблиц 1 и 2 и коэффициенты уравнения регрессии (2) достаточно убедительно свидетельствуют о том, что суточное осреднение значений испарения не приводит к значительным отклонениям от расчета по срочным наблюдениям и, следовательно, такое осреднение возможно при любых расчетах, по крайней мере, в Балтийском море. Различия в значениях коэффициента обмена влагой  $C_E$  у различных авторов [3]  $C_E = (1,0 - 1,7) \cdot 10^{-3}$  значительно превосходят ошибки осреднения.

Сравнение значений испарения, рассчитанных по ежечасным наблюдениям, а затем осредненных за сутки и за месяц (аргумент-  $x$ ), и значений испарения, рассчитанным по среднемесячным данным о параметрах ( $y$ ), показывает (табл. 3), что в этом случае коэффициенты корреляции рядов тоже достаточно высокие (0,91 и 0,94), т.е. осреднение в целом не искажает внутригодовой ход значений испарения. Но значения испарения, рассчитанные по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов, занижаются в среднем примерно на 10-15% (коэффициенты  $a$  уравнений регрессии (3) и (4) равны 0,85 и 0,909).

Таблица 3. Статистические параметры рядов при сравнении значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем осредненным за сутки и за месяц (аргумент-  $x$ ), и значений испарения, рассчитанным по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов (функция-  $y$ )

	Ср. месячные - $y$ , осредненные почасовые - $x$								у- восстановленное по уравнению регрессии (3,4)		
	Длина ряда	Среднее $x$	Среднее $y$	СКО $x$ $\sigma_x$	СКО $y$ $\sigma_y$	$r$	$a$	$b$	Сред $y_v$	Ср квотк $лy_v$	Ср квадрат ошибка $y - y_v$
Аркона	153	14,89	12,64	10,18	9,58	0,91	0,85	-0,057	12,60	8,65	3,67
Дарс	135	12,39	10,84	8,43	8,14	0,94	0,909	-0,423	10,84	7,66	2,75

Уравнения регрессии для ст. Аркона и ст. Дарский порог имеют вид

$$y = 0,85x - 0,057 \quad (3)$$

$$y = 0,909x - 0,423 \quad (4)$$

Графики линейной связи осредненных и «срочных» значений испарения для ст. Аркона и ст. Дарский порог имеют сходный вид (рисунки 1, 2). Наибольшие отличия осредненных и «срочных» значений испарения отмечаются в октябре и в январе. Причем в октябре это очевидно обусловлено тем, что абсолютные значения испарения в этом месяце максимальные за год в среднемноголетнем сезонном ходе (табл. 1), поэтому и отличия восстановленных по уравнению регрессии и фактических значений испарения максимальны. В январе средние многолетние значения испарения тоже больше, чем в летние месяцы, и, кроме того, возможно сказывается влияние низких и отрицательных температур воздуха, наличие льда, изморози и других факторов, что снижает точность измерений в приземном слое зимой и приводит к выбросам в данных наблюдений.

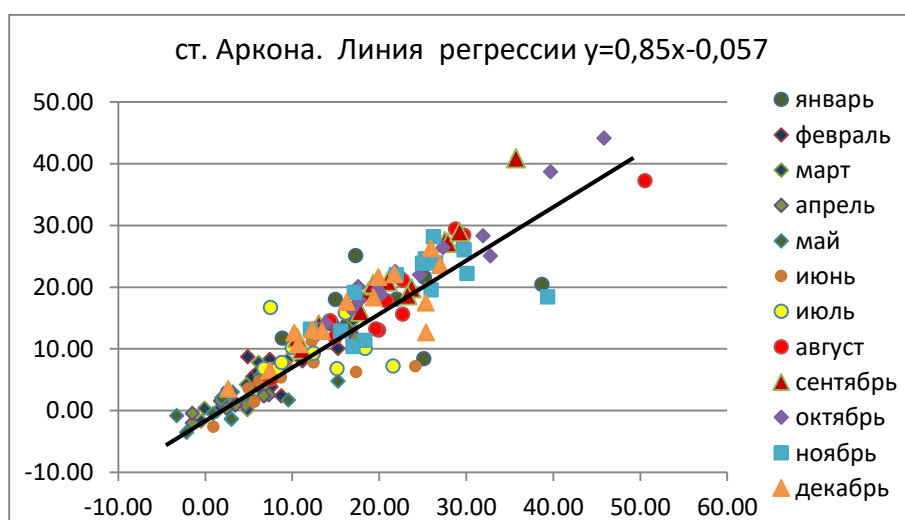


Рис. 1. Связь значений испарения, рассчитанных по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов (мм/мес - $y$ ), с «почасовыми» значениями испарения,

осредненными за сутки и месяц (мм/час\*24\*30 - x). ст. Аркона. Уравнение регрессии  $y=0,85x-0,057$

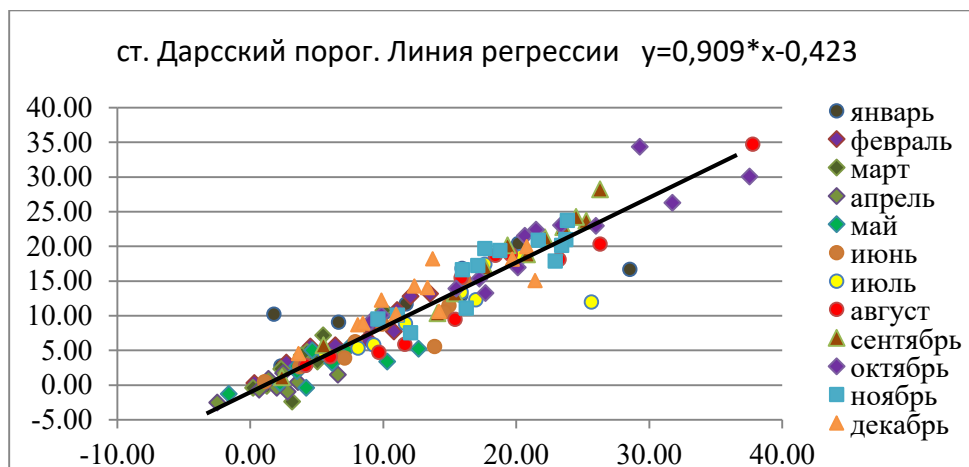


Рис. 2. То же для ст. Дарский порог. Уравнение регрессии  $y=0,909*x-0,423$

Сравнение значений испарения, рассчитанных по осредненным за сутки значениям параметров и затем осредненным за месяц (аргумент- x), и значениями, рассчитанными по среднемесячным данным (y), показало аналогичные предыдущим результаты. Средние и среднеквадратические отклонения рядов x и y (первые статистические моменты) практически одинаковы, незначительно отличаются и коэффициенты уравнений линейной регрессии на обеих станциях (уравнения 3, 4 и 5, 6).

$$y = 0,85x - 0,013 \quad (5)$$

$$y = 0,909x - 0,402 \quad (6)$$

Этого следовало ожидать, учитывая высокую степень линейной связи значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и рассчитанных по среднесуточным величинам, т.е. аргументы (x) в уравнениях регрессии (3) и (5) и в уравнениях (4) и (6) связаны линейно с коэффициентом корреляции близким к единице, поэтому и уравнения регрессии отличаются незначительно.

Что касается значений, рассчитанных по осредненным за год величинам метеоэлементов, то такие расчеты были также выполнены. Очевидно, что при таком осреднении, значения испарения существенно искажаются, коэффициенты корреляции меньше 0.4, и сами значения испарения занижаются на 25-50%. Поэтому уравнения регрессии здесь не приводятся и расчеты с таким осреднением исходных данных не рекомендуются.

#### Выводы.

Сравнение значений испарения, рассчитанных по данным ежечасных наблюдений и затем осредненным за сутки и месяц, и рассчитанных по осредненным величинам гидрометеоэлементов показало, что

1. Осреднение за сутки допустимо с точностью, превосходящей точность определения коэффициента влагообмена, и, во многих случаях, вероятно, превосходящей и точность наблюдений.

2. Осреднение значений исходных данных за периоды в месяц приводит к ошибкам - к занижению значений испарения примерно на 15 %. При осреднении за большие периоды ошибка возрастает.

3. Ошибки за счёт осреднения исходных данных в значениях испарения и потоков влаги велики, но разброс в определении коэффициента обмена влагой  $C_E$  на порядок величины [3] значительно превосходит ошибки осреднения.

4. Оценки влияния осреднения исходных данных очевидно справедливы для расчетов испарения и потоков влаги в Балтийском море и могут использоваться в качестве реперных в других акваториях средних и высоких широт.



### Литература

1. Gulev S.K. Influence of Space-Time Averaging on the Ocean-Atmosphere Exchange Estimates in the North Atlantic Midlatitudes // J. Phys. Oceanogr. - 1994. - Vol. 24. - No 6. - P. 1236-1255.
2. Дубравин В.Ф., Стонт Ж.И., Гуцин О.А. Долгопериодная изменчивость потоков тепла, влаги и импульса восточной части Гданьского бассейна // Наука и образование в России: история и современное состояние / Каледин Н.В., Дмитриев В.В., Алиев Т.А. – СПб: ВВМ, 2010. – С. 794-801.
3. Лаппо С. С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 336 с.

*Авторы благодарят Немецкий Центр Океанографических Данных (BSH/DOD(M42) за гидрометеороинформацию мониторинговой сети MARNET в 2002-2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075). Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0012).*

*The authors thank the German Center for Oceanographic Data (BSH / DOD (M42) for hydrometeoroinformation of the MARNET monitoring network in 2002-2016 (agreement 2518 / 2014-002 and 2518 / 2016-075). The work was performed as part of the state task of the IO RAS (topic number 0149-2018-0012).*

## ОЦЕНКА СКОРОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

А.С. Аверкиев<sup>1</sup>, д-р. геогр. наук, А.Е. Рыбалко<sup>2,3</sup>, д-р. геол.-минерал. наук, С.В. Лукьянов<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, М.О. Новиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## ESTIMATION OF SEDIMENTATION RATE IN THE GULF OF FINLAND

A.S. Averkiev<sup>1</sup>, Dr. Sc., A.E. Rybalko<sup>2,3</sup>, Dr. Sc., S.V. Lukyanov<sup>1</sup>, Cand. Sc., M.O. Novikov.

<sup>1</sup>Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after Academician I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences of SPbGU, St. Petersburg, Russia

*Динамика донных осадков обуславливает заносимость подходов каналов и фарватеров акваторий портов. Приводятся оценки скорости осадконакопления в районе порта «Бронка» на основе инструментальных измерений.*

*Dynamics of the bottom sediments causes deposition of approach channels and fairways of the water area of port. Estimates of the sedimentation rate in the area of the port "Bronka" on the basis of instrumental measurements are given.*

Проведение дноуглубительных работ на акватории и создание подходов каналов существенно изменило геоэкологическую ситуацию в районе порта Бронка (рис. 1), что привело к резкому возрастанию взвеси в воде, количества мелких фракций в донных осадках и изменению темпа осадконакопления.

В связи с этим актуальными в комплексе геоэкологических исследований стали работы, связанные с оценкой темпа седиментации и вещественного состава, накапливающихся на дне осадков, особенно в части загрязняющих веществ. Наиболее эффективным методом при этом является использование седиментационных ловушек, которые были размещены в районе порта Бронка (рис. 2).



Рис. 1. Акватория зоны строительства порта Бронка и поле мутности, лето 2015 г.

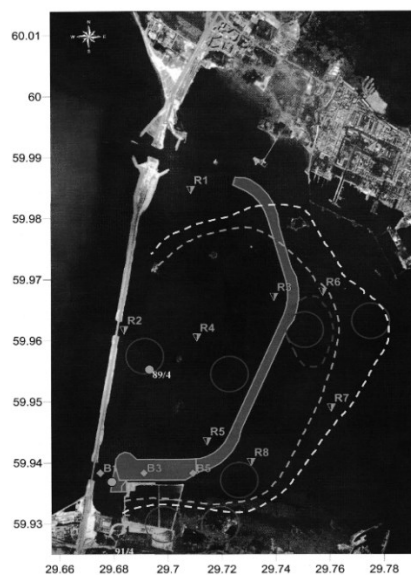


Рис. 2. Точки установки седиментационных ловушек и условные скорости накопления осадков (min – внешний пунктир). Автор рисунка Рыбалко А.Е.

Естественно, накапливающийся в них материал не является мерилем истинного темпа накопления осадков, так как сам процесс седиментации включает не только накопление осадочного материала, но и его размыв с последующим выносом из зоны осадконакопления при изменившихся гидрологических параметрах. Но относительный уровень темпа седиментации, а главное вещественный состав взвесей – эти показатели объективны и с успехом используются для геоэкологической характеристики современного осадконакопления.

Для получения корректных данных седиментационные ловушки должны быть строго цилиндрическими, поскольку экспериментально и на моделях показано, что воронковидные ловушки не долавливают взвесь, а бутылковидные перелавливают [1-3]. Диаметр входного отверстия должен быть не менее 4,5 см, иначе ловушки начинают перелавливать гидравлически легкие фракции, а отношение высоты к диаметру входного отверстия должно быть не менее 5.

При работах использовались седиментационные ловушки, изготовленные в РГГМУ, а также несколько ловушек, сделанных в Севморгео, ранее опробованных в порту Усть-Луга. В обоих типах ловушек накопительные пластиковые цилиндры закреплялись на специальной металлической штанге с устойчивым основанием и располагались на расстоянии 1 м над поверхностью дна в водной фазе, в зоне аккумуляции, где мелкий материал долго оседает. Подвижность основания уменьшалась за счет веса, закрепленного на фале груза. Длина накопительного пластикового цилиндра составляла от 60 до 70 см, внутренний диаметр входного отверстия 9,5 см. Отношение высоты к диаметру входного отверстия более 6.

Средняя скорость осадконакопления рассчитывалась по формуле 1:

$$V = \frac{m_{\text{сут}}}{S_{\text{осн}}} * 1000, \quad (1)$$

где  $m_{\text{сут}}$  – мощность осадка, накопившегося за сутки, см;  $S_{\text{осн}}$  – площадь поверхности дна ловушки.

Под количеством вещества, накопившегося за сутки, понимается среднее количество вещества, приходящееся на одни сутки за период экспозиции, формула 2.

$$m_{\text{сут}} = \frac{m_{\text{общ}}}{t}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{общ}}$  – мощность осадка, накопившегося за период экспозиции, см;  $t$  - продолжительность экспозиции, сут.

Так как для рассмотрения многих вопросов важны не только массы накопившихся осадков, а их относительные количества, то для наглядности были использованы относительные баллы. С этой целью наиболее низкая скорость осадконакопления принималась за 1, а далее все полученные значения нормировались на эту величину.

Седиментационные ловушки на участке обследования устанавливались в период с 4 ноября 2015 г по 14 ноября 2015 г. Несмотря на небольшие размеры обследованной площадки, скорости седиментации в пределах ее различаются почти в три раза (рис. 4).

Максимальные скорости (более 0,08 см/год) зафиксированы на ст. R2 и R3. первая из них располагается на изгибе канала, где в период измерений велись дноуглубительные работы, а вторая у водопропускного сооружения В-2. Именно через него (а также через судопропускное сооружение С-1) основная масса взвешенного материала, сформировавшаяся при дреджинге как ковша портовой акватории, так и подходного канала, выходит за пределы комплекса защитных сооружений и распространяется в сторону открытой части Финского залива. На большей части акватории, расположенной между строящимся подходным каналом и телом дамбы, в год накапливается 2-2,5 см взвешенного материала.

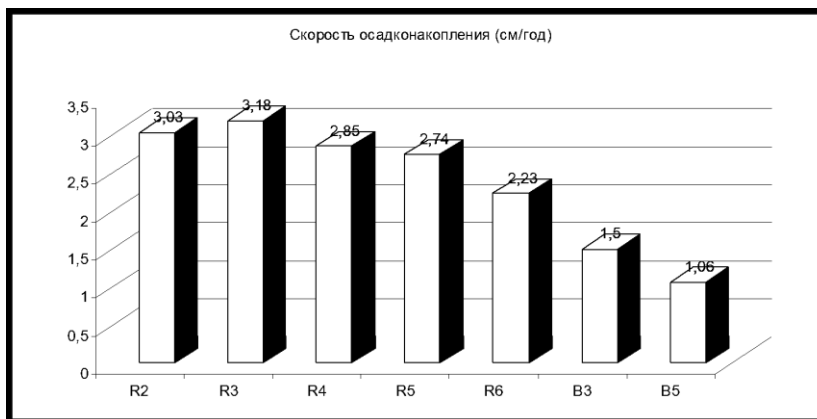


Рис. 4. График скоростей осаждения взвешенного вещества по станциям (см/год)

В конечном счете, большая часть взвеси на рассматриваемом участке движется в сторону водопропускного сооружения В-2 на юго-запад. Минимальные скорости седиментации зафиксированы вдоль строящейся причальной линии (0,03-0,04 см/день или 1-1,5 см/год), что, скорее всего, связано с прекращением здесь дночерпательных работ.

Непосредственно в створе канала скорость оседания взвесей составила 0,087 см/день (т.е. в день накапливалось 1,2 г взвешенного материала). По направлению к водопропускному сооружению скорость седиментации несколько снижается и колеблется в пределах 0,078-0,083 см/день.

Для более полного анализа результатов были также построены совмещенные карты прозрачности и векторов течений (рис. 5 и 6).

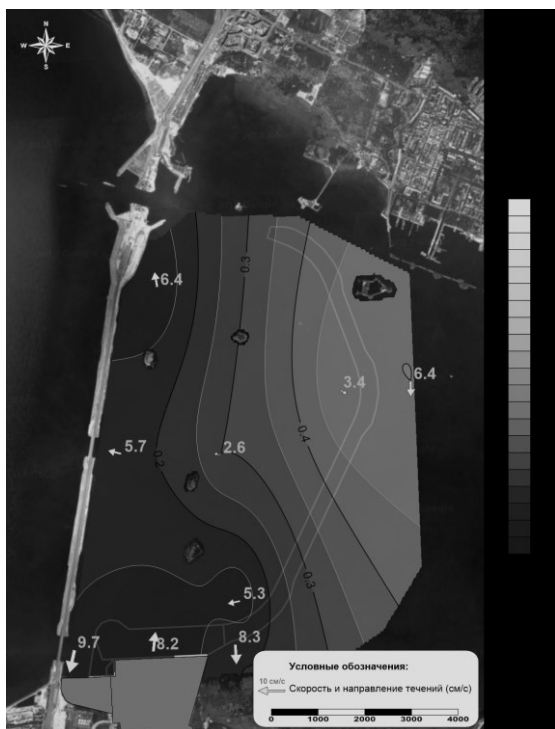


Рис. 5. Поле течений в районе работ 04.11.2015г. на поверхности и величина прозрачности по диску Секки. Автор рисунка Маслов П.А.

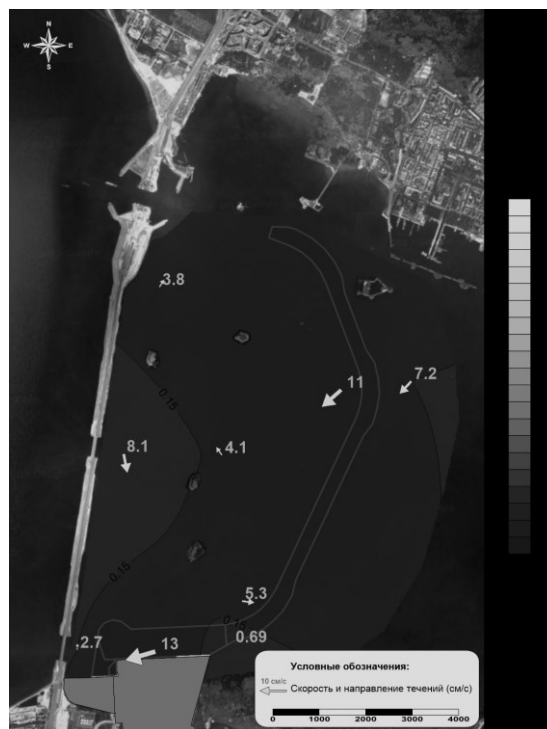


Рис. 6. Поле течений в районе работ 14.11.2015г. на поверхности и величина прозрачности по диску Секки. Автор рисунка Маслов П.А.

По этим рисункам видно, что в первую съемку возле водопропускного отверстия потоки воды направлены в целом на запад (5.7 см/с), из-за чего максимальные концентрации в пятне мутности

наблюдаются возле КЗС. При второй съемке потоки усилились (8.7 см/), но направлены на восток, с моря в Невскую губу, что и разбавило концентрацию взвеси в воде, отодвинув ее максимум от дамбы на восток. Очевидно, что перемещение пятна мутности при смене гидродинамических условий должны были сказаться на скорости осаждения взвеси в седиментационных ловушках. Данные по прозрачности воды также очень хорошо коррелируются со спутниковым снимком (рис. 1).

#### **Выводы**

1. Проводимые дноуглубительные работы на строительстве аванпорта Бронка привели к образованию мощного, но локального поля распространения взвешенного материала вдоль южного створа Комплекса защитных сооружений.

2. Взвешенный материал имеет преимущественно алевритовую размерность со значительной примесью песка, что обуславливает его достаточно быструю садку и ограниченное поле распространения в восточной части Финского залива.

3. Взвесь не содержит сколько-либо значительных концентраций токсических веществ, что исключает химическое загрязнение как самой зоны дреджинга, так и прилегающих частей восточной части Финского залива [4-6].

4. Наиболее опасным процессом является распространение самой взвеси, что может иметь существенную угрозу для заиления зон нерестилищ, а также прямого воздействия на инженерные объекты

6. Можно ожидать, что описанные «угрозы» достаточно быстро прекратят существовать по окончании цикла дноуглубления (кроме воздействия на нерестилища).

#### **Литература**

1. Глушенко Л.О. Методологические основы изучения седиментации в водоемах // Гидробиологический журнал, 1988. Т. 24. № 2. С. 68–76.
2. Bloesch J. 1988. Sediment trap design and vertical flux studies. —In: Wassmann P., Heiskanen A.S. (eds.), Sediment trap studies in the nordic countries, Workshop Proceedings, Tvarminne Zoological Station, Finland; 207pp.
3. Bloesch J., Burns N.M. A critical review of sedimentation trap technique // Schweiz, Z. Hydrol, 1980. Vol. 42. № 1. P. 15–55.
4. Предварительная оценка воздействия на природную среду. Морской многофункциональный перегрузочный комплекс «Бронка», кн.1. 2008, 185л
5. Рыбалко А.Е., Корнеев О.Ю., Федорова Н.К и др. Осуществление государственного мониторинга состояния геологической среды континентального шельфа Баренцева, Белого и Балтийского морей. Отчет, ФГУНПП «Севморгео», 2007, 350л.
6. Лукьянов С.В., Рыбалко А.Е., Маслов П.А. Мониторинг процессов осаждения твердых частиц (методом измерения уровня осадка) в акватории Финского залива при проведении дноуглубительных работ при строительстве ММПК «Бронка», Отчет РГГМУ, 2016, 57 с.

## МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РЕКАХ В РАЙОНЕ Г. ВЕЛИКИЙ УСТЮГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

С.А. Агафонова<sup>1</sup>, П.Г. Михайлюкова<sup>1</sup>, Н.Л. Фролова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

## RIVER ICE MONITORING IN THE DISTRICT OF VELIKY USTYUG USING RADAR AND OPTICAL SATELLITE IMAGES

S.A. Agafonova<sup>1</sup>, P.G. Mikhaylyukova<sup>1</sup>, N.L. Frolova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*В работе представлены результаты мониторинга ледовой обстановки на заторопанных участках рек в районе г. Великий Устюг с использованием радиолокационных снимков Sentinel 1, оптических снимков (OLI/Landsat-8 и MSI/Sentinel 2) за 2 зимних сезона (2016–2017 и 2017–2018 гг.).*

*For the territory of Russia North of 60°N changes of the main characteristics of the ice regime of rivers and the climate indices of the cold period of the year to the end of the XXI century for scenario RCP 8.5 have been evaluated.*

В настоящее время мониторинг ледовой обстановки на реках России ведется, прежде всего, на сети постоянно действующих и временных постов Росгидромета. Стандартные наблюдения включают как ежедневные визуальные наблюдения, так и измерения толщины льда, шуги и снега на льду каждые 5–10 дней. Для отдельных участков проводят ледемерные съемки, а также рекогносцировочные обследования, позволяющие получить наиболее полную информацию о состоянии ледяного покрова рек.

В последние годы в ледовых исследованиях все чаще используются радиолокационные космические снимки [1, 2, 3]. Специалистами Северного УГМС ежегодный мониторинг прохождения весеннего ледохода и половодья с использованием данных ДЗЗ проводится с 2009 г. [4, 5]. В отличие от съемки в видимом диапазоне радиолокаторы позволяют получать изображение вне зависимости от облачности и от условий освещения. Записываемый сигнал, определяется геометрией съемки и физическими свойствами объекта. Для речного льда это, прежде всего, торосистость и влажность ледяного покрова и снега на льду. Сложность интерпретации радиолокационных изображений (РЛИ) обусловлена влиянием большого числа одновременно действующих факторов, которые необходимо учитывать при дешифрировании и анализе снимков.

В данной работе представлены результаты мониторинга ледовой обстановки с использованием радиолокационных снимков Sentinel 1 за 2 зимних сезона (2016–2017 и 2017–2018 гг.). Для контроля результатов дешифрирования использовались оптические снимки (OLI/Landsat-8 и MSI/Sentinel 2), данные гидрологических постов в пределах исследуемого участка, материалы наземных обследований, метеорологические данные.

Спутники Sentinel-1 производят съемку радиолокатором синтетической апертуры С-диапазона (5.405 GHz). Пространственное разрешение для режима IW (Interferometric Wide Swath) – 5×20 м, периодичность съемки для исследуемой территории – 12 сут. В работе использован продукт Level 1 (GRD), прошедший набор процедур предварительной обработки, с частично выполненной геометрической коррекцией [6]. С помощью специализированного ПО SNAP для всех РЛИ была проведена радиометрическая калибровка, фильтрация спекл-шума (refined Lee filter 7x7) и ортотрансформирование.

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. [7, 8].

В качестве исследуемого участка выбрана р. Сухона от п. Полдарса до устья, а также нижнее течение р. Юг и р. Малая Северная Двина. На участке ниже г. Великий Устюг созданы все

условия для образования мощных заторов. Морфологические особенности – крутой поворот русла реки в районе г. Великий Устюг и протяженный перекаточный участок р. Малая Северная Двина (перекаты Аристовские, Бобровниковские и Голодаевские)– способствуют практически ежегодному их образованию [9].

Зимние сезоны 2016–2017 гг. и 2017–2018 гг. отличались условиями формирования ледяного покрова. Продолжительность ледостава на р. Сухона в районе г. Великий Устюг составила 154 и 128 сут. соответственно (рис. 1).

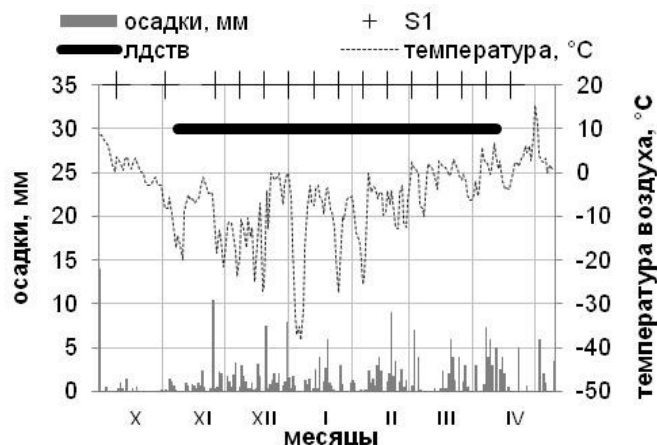


Рис. 1. Метеорологические и ледовые условия в 2016–2017 гг.

Осенью 2016 г. с 23 октября наблюдались отрицательные температуры воздуха, после непродолжительного шугохода на реках установился ледостав (рис. 1). Поверхность ледяного покрова в первые дни ледостава особенно четко отображается белым цветом на изображениях в VV- поляризации. На снимке от 26 ноября 2016 г. в устьях рр. Сухона и Юг, а также по р. Малая Северная Двина видны незамерзшие участки открытой воды (черный цвет). В первый месяц после установления ледостава выпало достаточное количество осадков, в результате наблюдался выход воды на лед и последующее ее замерзание. На снимках от 8 и 20 декабря 2016 г. выделяются участки смачивания снега на льду по р. Сухона. В результате сложившихся осенне-зимних условий к началу весеннего ледохода заторошенных участков не наблюдалось (рис. 2, снимок от 7 апреля 2017 г.). Вскрытие рек прошло спокойно, на относительно низких уровнях воды и без образования мощных заторов льда. К 25 апреля р. Сухона очистилась ото льда.

г. Великий Устюг



Рис. 2. РЛИ спутника Sentinel-1, 7.04.2017, поляризация VV

Осенью 2017 г. первые отрицательные среднесуточные температуры воздуха отмечали с 20 октября (рис. 3). В ноябре температура воздуха колебалась в районе 0°C, наблюдалось выпадение жидких осадков. Из-за неустойчивых погодных условий на реках сохранялись высокие уровни воды. Первые ледовые образования (сало, снежура, шуга и забереги) появились лишь в 3-ей декаде ноября. На снимке от 3 декабря по р. Сухона отмечается ледообразование, р. Юг – свободна ото льда (рис. 4). Установление ледостава по р. Сухона сопровождалось

торошением ледяного покрова. Участки повышенной шероховатости льда на снимке от 15 декабря 2017 г. отображаются ярким белым цветом (рис. 4). С 28 декабря по 4 января наблюдалась оттепель с температурами воздуха около 0...+1°C. Согласно наземным обследованиям на конец января 2018 г. высота торосов на р. Сухона в районе д. Порог и д. Каликино – до 1,0 м; на участке от д. Подсосенье до автодорожного моста г. Великий Устюг – до 1,5 м; в районе города – до 0,5 м. Снегопады в последних числах января и в начале февраля способствовали выравниванию поверхности реки, преимущественно в районе города, где высота торосов была наименьшей. При этом на зимних оптических снимках изменений состояния снега и льда не отмечалось.

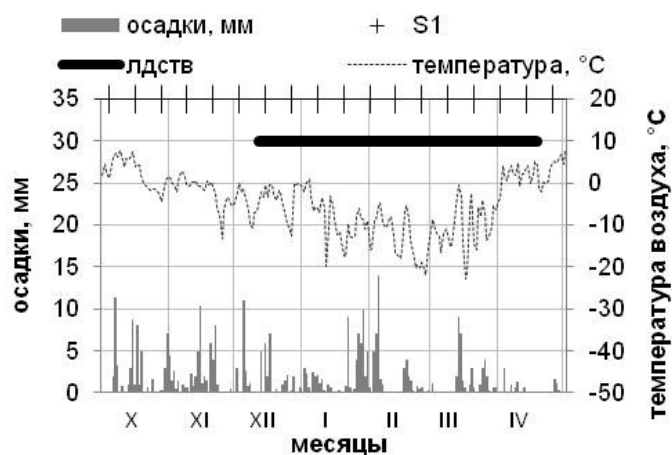


Рис. 3. Метеорологические и ледовые условия в 2017–2018 гг.

В течение всего ледоставного периода в узле слияния рр. Сухона и Юг и по р. Малая Северная Двина сохранялись полыньи. В первый месяц ледостава участки открытой воды хорошо выделялись на радиолокационных изображениях однородным черным цветом. Для получения информации о дальнейшем развитии полыньи в течение всего ледоставного периода привлекались данные оптических снимков.

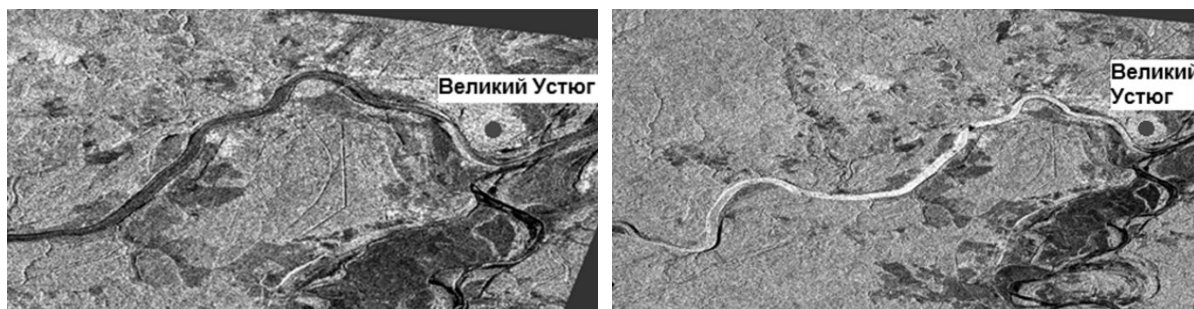


Рис. 4. РЛИ Sentinel-1, поляризация VV (слева – 3.12.2017, справа – 15.12.2017)

В марте и апреле 2018 г. преобладали ясные и малооблачные условия, что позволило проанализировать серию снимков оптического диапазона OLI/Landsat-8 и MSI/Sentinel-2 и отследить подготовку ледяного покрова рек к началу весеннего ледохода. В результате на 14 апреля 2018 г. оказались доступны как оптическое, так и радиолокационное изображения исследуемого участка (рис. 5). На снимках от 14 апреля 2018 г. отмечались участки потемневшего льда, заторошенные участки, а также полыньи. При сравнении двух изображений (РЛИ, VV-поляризация и оптического снимка MSI/Sentinel-2 в синтезе «естественного цвета») хорошо видны различия в получаемой разными способами информации о ледяном покрове (рис. 5).

Таким образом, совместное использование данных радиолокационных и оптических снимков, а также наземных обследований позволяет получить непрерывную по длине рек



информацию о ледовой обстановке в течение зимнего сезона. Такого рода информация необходима при составлении прогноза условий прохождения весеннего ледохода.

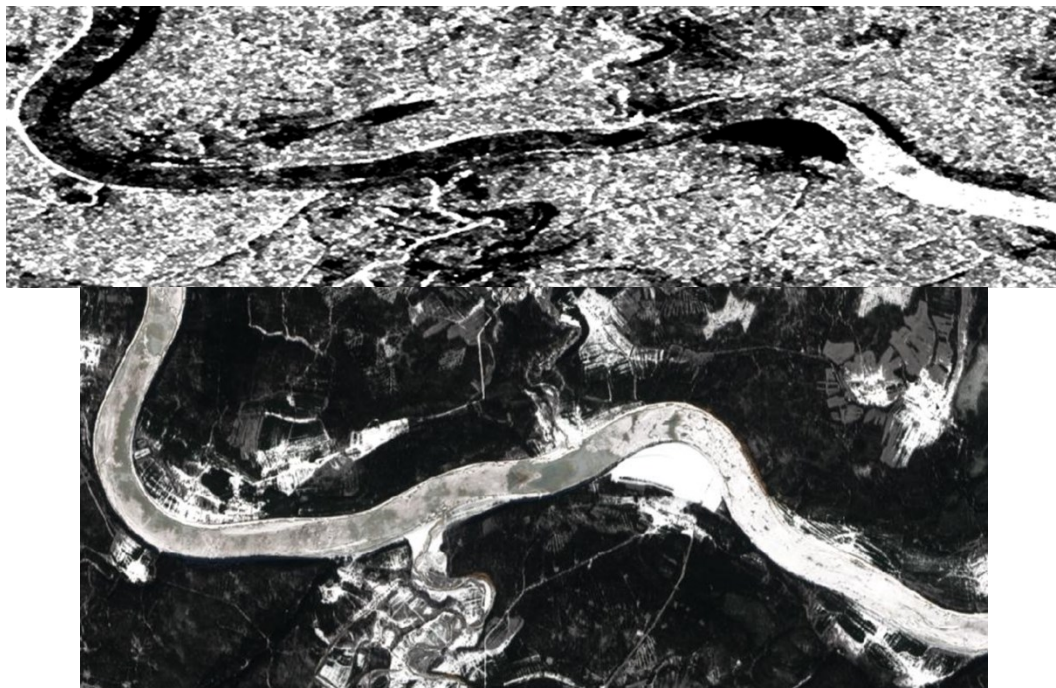


Рис. 5. РЛИ Sentinel-1, поляризация VV (сверху) и оптический снимок Sentinel-2 14.04.2018  
Примечание. На снимках участок р. Сухона в районе гп Каликино.

### Литература

1. Unterschultz K.D., Sanden J. Hicks F.E. Potential of RADARSAT-1 for the monitoring of river ice: Results of a case study on the Athabasca River at Fort McMurray, Canada // Cold Regions Science and Technology. 2009. Vol. 55. Is. 2. P. 238–248. doi: 10.1016/j.coldregions.2008.02.003
2. Lindenschmidt K-E., Sanden J., Demski A., Drouin H., Geldsetzer T. Characterising river ice along the Lower Red River using RADARSAT-2 imagery // 16th Workshop on River Ice. 2011.
3. Los H., Pawlowski B. The Use of Sentinel-1 Imagery in the Analysis of River Ice Phenomena on the Lower Vistula in the 2015-2016 Winter Season // Signal Processing Symposium. 2017. P. 1–5. doi:10.1109/sps.2017.8053663
4. Скрипник Е.Н., Васильев Л.Ю. Гидрометеорологические и ледовые условия в бассейнах рек Севера Европейской России в зимний период // Земля из Космоса. 2011. Вып. 10. С. 56–59.
5. Евтушенко Н.В., Никитский А.Н., Митькиных Н.С., Черемисова А.М., Скрипник Е.Н. Ежегодный спутниковый мониторинг весеннего половодья на реках России // Т-Comm. 2013. № 2. С. 22–24.
6. Sentinel-1 SAR User Guide Introduction, ESA URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar> [дата обращения 01.05.2018]
7. Landsat 8 Data Users Handbook, USGS <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-18-data-users-handbook> [дата обращения 01.05.2018]
8. Sentinel -2 User Handbook, ESA URL: [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook) [дата обращения 01.05.2018]
9. Агафонова С. А., Василенко А. Н., Фролова Н. Л. Факторы образования ледовых заторов на реках бассейна Северной Двины в современных условиях // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. № 2. С. 82–90.

*Благодарности. Особенности ледового режима исследованы в рамках гранта Российского научного фонда (соглашение № 14–37–00038П), сбор и обработка космических снимков – в рамках гранта РФФИ № 18-05-60021.*

*The features of the ice regime were investigated within the framework of the grant of the Russian Science Foundation (agreement No. 14–37–00038P), the collection and processing of satellite images were studied under the grant of the Russian Foundation for Basic Research No. 18-05-60021.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАЛИМЕТРИИ ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ УГРОЗ

В.И. Акселевич<sup>1</sup>, Г.И. Мазуров<sup>1</sup>, К.Ш. Хайруллин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

## USE OF A QUALIMETRY FOR THE RANKING OF NATURAL THREATS

V.I. Akselevich<sup>1</sup>, G.I. Mazurov<sup>1</sup>, K.S. Khairullin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Main Geophysical Observatory. A.I. Voeikov, St. Petersburg, Russia

*Рассматривается применение квалиметрии в гидрометеорологии и экологии. Проводится ранжирование гидрометеорологических и экологических проблем, групп опасных природных явлений по классификации МЧС с помощью экспертов с использованием информационно-статистического, термодинамического и объединенного методов, а также энергетического подхода.*

*The application of qualimetry in hydrometeorology and ecology is considered. The ranking of hydrometeorological and environmental problems, groups of dangerous natural phenomena according to the classification of the Ministry of Emergency Situations is conducted with the help of experts, using information-statistical, thermodynamic and combined methods, as well as the energy approach.*

Начиная с момента появления в 1968 г., квалиметрия была нацелена на оценку качества весьма сложных отечественных и зарубежных систем; ее методы позволяли рассчитывать показатели надежности систем, их технологичность, безопасность, эффективность, конкурентоспособность, а также учитывать другие свойства и признаки для сравнения с аналогами [1, 2, 3]. Приобретенный к настоящему времени опыт позволяет применить методы и приемы квалиметрии для оценки опасностей природного характера, метеорологических и экологических проблем сверхкрупных городов (СГ).

В большинстве случаев влияние атмосферных условий на технику, живые организмы и сооружения неблагоприятное, поэтому качество условий следует рассматривать с негативной стороны, т.е. со стороны оценки агрессивности, жесткости природных условий относительно людей и технических объектов.

Квалиметрия – это некоторое обобщение всех видов измерений и оценка их качества [4].

Известные методы оценки влияния атмосферных условий либо отвлеченно шкалируют и индексируют сами условия, либо классифицируют их по «механизмам поражений», по влиянию на отдельные процессы, конструкции и узлы. Эти методы имеют описательный или вероятностный характер с большим элементом субъективности.

Оптимизация климатической защиты населения и технических объектов, приведение ее в соответствие с реальным уровнем внешних воздействий окружающей среды невозможны без введения новых показателей климатических нагрузок

Для разрешения рассматриваемой проблемы целесообразно использовать методы и положения квалиметрии, в том числе, энергетическое энтропийное истолкование воздействий природных процессов и условий, а также их последствий.

Объектами исследования являются, как правило, агрессивные проявления и негативные признаки и свойства природных процессов и явлений относительно людей и технических объектов [5].

Энтропийно-временные показатели (включая комплексные) могут быть успешно использованы при решении следующих задач:

- при формулировании требований технических заданий на проектирование технических объектов;
- при обосновании выбора проектировщиками оптимальной, наиболее выгодной климатической защиты населения и материальных средств;
- при доказательстве адекватности нагрузок, развиваемых режимами испытаний в камерах искусственного климата, нагрузкам, испытываемым в натуральных условиях в открытой экспозиции в атмосфере;

- при адаптации режима обслуживания к скорости расхода ресурса техники и ресурса ее климатической защиты в конкретных природных условиях географического района;
- при прогнозировании конечных эффектов от процессов, подверженных влиянию погоды и климата, по реализованной части временной траектории в сравнении с аналогичной частью траектории, выбранной за «базовый эталон»;
- при отслеживании временных изменений природных условий [6].

Попробуем расставить основные гидрометеорологические и экологические опасности по мере их значимости. Возьмем за основу несколько вариантов.

Первое экспертное мнение о значимости той или иной опасности, которое может быть субъективным. Далее следуют оценки с помощью информационно-статистического, термодинамического и объединенного методов, а также энергетического подхода.

Обоснуем экспертный подход. Авторы предлагают здесь 2 основных варианта оценки значимости факторов для жизнедеятельности в СГ.

Первый вариант основывается на следующем. Поскольку вклад акустического загрязнения составляет примерно 70-75% от всех экологических загрязнений, то придадим шуму вес 70 баллов. На втором месте по значимости идет аэрозольная шапка, образующаяся над крупными городами. Дадим этой проблеме 6 баллов. Загазованность, задымление и запыленность приводят к увеличению загрязнения атмосферы и являются частью аэрозольной шапки. Эти факторы отрицательно влияют на самочувствие и здоровье, а также ухудшают видимость. Соответственно вес этой опасности 5 баллов. Электромагнитное излучение включает в себя широкий диапазон волн: от рентгеновских до сверхдлинных. Это настоящий бич для жителей города, незаметно, но неуклонно ослабляющий их здоровье. Главное, что сегодня излучения все больше пронизывают жизнь больших городов. При этом их воздействие на состояние здоровья остается недоизученным. Присвоим электромагнитному излучению вес в 4 балла.

Остров тепла способствует возникновению задерживающего слоя, и вместе с аэрозольной шапкой они затрудняют прохождение через атмосферу длинноволнового излучения подстилающей поверхности. Это 3 балла. Пестрое альbedo способствует развитию вертикальных движений кучево-дождевых облаков и возникновению мезонеоднородностей (МЗН). Будем считать вес данной опасности равным 2 баллам.

Всем остальным 10 опасностям присвоим по 1 баллу исходя из различных соображений. Это особенности стока, световые загрязнения, особенности изменения прозрачности воздуха, особенности ветрового режима, особенности выпадения атмосферных осадков, особенности радиационного режима, особенности испарения, особенности распределения облачного покрова, авиационно-метеорологические и биометеорологические проблемы сверхнебоскрегов, опасности стихийных бедствий для СГ.

Серьезную опасность для СГ представляют неисправные или устаревшие системы стоковой канализации, приводящие к затоплению зданий и магистралей. Чрезмерное ночное освещение ведет к перерасходу электроэнергии и увеличению выбросов парниковых газов.

Распространённые источники белого света с большим удельным весом голубого света в спектре мешают ориентации многих видов насекомых, ведущих ночной образ жизни, а также сбивают с пути перелётных птиц, старающихся облетать очаги цивилизации. Согласно наблюдениям, каждый уличный светильник ежедневно является причиной гибели 150 насекомых. Не до конца исследовано воздействие светового загрязнения на хронобиологию человеческого организма. Из очевидных последствий световых загрязнений нужно отметить менее крепкий сон, и, как следствие, быструю утомляемость.

Информационно-статистический метод учитывает в расчетах явления погоды, наблюдаемые визуально. Энтропия – это мера рассеяния энергии. Скорость производства энтропии рассчитывается в бит/с.

Термодинамический метод основан на каноническом определении величины энтропии. Энтропия как термодинамическая форма характеризует состояние системы и возможности ее разрешения. Термодинамический метод определяет 2 энтропийно-временных показателя.

Объединенный метод основан на применении эквивалента информационной и термодинамической энтропий.

Энергетический подход позволяет создать обобщенную модель взаимодействия объекта и среды. Всего насчитывается 26 элементарных форм движения для макромира [7].

При существующем многообразии влияющих атмосферных факторов и разнообразии подверженных этому влиянию объектов основным и приоритетным для решения задачи их классификации представляется энергетический подход с использованием энтропийного аппарата, его энтропийно-временных показателей. Говоря о взаимодействии объектов, под которыми мы будем понимать человека, строения, машины и механизмы, приборы, естественные природные объекты и т.п. со средой, следует, в первую очередь, определить агрессивность окружающей среды. Согласно [8] агрессивность среды является достаточно условным понятием и может быть определена только по отношению к заранее выбранным нормальным условиям. В качестве критерия оценки агрессивности среды целесообразно использовать парциальную энергию одного моля материала среды (для атмосферы – воздуха, для гидросферы – воды и т.д.). Суммирование текущих значений критерия позволит получить интегральные значения агрессивности среды за отдельные периоды времени.

Если механические энергии образцов, различающихся составом наполняющей их смеси или фазовым состоянием веществ, равны, то агрессивность окружающей среды можно оценить только через разность энергий термодинамического ансамбля форм движения.

Энтропийный способ назначения эквивалентных испытаний позволяет провести обобщенную оценку агрессивности через величину термического заряда диссипации. В этом случае мощность воздействия среды на объект определяется скоростью производства термического заряда диссипации, а интегральное воздействие за выбранный период – суммой произведенного термического заряда.

В [9] приведены таблицы средних месячных характеристик климатических районов по скорости производства термического заряда диссипации при поглощении солнечной радиации и по суммарному количеству термического заряда диссипации, произведенному при поглощении солнечной радиации. Термодинамический метод позволяет также оценить агрессивность атмосферы из-за механических воздействий осадков.

В метеорологии сложной проблемой при решении квалиметрических задач является выбор критериев для комплексной оценки многофакторных проблем. При оценке веса параметров, входящих в итоговый результат наиболее правильным способом является их выражение в единых физических показателях. Так, одним из авторов [10] при расчете термического режима стен зданий ее температура складывалась из температуры воздуха, радиационной термической добавки и поправки температуры за счет скорости ветра. Еще более сложной является комплексная оценка различных метеорологических факторов, влияющих на здоровье человека. При подготовке [11] Н.В. Кобышева разработала методику условных единиц, которая позволяет в балльной системе суммировать климатические ресурсы основных метеорологических характеристик для различных отраслей экономики и здравоохранения. Например, для биоклиматических ресурсов были определены критерии (К.Ш. Хайруллин и В.Н. Карпенко), которые затем были представлены в виде условных единиц для всех субъектов РФ. Условные единицы позволили просуммировать интенсивность солнечной радиации, температуру воздуха, относительную влажность, скорость ветра и давление в один показатель. Затем с учетом метеотропности они были параметризованы, что позволило оценить весовой вклад каждой характеристики в различных районах РФ [12].

Таблица 1. Оценка дискомфорта. Зима.

Город	Температура < -25°		Относительная влажность > 80%		Всего дней дискомфорта
	Число дней	Вклад в %	Число дней	Вклад в %	
Москва	4	4	56	62	90
Якутск	117	64	16	9	183
Санкт-Петербург	2	2	60	74	81

Балльная система позволила построить карты рекреационно-климатических ресурсов, санитарно-гигиенических ресурсов климата, физиолого-климатических ресурсов теплового состояния человека, лечебно-профилактических ресурсов для сердечно-сосудистых заболеваний, болезней органов дыхания, ревматических, простудных и туберкулезных заболеваний [13].

## Литература

1. Азгальдов Г.Г., Азгальдова Л.А. Количественная оценка качества. Квалиметрия. М., Из-во стандартов, 1971, 176 с.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М., Изд. иностранной лит., 1963, 414 с.
3. Cox Mark R. A numeric classification of climate. — Geogr. Bull. Camma Thete Upsilon., 1984, v. 25, pp. 29-36.
4. Субетто А.И. Социальная Ноосферная квалиметрия в системе Неклассической социологии. – Кострома: Изд-во КГУ им. Н.А. Некрасова, 2006. – 40 с.
5. <http://www.dissercat.com/content/metodologiya-rascheta-kompleksnykh-otsenok-agressivnosti-pogodno-klimaticheskikh-uslovii-dly#ixzz5Ic40EsCs>
6. Кожевников Б.Л. Методология расчета комплексных оценок агрессивности погодно-климатических условий для технических целей. Дисс. доктора техн. наук, 2010. – 239 с.
7. Вейник А.И. Термодинамика. – Минск: Высшая школа, 1968. – 464 с.
8. Кожевников Б.Л. Оценка агрессивности атмосферных условий эксплуатации метеорологических средств измерений. // Труды ГГО, вып.452, 1981. – С. 21-27.
9. Кожевников Б.Л. Влияние радиационных воздействий на старение метеорологических приборов. // Труды ГГО, вып.465, 1982. – С. 55-59.
10. Хайруллин К.Ш. Оттепели на территории СССР. Л., Гидрометиздат, 1969. – 90 с.
11. Энциклопедия климатических ресурсов РФ. Под ред. Кобышевой Н.В. и Хайруллина К.Ш. СПб., Гидрометиздат, 2005. – 320 с.
12. Хайруллин К.Ш., Щукин Г.Г. Квалиметрический метод оценки неблагоприятных климатических условий. / Тезисы Международной конференции по проблемам метеорологической безопасности. 26-29 сентября 2006 г., Москва, Россия. – С. 135..
13. Хайруллин К.Ш., Карпенко В.Н. Биоклиматические ресурсы России./ В кн. Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей под ред. Хайруллина К.Ш. СПб., Гидрометеоиздат, 2005. – С. 25-73.

## О СВЯЗИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В АНТАРКТИКЕ С ОСОБЕННОСТЯМИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

В.Я. Александров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ON THE CONNECTION OF ICE FORMATION IN ANTARCTICA WITH THE PECULIARITIES OF ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE SOUTHERN POLAR REGION

V. Ya. Alexandrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Рассматривается ледовый режим на западе Антарктического полуострова (Южные Шетландские острова, российская антарктическая станция Беллинсгаузен) в связи с продолжающимся глобальным потеплением. При исследовании продолжительности ледового периода выявлено, что с 1968 года происходило его плавное сокращение. К 2006 году продолжительность ледового периода сократилось в два раза, а толщина образующегося льда – в три раза. Показано, что продолжительность ледового периода и толщина припая обратно пропорциональны температуре воздуха. Сделан вывод о том, что продолжительность ледового периода и толщина припая в бухте Ардли также связаны с формами циркуляции атмосферы в Южной полярной области.*

*The ice regime in the West of the Antarctic Peninsula (South Shetland Islands, Russian Antarctic station Bellingshausen) is considered in connection with the ongoing global warming. In the study of the duration of the ice age revealed that since 1968 there was a gradual reduction. By 2006, the length of the ice age had halved and the thickness of the ice formed had tripled. It is shown that the duration of the ice period and the thickness of the solder are inversely proportional to the air temperature. It is concluded that the duration of the ice period and the thickness of the solder in Ardley Bay are also associated with the forms of atmospheric circulation in the southern polar region.*

В Антарктике за последние 50 лет произошло потепление климата. В основном потеплеела Западная Антарктида. Наиболее ярко потепление проявилось в регионе Антарктического п-ва. Причем современное потепление наиболее сильно выражено с середины 80-х г. прошлого века.

Потепление на Антарктическом п-ве протекает на фоне глобального повышения температуры воздуха (в 70-е г. прошлого века отмечено увеличение глобальной температуры на 0,15°C за десятилетие).

Изменение океанографического и ледового режимов, наряду с другими факторами, также могут поддерживать потепление на западе Антарктического полуострова. Проникновение относительно теплой циркумполярной глубинной воды на шельф западного побережья полуострова [1] может способствовать таянию морского льда и, через механизм обратных связей в климатической системе, оказывать влияние на потепление в атмосфере. Акватории, разделяемые Антарктическим полуостровом, различаются по ледовым условиям. В море Уэддэлла западнее 40 град. з.д. располагается ядро Атлантического ледового массива, привязанного к экстремально холодным водам западного морского шельфа [3]. Это ядро сложено многолетним льдом толщиной около 2 м (в прибрежной зоне – до 4 м и более) [4]. Однолетние льды у тихоокеанского побережья полуострова подстилаются водами круговорота Беллинсгаузена и испытывают отепляющее воздействие циркумполярных глубинных вод, которые здесь наиболее близко подходят к континенту. В то же время район Южных Шетландских островов, в особенности пролив Брансфилд, подвержен сильному влиянию уэддэлломорских шельфовых вод. Поступление их в холодный период года, наряду с приносимыми льдами и айсбергами, активизирует процессы местного ледообразования [5].

Наиболее продолжительным рядом ледовой информации по району Южных Шетландских островов являются данные прибрежных наблюдений на ст. Беллинсгаузен, находящейся на берегу бухты Ардли в вершине залива Максвелл. Рассмотрим изменения продолжительности ледового периода (промежуток времени от начала устойчивого ледообразования до окончательного очищения бухты Ардли) по данным ст. Беллинсгаузен. В течение первого

десятилетия (1968-1978 гг.) происходило плавное сокращение ледового периода, длительность которого обычно достигала полугода (рис.1).

В период 1979-1995 гг. отмечалось увеличение размаха межгодовых колебаний продолжительности ледового периода. Нередкими стали случаи, когда вовсе не образовывался устойчивый припай. В 1996-2006 гг. ледовый период в районе ст. Беллинсгаузен ни разу не достигал полугода, сократившись в среднем до трех месяцев.

В сравнении с периодом 1968-1978 гг. ледообразование происходило на полтора месяца позже, тогда как очищение ото льда, напротив, примерно на месяц раньше. Отсутствие окончательного замерзания бухты Ардли практически стало нормой (в 2004 году припай вообще не образовался) В среднем припай существовал не более двух месяцев с августа по сентябрь и не превышал по толщине 70 см [5,6].

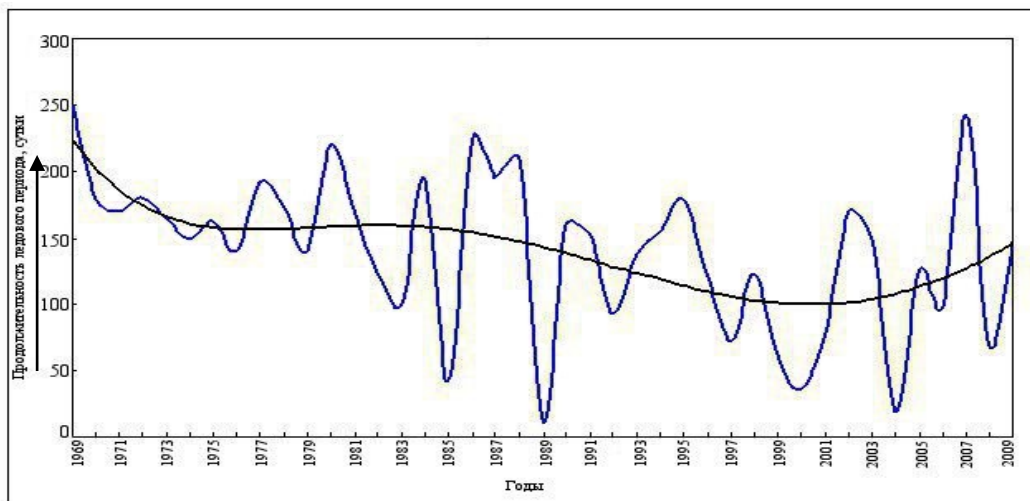


Рис. 1. Продолжительность ледового периода (сутки) в бухте Ардли (залив Максвелл, о.Кинг-Джордж, Южные Шетландские о-ва) за период 1969-2009 гг [4].

Таким образом, ледовые условия в районе Южных Шетландских островов за последние 40 лет претерпели существенные изменения. Продолжительность ледового периода в бухте Ардли сократилась в среднем с шести до трех месяцев, а толщина образующегося льда уменьшилась с 90 до 30 см (рис.2).

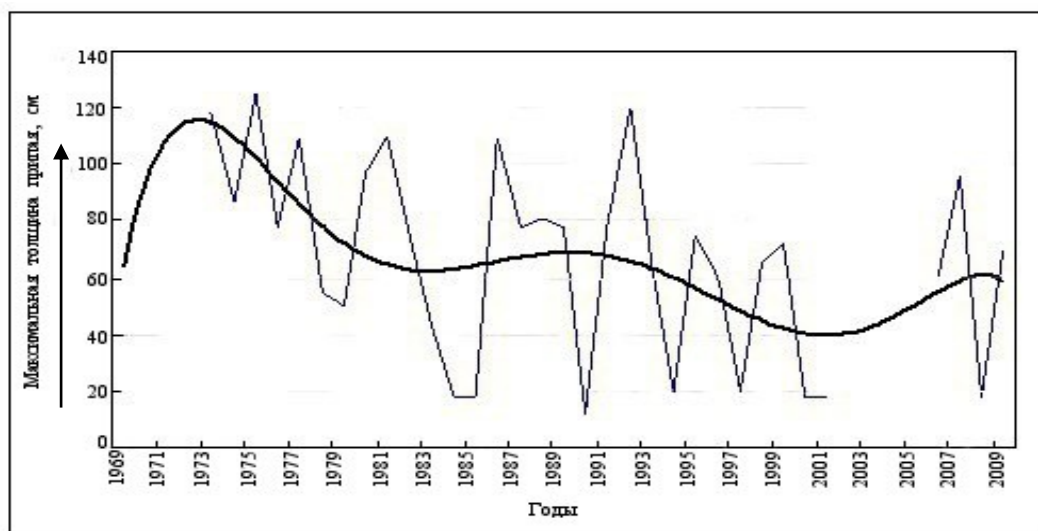


Рис. 2. Максимальная толщина припая в районе станции Беллинсгаузен за период 1969-2009 гг.[4]

Начиная с 2001 года наметилась тенденция к увеличению периода зимнего замерзания (это видно, если проанализировать полиномиальную кривую на рисунке). Этот вывод согласуется с ходом полиномиальной кривой на рисунке 1, судя по которой, начиная с 2004 года, наметилась тенденция к похолоданию. При сравнении рисунков 1 и 2 с рисунком 3 можно заключить, что продолжительность ледового периода и толщина припая обратно пропорциональны температуре воздуха.

В [2] была показана связь температуры воздуха на станции Беллинсгаузен с формами циркуляции атмосферы в Южной полярной области. Следовательно, можно предположить, что продолжительность ледового периода и толщина припая в бухте Ардли также связаны с формами циркуляции.

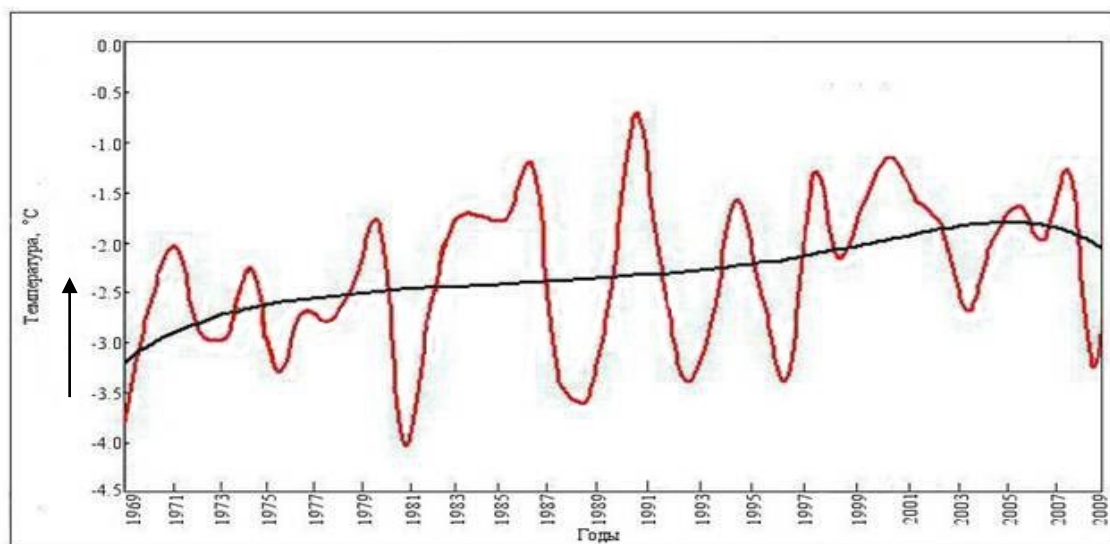


Рис. 3. Изменение среднегодовых аномалий температуры воздуха на станции Беллинсгаузен за период 1969-2009 гг. [4]

Колебания климата планеты свидетельствуют о существовании многолетних колебаний и в общей циркуляции атмосферы.

Атмосферная циркуляция является основным фактором, формирующим метеорологический режим. Изменения полей основных метеорологических величин связаны с крупномасштабными атмосферными процессами [2]. Типы синоптических процессов над умеренными и высокими широтами Южного полушария, выделенные по общим чертам воздушного переноса в тропосфере, были использованы при установлении форм циркуляции атмосферы.

В Южной Полярной области наблюдаются три формы атмосферной циркуляции (рис.4): *зональная (Z)* – характеризуется смещением циклонов по широтным траекториям, с запада на восток в поясе умеренных и субантарктических широт, то есть кольцевая циклоническая деятельность вдоль побережья Антарктиды. При этой форме циркуляции междуширотный обмен воздушных масс ограничен.

Формы *меридиональной циркуляции (Ma, Mb)* связаны с нарушением западно-восточного переноса. Признаки этих форм – выходы циклонов из районов зарождения по меридиональным траекториям. В тыловых частях этих циклонов развиваются гребни высокого давления антарктического антициклона, которые часто соединяются с антициклонами тропического пояса. Формы циркуляции Ma и Mb во многом противоположны друг другу. Особенно сильное влияние на регион Антарктического полуострова оказывает глубокая и обширная двуцентровая депрессия с центрами над морями Беллинсгаузена и Уэдделла, которая поддерживается за счет выхода циклонов с севера по южноамериканской ветви траекторий.

Из анализа рисунка 4 следует, что процессы формы Ma были в прогрессивной стадии своего развития в 1976, 1977, 1980, 1984-1986 и 1988 годах. В эти же годы наблюдалась и максимальная продолжительность ледового периода в бухте Ардли, а в 1977 и 1980 годах наблюдалась максимальная толщина припая. При анализе аналогичных графиков с формами Mb и Z такой



связи не обнаружилось. Следовательно, можно заключить, что при форме Ма циркуляции атмосферы наблюдается максимальная продолжительность ледового периода в бухте Ардли.

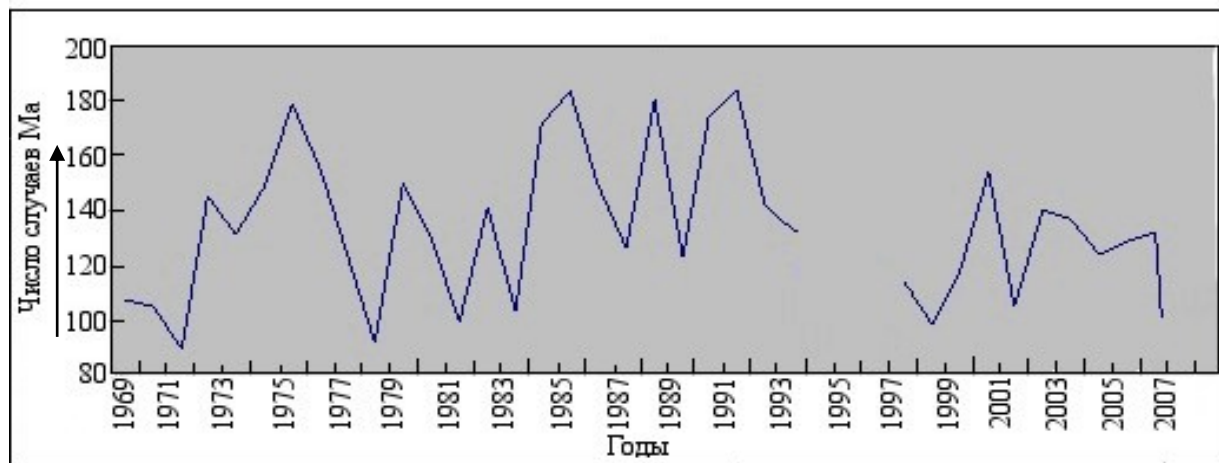


Рис. 4. Годовые суммы количества случаев формы Ма циркуляции атмосферы в Южной полярной области за период 1969-2009 гг.[4]

#### Литература

1. 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 Bindshadler, 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.
2. Александров В.Я. Климат Антарктического полуострова и его изменения. Монография. – СПб, изд. РГГМУ, 2014 – С.70 – 77.
3. Коротков А.И. Основные итоги и перспективы исследований ледового режима Южного океана [Текст] / А.И. Коротков // Проблемы Арктики и Антарктики.– 1995.– Вып. 70. – С. 84 –103.
4. Лагун В.Е. О потеплении в районе Антарктического полуострова [Текст] / В.Е. Лагун, А.В. Клепиков, А.И. Данилов, А.И. Коротков // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2010. – Вып 85.– С. 90–100.
5. Лагун В.Е. Изменения гидрологических условий в районе Антарктического полуострова в режиме регионального потепления [Текст] / В.Е. Лагун, Н.Е. Иванов, А.И. Коротков, А.В. Клепиков, С.В. Яговкина // «Международная научная конференция «Морские исследования полярных областей Земли в Международном Полярном году 2007/08» Программа и тезисы докладов. – СПб.– ААНИИ.– 2010.– С. 140–141.
6. Гудкович З.М. О характере и причинах изменений климата Земли [Текст] / З.М. Гудкович, В.П. Карклин, В.М. Смоляницкий, И.Е. Фролов // Проблемы Арктики и Антарктики.– №1(81).– 2009.– С. 15–23.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Р.М. Алоярров<sup>1</sup>, А.М. Федоров<sup>1</sup>, Т.В. Белоненко<sup>1</sup>, д-р геогр. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## A STUDY OF STERIC LEVEL OSCILLATION IN THE NORTHWESTERN PART OF THE PACIFIC: SATELLITE DATA ANALYSIS

R.M. Aloiarov<sup>1</sup>, A.M. Fedorov<sup>1</sup>, T.V. Belonenko<sup>1</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Целью данной работы является исследование стерических колебаний в северной части Тихого океана, включающей северо-западный бассейн Тихого океана, на основе комплексного использования спутниковых альтиметрических и гравиметрических измерений. Указанная цель достигается путем решения следующих задач: обзор литературы по теме исследования, физико-географическое описание исследуемого района, расчет стерических колебаний уровня по комбинированным спутниковым альтиметрическим данным и измерениям спутника GRACE, нуждающиеся в синхронизации, построение карт для северной части Тихого океана. По полученным данным были проанализированы сезонная и межгодовая изменчивости уровня в северной части Тихого океана. Были рассчитаны тренды, был оценен вклад стерических колебаний, которые составляют чуть менее половины изменчивости уровня в данной акватории. Также для стерических колебаний была построена карта коэффициентов линейного тренда. Сделанные расчеты позволили выделить северо-западную часть Тихого океана, где значения стерических колебаний уровня наиболее высокие.*

*The aim of this work is to study steric oscillation in the North Pacific, including the northwestern Pacific, based on the integrated use of satellite altimetric and gravimetric measurements. This goal is achieved by solving the following tasks: review of the previous literature on the research topic, physiographic description of the study area, calculation of steric level oscillation from combined satellite altimetry data and GRACE satellite measurements, mapping of the North Pacific. We analyzed the seasonal and interannual variability of the level in the North Pacific according to the data obtained. Trends were calculated, the contribution of steric oscillation was estimated, which is slightly less than a half the variability of the level in this area. A map of linear trend coefficients was also constructed for steric oscillation. The calculations made allow us to distinguish the northwestern Pacific, where the values of the steric oscillation of the level are the highest.*

Исследованию стерических колебаний было посвящено много работ. История исследований тесно связана с развитием приборов и методов, позволяющих рассчитывать влияние плотностной изменчивости в уровне моря. Первейшие работы были основаны на данных, полученных in-situ, но ограниченность по пространству и времени не позволяла изучать стерические эффекты в более крупных масштабах.

Стерические колебания уровня океана происходят из-за вертикального расширения или сжатия морской воды, которые связаны с изменением плотности воды  $\rho$  или удельного объема  $\alpha$  без изменения массы воды [1,3].

Особую актуальность приобретает проблема возможных колебаний уровня океана в связи с дискуссией о повышении уровня Мирового океана и механизмах антропогенных изменений [2].

### **Материалы и методы исследования.**

Суть метода [4,5] оценки стерических колебаний с использованием комбинированных спутниковых альтиметрических и гравиметрических измерений состоит в следующем выражении:

$$UM = UM_{\text{масс.}} + UM_{\text{стер.}}, \quad (1)$$

где  $UM$  – альтиметрические измерения, основанные на превышении уровня относительно геоида (абсолютная динамическая топография);  $UM_{\text{масс.}}$  – уровень, который связан с массой высоты столба жидкости; изменения массы объясняются процессами взаимодействия океана и атмосферы, также включая приток пресной воды и таяние льда, изменения массы столба жидкости фиксируются гравиметрическими измерениями;  $UM_{\text{стер.}}$  – уровень, обусловленный вкладом стерических колебаний.

Альтиметрические данные, используемые в работе, представляют собой мультиспутниковый продукт (спутники Jason-3, OSTM/Jason-2), взятый из архива AVISO (Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/my-aviso.html>). Данные массива абсолютной динамической топографии имеют суточную дискретность и доступны за период 1993-2017 гг., значения высоты поверхности моря над геоидом предоставлены на четверть-градусной сетке. Данные GRACE позволяют определить массу столба жидкости, пересчитываемую далее в высоту. Данные были получены с сайта лаборатории NASA GRACE TELLUS (<https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/monthly-mass-grids-ocean/>). В используемом ряде данных также содержались пропуски, обусловленные различными техническими причинами.

#### Результаты.

В ходе работы были получены следующие результаты:

- Метод оценки стерических колебаний, основанный на комбинировании спутниковых данных, представляет большие перспективы для исследования данного процесса по всему Мировому океану.
- Уровень моря в северной части Тихого океана по данным абсолютной динамической топографии имел тенденцию к росту за 2003-2016 гг. на 3,6 мм/год, что согласуется с общим ростом уровня Мирового океана, равному 3,5 мм/год [6].
- Вклад в изменчивость уровня в северной части Тихого океана на 50% вносит трендовая составляющая уровня, обусловленного массовыми силами (1,8 мм/год при уровне значимости 0,05).
- Полученные результаты, в целом, подтверждают результаты оценки вклада стерических колебаний в уровень океана [7].
- Значение тренда для стерических колебаний уровня 1,7 мм/год (уровень значимости 0,05). Исходя из общего значения роста уровня, вычисленного по альтиметрическим данным, рост уровня стерических колебаний составляет 47,2% от увеличения уровня в северотихоокеанской части Мирового океана.
- На основе анализа карты распределения коэффициентов линейного тренда при уровне значимости 0,1 в северной части Тихого океана, представленной на рисунке 1, были выделены три основных района: два с положительным значением тренда (северо-западная часть Тихого океана, где наблюдались максимальные значения коэффициентов линейного тренда (до 2 см/год), и восточная часть акватории тропических и экваториальных вод), и один с отрицательным ( $5^{\circ}$ - $32^{\circ}$  с.ш. и  $120^{\circ}$ - $160^{\circ}$  в.д.).

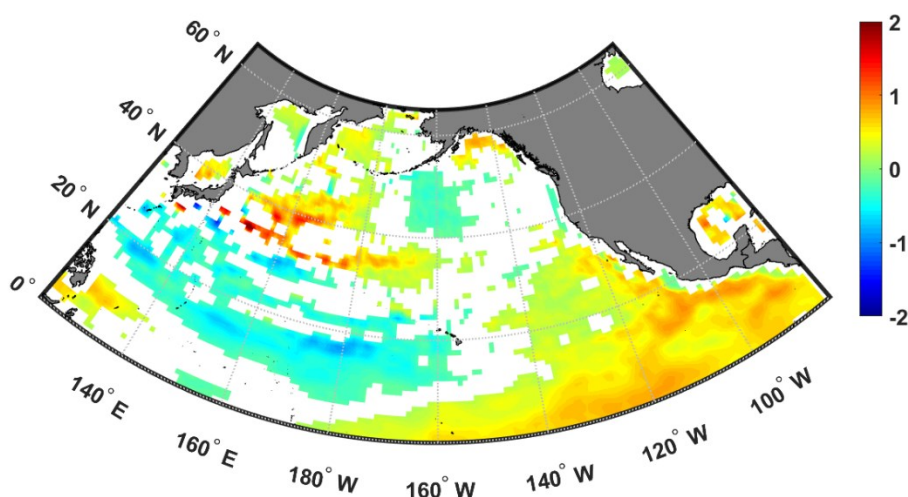


Рис. 1. Пространственное распределение трендов стерических колебаний (см/год) в северной части Тихого океана за период 2003-2016 гг. с учетом критерия Стьюдента (уровень значимости 0,1).

- Для северо-западной части Тихого океана ( $33^{\circ}$ - $42^{\circ}$  с.ш.,  $140^{\circ}$ - $180^{\circ}$  в.д.) рост уровня составил 8,3 мм/год, что в 2,3 раза больше, чем для всего северотихоокеанского бассейна.

- Сезонная изменчивость стерических колебаний уровня наблюдается в следующем: весной преобладают значения уровня с максимальными по модулю отрицательными аномалиями, а осенью, наоборот – с максимальными положительными аномалиями.
- Для северо-западного бассейна наблюдался рост уровня стерических колебаний. Это подтверждает значение тренда (уровень значимости 0,05), равное 3,2 мм/год (38,5% от уровня для всего северо-западного бассейна). Само значение тренда почти в 2 раза больше, чем для всей северной части Тихого океана. Однако вклад в изменчивость уровня северо-западной части океана меньше на 8,7%, чем в целом по бассейну.
- В северо-западной акватории вклад уровня, обусловленного массовыми силами, в изменчивость уровня является более значительным, чем для всей северной части Тихого океана (54,2% против 50%).

### **Литература**

1. Белоненко Т.В., Колдунов А.В. Стерические колебания уровня в северо-западной части Тихого океана // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2006. Вып. 3. С. 81-88.
2. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 260 с.
3. Провоторов П.П. Стерические колебания уровня моря // Сборник «Колебания уровня в морях». Санкт-Петербург. 2003. С. 129-138.
4. Chambers D.P. Observing seasonal steric sea level variations with GRACE and satellite altimetry // Journal of Geophysical Research/ 2006. 111 (C3). C03010.
5. Lombard A., García D., Ramillien G., Cazenave A., Biancale R., Lemoine J.M., Flechtner F., Schmidt R., Ishii M. Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data // Earth Planet Sci Lett. 254. 2007. 194–202.
6. Nerem R.S., Chambers D.P., Choe C., Mitchum G.T. Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions// Journal Marine Geodesy, 2010. 435-446.
7. Purkey S.G., Johnson G.C., Chambers D.P. Relative contributions of ocean mass and deep steric changes to sea level rise between 1993 and 2013 // Journal of Geophysical Research, 2014. 119, 7509–7522

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-00452 и 17-05-00034*

*This work was supported by RFBR grants No. 16-05-00452 and 17-05-00034.*

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Д.Р. Амаро Медина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## INTEGRAL ASSESSMENT OF ECOLOGICAL WELL-BEING OF WATER OBJECTS

D.R. Amaro Medina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются теория, методология и опыт применения методов интегральной оценки для характеристики экологического благополучия (ЭБ) водных объектов. Приводятся модели и результаты интегральной оценки ЭБ ключевых систем.*

*The theory, methodology and experience of the integral assessment methods of ecological well-being (EW) are considered. The models and results of the EW assessment are presented.*

### Введение.

Вопросы оценки экологического состояния, экологического статуса, экологического благополучия и здоровья сложных природных систем начали активно обсуждаться в научной литературе в конце XX века в связи с развитием методов оценки эмерджентных свойств сложных систем в природе и обществе. Необходимость создания интегрального показателя экологического благополучия или «экологического паспорта реки» обсуждается с конца 1960-х годов до наших дней [1, 2].

В исследовании объектом изучения является речная система (РЧ). Под РЧ здесь будет пониматься система, состоящая из двух подсистем «водоток» и «водосбор», для каждой из которых определяется совокупность параметров, по которым будет производиться оценка экологического благополучия (ЭБ). Для каждой подсистемы будет рассчитываться интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ) для ключевых геосистем. Предметом исследования в работе является экологическое благополучие.

### Материалы и методы.

Для оценки экологического статуса и благополучия экологической ситуации в большинстве случаев используются обобщенные индексы в виде авторских  $d$  – функций или функций желательности. Они представляют собой способы перевода натуральных значений в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. Необходимость введения функций желательности определяется различной размерностью переменных, входящих в индекс, что не позволяет усреднять их без каких-либо преобразований и необходимостью изменения весовых коэффициентов при изменении приоритетов оценивания.

В данном исследовании в качестве аналитической  $d$ -функции используется линейная свертка нормированных равновесных (неравновесных) значений критериев. Для нормирования используются: неубывающая и невозрастающая кусочно-степенные функции [3].

Диапазон изменения результата нормирования  $q_i$  находится в пределах от 0 до 1. В исследовании, «0» соответствовал высшему значению экологического благополучия, а «1» – низшему.

После нормирования значений параметров вводится интерпретирующая функция  $Q(q) = Q(q_1, \dots, q_m)$ , преобразовывающая нормированные показатели  $q_1, \dots, q_m$  в единый интегральный показатель  $Q = Q(q)$ , сопоставляя,  $j$ -му свойству некоторую числовую оценку  $Q^{(j)} = Q(q^{(j)}) = Q(q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$ . В качестве синтезирующей функции выбрана функция вида  $Q = q(q, w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum q_i w_i$ .

### Результаты и их обсуждение.

Для создания классификации экологического благополучия речных систем были отобраны 63 критерия. Классификации создавались с использованием авторских оценочных шкал, входящих в различные оценочные классификации: продуктивности, качества сред (вода, атмосфера, почва), устойчивости и др.

Для оценки экологического благополучия для подсистемы водотока был выбраны параметры, образующие группы: 1-морфометрические и физико-географические, 2-

климатические, 3-гидрологические, 4-гидрохимические, 5-гидробиологические, 6-самоочищение, 7-риски загрязнения и устойчивость водотока. Для подсистемы водосбора также были выбраны соответствующие критерии оценки, образующие блоки: 1-благоприятность климата, 2-качество и загрязнение атмосферного воздуха, 3-качество и загрязнение почвы, 4-потенциальная устойчивость водосбора, 5-устойчивость почв.

В результате нормирования для подсистем реки и водосбора были получены шкалы интегральных показателей внутри каждой группы параметров (интегральный показатель 1-го уровня свертки) и между группами параметров (интегральный показатель 2-го уровня свертки или шкалы сводных показателей). На первом этапе величина интегрального показателя рассчитывалась при условии задания равных приоритетов (весов) для параметров, входящих в группу «водоток» и для параметров, входящих в группу «водосбор».

Одним из этапов исследований, важным для доказательства адекватности получаемых результатов, на наш взгляд, является разработка и реализация тестовых сценариев. Выполнение таких расчетов обусловлено необходимостью подтверждения применимости созданной модели-классификации для выполнения дальнейших исследований для водотоков и водосборов, различающихся по своим свойствам и их сочетаниям. В связи с этим рассмотрено 8 тестовых сценариев: четыре для водотока и четыре для водосбора. По результатам расчетов по сценариям 1 - 8 был сделан вывод о том, что разработанная классификация объективно отражает различные сочетания свойств водотока и водосбора таким образом, что разным комбинациям сочетаний соответствуют разные классы ЭБ. При этом в рамках «АСПИД» и «APIS» учитывается точность и достоверность полученных результатов [4]. Из результатов следует, что значения ИПЭБ, рассчитанные для чистых, устойчивых, разнообразных по составу, имеющих низкие риски загрязнения, сравнительно высокое самоочищение водотоков и водосборов, имеют более высокие классы ЭБ (I и II), а для водотоков и водосборов, имеющих альтернативные свойства – более низкие классы (III - V).

Для оценки влияния приоритетов (весов) на ИПЭБ речной системы были выполнены расчеты для трех вариантов задания весов на втором уровне свертки показателей: 1 – равновесность; 2 - антропоцентризм (акцент на жизнеобеспечение человека, общества, их ресурсообеспечение, использование санитарно-гигиенических регламентов и нормативов и т.п.); 3 - биоцентризм (сохранение среды жизни для гидробионтов, приоритет использования методов биологического контроля качества среды и т.п.). Для вариантов 2 и 3 использовались возможности «АСПИД» и «APIS». В итоге, для всех вариантов на основе качественного задания приоритетов были получены средние количественные значения весовых множителей.

На следующем этапе реализовано построение ИПЭБ для второго уровня свертки (сводный показатель) для водотока и водосбора для трех рассмотренных вариантов. Анализ результатов показал, что расхождения ИПЭБ для оценочных шкал по классам ЭБ водотока не велики. Расхождение между классами составило: 12,5% (I-II); 17,2% (II-III); 10,6% (III-IV); 5,8% (IV-V). Для водосбора эти различия несколько больше. Расхождение: 25% (I-II); 21,9% (II-III); 24,4% (III-IV); 11,6% (IV-V). Во всех классах, как и для водотока, максимальные отличия присущи третьему варианту задания приоритетов (биоцентризм). Наибольшие отличия отмечены между вариантами 2 и 3. Равновесное задание приоритетов дает промежуточный результат между 2 и 3 вариантами.

После этого был рассмотрен природный объект и оценено его ЭБ на основе рассмотренных критериев. В качестве примера выбрана река Мста и ее водосбор, расположенные на территории Северо-Запада РФ. Для задания характеристик использовались средние значения параметров внутри групп (первый уровень свертки).

Экологическое благополучие реки Мста и ее бассейна определялось путем расчета ИПЭБ по трем рассмотренным выше вариантам. Определение класса ЭБ рассматриваемого объекта выполнялось по тем же правилам, что и в вариантах 1-3.

Было выявлено, что для ключевого объекта по значениям ИПЭБ, полученным в варианте 1 (равновесное задание параметров), ЭБ реки попадает в левую границу II класса (0,24) при границах класса 0,18-0,33, а ЭБ водосбора попадает в правую границу I класса (0,20) при границах класса 0-0,22. При расчетах по варианту «2» (антропоцентризм), ЭБ реки Мста также попадает в левую границу II класса (0,23) при границах класса 0,18-0,34, ЭБ ее водосбора – в правую границу I класса (0,18) при границах класса 0-0,20. Расчет по варианту «3» (биоцентризм)

показал, что ЭБ реки и ЭБ водосбора попадают в середину II класса (0,25) и (0,33) соответственно. Для шкалы ИПЭБ водотока границы класса составляют от 0,16-0,29, а для ИПЭБ водосбора – от 0,25 до 0,39.

Важной частью исследования являлась проверка предположения о том, перейдет ли речная система в другой класс ЭБ, если одновременно гипотетически увеличивается антропогенная нагрузка по ряду параметров. Для проверки было решено выбрать группы параметров, наиболее уязвимые при антропогенном воздействии. Для водотока были выбраны группы гидрохимических и гидробиологических параметров, а для водосбора – группы «качество и загрязнение атмосферного воздуха» и «качество и загрязнение почвы».

В варианте «1н» нагрузка внутри названных групп была увеличена на 30%, а в варианте «2н» - в 2 раза (на 200%). Задание весов (приоритетов) - равновесомость.

Анализ полученных в «1н» и «2н» значений ИПЭБ для реки Мста и ее водосбора показал, что на обе подсистемы (реку и водосбор) ощутимо повлияло увеличение нагрузки в «2н». Полученное значение ИПЭБ реки Мста свидетельствует о переходе системы от левой границы II класса (0,25) к его правой границе (0,32), то есть, ухудшению экологического благополучия практически на один класс. Расчет сводного показателя ЭБ для водосбора показал незначительное изменение. При двукратном увеличении нагрузки (в 2 группах из 5) водосбор реки сохранил свои свойства и параметры режимов в пределах класса, в котором он находился до воздействия, а двукратное увеличение параметров режимов в водотоке (в 2 группах из 7) обусловило переход реки в более старший класс (снижение класса ЭБ).

### **Литература**

1. Paul Logan. Ecological quality assessment of river and integrated catchment management in England and Wales. Scientific and legal aspects of biological monitoring in fresh water. Bristol, United Kingdom, 2001. – pp. 25-32.
2. Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Хованов Н.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. I. Качество природных вод. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 1996. № 3. - с. 40-52.
3. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. - 196 с.
4. Hovanov, N. et al. Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert non-numeric, non-exact and non-complete knowledge. European Journal of Operational Research, Book 195, №3, 2009. – pp. 857 – 863.

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ДЛЯ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ WRF-ARW

О.Г. Анискина<sup>1</sup>, канд. физ.-мат.наук, Д.С. Берегалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## HYDRODYNAMIC WEATHER FORECAST BASED ON WRF-ARW MODEL FOR KIROVSKAYA OBLAST'

O.G. Aniskina<sup>1</sup>, Cand.Sc., D.S. Beregalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Представлены результаты моделирования для Кировской области с использованием гидродинамической модели WRF-ARW. Приведены результаты верификации, исследован набор параметризаций физических процессов и влияние разрешения модели.*

*The main Hydrodynamic weather forecast based on WRF-ARW model results for Kirovskaya oblast' are shown. Verification results are demonstrated, physical parametrization list and model resolution influence are analyzed.*

Мировым метеорологическим сообществом накоплен большой опыт по использованию результатов гидродинамического мезомасштабного моделирования в прогнозе погоды. В настоящее время созданы гидродинамические модели для краткосрочного прогнозирования, описывающие явления различного горизонтального масштаба, в том числе порядка 2 – 200 км (мезомасштабные явления). Наиболее известные из них и применяемые в России: модели Гидрометцентра Российской Федерации, разработанные под руководством К. Л. Рубенштейна, Г. Д. Ривина, Л.В. Берковича, Модель консорциума COSMO и модель WRF – ARW. Однако области моделирования данных моделей охватывают достаточно обширные территории и не учитывают местные условия. Результаты гидродинамического прогноза для Кировской области рассматривались ранее в [1].

В исследовании используется мезомасштабная негидростатическая гидродинамическая модель WRF/ARW версии 3.6.1. Начальные и граничные условия задаются по данным реанализа NCEP/NCAR, граничные условия обновляются каждые три часа. Исследования проводились для двух вариантов прогностического домена: одиночный (вариант 1) и со вложенными сетками (вариант 2). В первом варианте модельный домен охватывал область в границах 61 °с.ш. – 56 °с.ш. и 46 °в.д. – 53 °в.д., шаг по горизонтали 3 км, шаг по времени 20 секунд. Во втором варианте домена использовались три вложенные сетки. Внешняя сетка соответствует области первого варианта домена, вторая – охватывает центральную часть Кировской области, а третья вложенная сетка включает территорию г. Киров и его окрестности. Шаг по горизонтали: I домен – 4,4 км; II домен – 1,4 км; III домен – около 500 м. Шаги по времени – 30, 10 и 3 секунды, соответственно.

Моделирование производилось с заблаговременностью 36 часов для летнего периода с 01.06.2017 – 30.06.2017. Начальное время запуска каждого прогноза отличалось от предыдущего на 12 часов. Всего сделано и проанализировано 120 прогнозов для различных доменов и в двух различных конфигурациях параметризации процессов в почве.

Результаты модельных расчетов включают полный объем переменных доступных в модели с временной дискретизацией 1 час. Из доступных переменных подробно анализировались значения температуры воздуха на высоте 2 м, скорости ветра на уровне 10 м, геопотенциал изобарических поверхностей.

Численные эксперименты проводились с использованием стандартной конфигурации параметризаций физических процессов, варьировалась параметризация процессов в почве. Проводились эксперименты, в которых не использовалась параметризация и эксперименты с 5-ти уровневой схемой потоков тепла, которая основана на пятиуровневой модели переноса тепла в почве и была разработана для модели MM5 [2]. Сравнение данной модели с моделью, использующей 100 почвенных уровней толщиной 1 см, показало хорошее согласование результатов [2].



Для верификации прогноза сформирована база данных фактических наблюдений на мс. Киров Кировского ЦГМС за период с 01.01.2017 – 31.12.2017 на основании предоставленных таблиц метеорологических наблюдений.

При верификации сравнивались фактические значения и прогностические значения в узле модельной сетки, наиболее близком к мс. Киров. Координаты мс. Киров – 58.569°с.ш. 49,573°в.д., координаты ближайшего узла в первом варианте модельной области – 58.563°с.ш. 49,576°в.д., координаты ближайшего узла во втором варианте модельной области – 58.573°с.ш. 49,577°в.д. Отклонения ближайшего узла небольшие: в первом варианте модельной области составляет 690 м, а во втором – 502 м. В качестве сроков наблюдений, для которых проводилась верификация, выбраны сроки 00UTC и 12UTC, которые соответствуют времени наступления минимума и максимума значений в суточном ходе.

Критериями верификации являлись: средняя абсолютная ошибка прогноза, средняя относительная ошибка прогноза, средняя квадратическая ошибка прогноза, средняя квадратическая относительная ошибка прогноза, коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими изменениями, коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими значениями.

Анализируя результаты прогнозов можно заключить, что модельные результаты достаточно хорошо согласуются с фактическими данными.

Верификация показывает снижение значений всех рассчитанных ошибок прогноза, а также увеличение значений коэффициента корреляции между прогностическими и фактическими изменениями и коэффициента корреляции между прогностическими и фактическими значениями, как на дневной (12UTC), так и на ночной срок (00UTC) прогноза, при использовании параметризации физических процессов в почве.

Также использование параметризации процессов в почве позволяет сгладить поля метеорологических величин и уменьшить количество локальных повышений значений температуры, а также структурировать прогностическое поле и сократить количество мелкомасштабных локальных повышений значений в полях геопотенциала.

Применение лучшего пространственного разрешения (шаг 488,9 м) позволяет представлять прогностические поля метеорологических величин с большей детализацией. Это выражается, например, в том, что в прогностическом поле приземной температуры воздуха III домена, выделяются области локальных экстремумов, повторяющие русло реки Вятка. Также прослеживается влияние рельефа подстилающей поверхности на пространственную изменчивость температуры приземного воздуха.

При верификации ярко прослеживается влияние на качество прогноза ошибок начальных данных – не учёт в данных анализа местных особенностей. Например, значение температуры приземного воздуха в начальных данных за срок 01.06.2017 12UTC составляет примерно – 0,45 °С, в то время, как фактическое значение, измеренное на мс. Киров составляет 12,4 °С. Такого рода ошибки приводят к неправильному развитию модельных процессов и плохому качеству прогноза. Возможно, применение ассимиляции данных фактических наблюдений, позволит исключить возникновение подобных ошибок.

Анализ результатов верификации прогноза элементов погоды для г. Киров, позволяет сделать следующие выводы:

Применение параметризации процессов в почве значительно улучшает качество прогнозирования, что подтверждается как улучшением критериев верификации в точке, так и улучшением пространственного распределения исследуемых метеорологических величин. В дальнейшем возможно повышение качества данных прогнозов посредством подбора и использования более лучшей схемы параметризации процессов в почве, а также использования других доступных в модели схем параметризаций физических процессов.

Переход к использованию вложенных сеток и лучшему пространственному разрешению (488,9 м), который был осуществлен во втором варианте модельной области, позволяет более детально описывать мезомасштабные процессы, а также представлять прогностические поля метеорологических величин с большей детализацией. Качество прогноза приземной температуры воздуха для территории г. Киров при этом снижается. Его возможно исключить, если использовать ассимиляцию гидрометеорологических данных, а также выбрать другую более оптимальную конфигурацию параметризации физических процессов, в которой будут

использованы другие схемы для их описания. Влияние параметризации физических процессов в почве в данном варианте модели становится более значительным, что подтверждается как значительными различиями ошибок прогнозирования при использовании параметризации относительно случая, когда она не применялась, так и существенными различиями полей прогнозируемых метеорологических величин между аналогичными конфигурациями модели.

### **Литература**

1. Анискина О.Г. Разработка и верификация гидродинамического прогноза погоды для г. Киров/ О.Г.Анискина, Д.С.Берегалов / Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов. – 2018.– №12.– С.116-122.
2. Dudhia J. A Multi-Layer Soil Temperature Model for MM5// Sixth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, Boulder, 22–24 July 1996, pp. 49–50.

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ БАРЕНЦЕВА, КАРСКОГО И БЕЛОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

О.А. Атаджанова<sup>1</sup>, А.В. Зимин<sup>1,3</sup>, А.А. Коник<sup>1,2</sup>, Е.И. Свергун<sup>1,2</sup>, Д.А. Романенков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## FEATURES OF SURFACE MANIFESTATIONS OF SUBMESOSCALE EDDIES IN THE BARENTS, KARA AND WHITE SEAS USING SATELLITE DATA

A.A. Atadzhanova<sup>1</sup>, A.V. Zimin<sup>1,3</sup>, A.A. Konik<sup>1,2</sup>, E.I. Svergun<sup>1,2</sup>, D.A. Romanenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*На основе разнородных наблюдений выявлены особенности пространственно-временной изменчивости характеристик субмезомасштабных вихрей на фоне процессов большего масштаба в Баренцевом, Карском и Белом морях.*

*Features of the spatial-temporal variability of the characteristics of submesoscale eddies on the background of larger-scale processes in the Barents, Kara and White seas are identified on basis of different type observations.*

Субмезомасштабные вихри характеризуются малыми пространственным (порядка единиц километров) и временным (от нескольких часов до суток) масштабами. Данные структуры не принадлежат в полной мере к трехмерным явлениям, и в тоже время не относятся к гидростатически сбалансированным, для которых важны эффекты вращения Земли [1]. При этом субмезомасштабные вихревые структуры, как и вихри более крупных масштабов, играют важную роль в интенсификации перемешивания, горизонтальном и вертикальном переносе тепла и вещества. Поэтому их исследование важно для понимания механизмов перераспределения тепла и биогеохимических параметров на локальных акваториях.

Из-за недостаточной изученности вихреобразования в Арктике в субмезомасштабном интервале, влияние малых вихрей не учитывается в прикладных расчетах и прогнозах изменчивости характеристик вод акваторий, важных для решения прикладных задач, имеющих значительное оборонное и хозяйственное значение. Понимание вихревой активности на отдельных акваториях является значимым при прогнозировании распространения загрязнений различной природы как по горизонтали, так и по вертикали [2]. Кроме того, за счет значительных вертикальных скоростей вихри играют роль небольших локальных апвеллингов, которые могут поднимать питательные вещества из нижележащих слоев к поверхности [3]. Также существование вихревых структур создает дополнительные помехи при распространении звука, что важно при усовершенствовании методов подводной акустики [4].

### **Материалы и методы.**

Для исследования особенностей поверхностных проявлений субмезомасштабных вихрей использовался массив РЛ-изображений с июня по октябрь 2007 и 2011 гг. для Баренцева (1203 шт. за 2007 г., 838 за 2011 г.) и Карского морей (900 шт. за 2007 г., 275 за 2011 г.), полученных с ENVISAT ASAR в С-диапазоне и режимах съемки WSM (ширина полосы обзора 400×400 км, пространственное разрешение 150×150 м) и IMP (100×100 км и 25×25 м соответственно) для безледного периода 2007 и 2011 годов. Среднее покрытие акватории РЛИ составило около 250 шт. для Баренцева моря и около 200 для Карского моря. Для Белого моря было проанализировано 221 радиолокационное изображение за май-сентябрь 2009-2012 гг. при среднем покрытии акватории 110 РЛИ. За 2009-2011 использовались РЛИ, полученные с радиолокатора ENVISAT ASAR, за 2012 год со спутников RADARSAT-1 с пространственным разрешением 25 м в режиме съемки SGF (PathImage) и RADARSAT-2 в режиме FineQuad-Pol с

пространственным разрешением 6 м. На РЛИ регистрировались координаты центра, тип вращения (циклонический/антициклонический) и диаметр.

Для исследования фронтальной динамики в Баренцевом и Карском морях использовались среднесуточные данные по ТПМ продукта OSTIA GHRSSST. Производилось осреднение суточных данных ТПМ по декадам и месяцам, рассчитывались поля градиентов с теми же периодами осреднения. По картам градиентов ТПМ выделялись фронтальные зоны (ФЗ) и положения основных фронтов в них. Смещение среднедекадных положений фронтов за месяц плюс средняя полуширина ФЗ вокруг принимается в качестве области изменчивости фронтальных зон, при этом ширина ФЗ оценивалась по трем меридиональным разрезам градиента ТПМ: 20°, 35° и 50° в.д. для Баренцева моря и 65°, 75° и 80° в.д. для Карского моря. Для Белого моря использовались среднедекадные и среднemesячные положения фронтов [6].

Для исследования роли фронтальной динамики в распределении субмезомасштабных вихрей производился анализ композитных карт, объединяющих области изменчивости ФЗ и положения вихрей за месяц. На основе карт считалось количество проявлений вихрей внутри областей изменчивости, а результаты сводились в обобщающую таблицу.

Для выявления связи между положениями вихрей над неровностями дна вне фронтальной изменчивости и приливной динамикой производился анализ вихревых структур за 2007 г. в отдельных районах со значительными неровностями дна в Баренцевом и Карском морях (юго-западнее Земли Франца-Иосифа и северо-восточнее острова Уединения).

В результате анализа РЛИ за теплый период 2007 и 2011 гг. в Баренцевом море было зарегистрировано 2934 субмезомасштабных вихревых структуры с диаметром от 0.2 км до 25 км. Пик вихревой активности как в целом за сезон, так и за каждый год отмечался в июле, среднемесячный диаметр в течение сезона варьировался от 2.3 до 4.2 км. На акватории Карского моря за тот же период было детектировано 1444 субмезомасштабных вихрей, их диаметр варьировался от 0.4 км до 14.4 км. Интенсивная вихревая активность отмечалась в июле (2011 г.) и августе (2007 г.), а среднемесячный диаметр в течение сезона менялся от 1.2 до почти 3 км. В Белом море анализ 221 РЛИ за период с мая по сентябрь 2009-2012 гг. позволил зарегистрировать 162 вихря с диаметром от 0.9 км до 13.2 км. Вихревая активность в течение сезона была максимальна в июле при изменчивости среднемесячного диаметра от 2.2 км до 5.1 км. Как минимум 75% зарегистрированных вихрей имели масштаб порядка бароклинного радиуса Россби.

Чаще всего в Баренцевом море проявления вихрей отмечались в районах северо-западнее ЗФИ, возле восточного берега острова Западный Шпицберген, в юго-западной части моря (в районе поступления атлантических вод), в центральной части пролива между ЗФИ и Новой Землей, в районе полуострова Канин (рис. 1а).

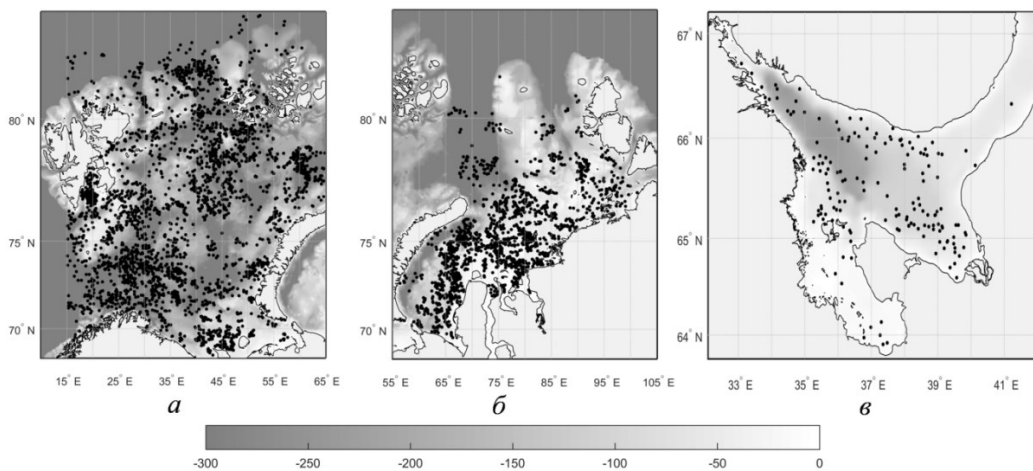


Рис. 1. Пространственное распределение положений центров вихревых структур за исследуемый период в Баренцевом (а), Карском (б) и Белом (в) морях за сезон, шкала глубин в м

В Карском море – между северной оконечностью Новой Земли и западным берегом полуострова Ямал, в центральной части шельфа Карского моря. Кроме этого вихри отмечались вблизи неровностей дна: южная оконечность желоба Святой Анны, юго-западнее Северной Земли (рис.1б). В Белом море наибольшая встречаемость отмечалась севернее Соловецких островов, вблизи Терского берега, на границе Бассейна и Двинского залива (рис.1в).

В большинстве приведенных районов возможными причинами генерации вихревых структур с размерами масштаба бароклинного радиуса Россби могут быть бароклинная неустойчивость (в районах фронтальных зон) и топографические эффекты (в районах неровностей дна), развивающиеся под влиянием приливов.

Исследование фронтальной динамики в Баренцевом, Карском и Белом морях показало следующие результаты. В Баренцевом море по данным за июнь-сентябрь 2007 и 2011 гг. проанализированы значительная внутрисезонная и впервые полученная внутримесячная изменчивость положений основных фронтов Прикромочной и Полярной фронтальных зон, а также выявлена средняя и максимальная ширина для каждой фронтальной зоны и максимальные среднедекадные градиенты внутри зон. Ширина Прикромочной фронтальной зоны в разные декады варьировалась от 56 до 111 км, а Полярной от 86 до 172 км. Максимальный среднедекадный градиент ТПМ Прикромочной и Полярной ФЗ по разрезам в оба года составлял  $0.07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ . Основной фронт Прикромочной ФЗ в течение теплого периода перемещался по всей северной части Баренцева моря, наиболее динамичен в июле, а самого северного положения достигал в августе в оба года. Основной фронт Полярной ФЗ был квазистационарен в западной части моря, с июня по август продвигался на восток к архипелагу Новая Земля, при этом наибольшая динамика фронта отмечалась в 2007 году.

Для Карского моря по данным за июль-сентябрь 2007 и 2011 гг. были исследованы значительная внутрисезонная и впервые выявленная внутримесячная изменчивость положений основных фронтов Прикромочной и Стоковой фронтальных зон. Ширина Прикромочной ФЗ в разные декады варьировалась от 69 до 110 км, а Стоковой от 72 до 127 км. Максимальный среднедекадный градиент для Прикромочной и Полярной ФЗ по разрезам в оба года достигал  $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ . В оба года самое северное положение основного фронта Прикромочной ФЗ наблюдалось в августе в оба года, при этом наиболее динамичен он был в 2007 году. Основной фронт Стоковой ФЗ перемещался преимущественно в северном и западном направлениях к Новой Земле, в 2007 году в июле фронт приближался к Новой Земле и распадался на две части, при этом северная часть в сентябре не идентифицировалась. В 2011 году основной фронт Стоковой ФЗ полностью регистрировался только в июле, при этом он был ближе к Новой Земле, чем в 2007. Однако в августе и сентябре удалось зарегистрировать только северную часть, вблизи северной оконечности Новой Земли.

В Белом море по данным 2010 г., несмотря на несущественную динамику среднемесячных положений фронтов, среднедекадные положения фронтов показали значительное смещение в течение практически каждого исследуемого месяца.

Оценка количества проявлений вихревых структур внутри областей изменчивости среднедекадных фронтов за каждый месяц показала, что вихри внутри областей отмечались каждый месяц (таблица 1), когда были детектированы положения фронтов. Максимальное количество зарегистрированных поверхностных проявлений внутри областей изменчивости ФЗ отмечалось в июле во всех морях за каждый исследуемый год (в Белом море до 77% вихрей за месяц, в Баренцевом море до 49 %, в Карском море до 64 %), тогда же, когда отмечалась максимальная фронтальная динамика, которая способствует развитию процессов, связанных с бароклиной неустойчивостью.

Таблица 1. Количество вихрей внутри областей изменчивости фронтальных зон в процентах от количества зарегистрированных вихрей за каждый месяц

Месяц	Баренцево море		Карское море		Белое море
	2007 год	2011 год	2007 год	2011 год	2010 год
Июнь	24,0	22,6	-	-	62
Июль	38,1	49,3	27,2	64,2	77
Август	13,4	29,9	23,1	17,1	57
Сентябрь	9,9	9,6	12,7	28,8	13
Итого	23,2	30,0	22,7	39,3	57

Анализ поверхностных проявлений вихревых структур в отдельных районах неровностей дна в Баренцевом и Карском морях (юго-западнее Земли Франца-Иосифа и северо-восточнее острова Уединения) показал, что вихри там регистрируются, когда эти районы свободны ото льда и преимущественно в период сизигийного прилива (свыше 50 % вихрей), когда скорости приливных течений максимальны. Учитывая ранее установленную связь образования вихрей над неровностями дна с приливной динамикой в Белом море [6], следует, что образование субмезомасштабных вихрей над неровностями дна в этих морях связано с интенсивностью приливных течений.

На основе выявленных особенностей, характерных для трех морей, были сформулированы некоторые закономерности субмезомасштабной вихревой динамики для приливных арктических морей (Баренцева, Карского и Белого морей):

- субмезомасштабные вихри в теплый сезон постоянно присутствуют на акватории;
- вихри имеют диаметр преимущественно от 2 до 4 км (~45% вихрей в Баренцевом море, ~55% в Карском, ~40% в Белом) и циклонический тип вращения (от 75 % зарегистрированных вихрей), при этом средние оценки диаметра антициклонических вихрей больше (в среднем на 20%);
- наибольшая субмезомасштабная вихревая активность отмечается в период формирования приповерхностного пикноклина (в начале теплого сезона);
- чаще всего субмезомасштабные вихри встречаются в районах фронтальных зон в период наиболее интенсивной фронтальной динамики и неровностей дна в период наиболее интенсивных приливных течений.

## Литература

1. Thomas L.N., Tandon A., Mahadevan A. Submesoscale processes and dynamics // Ocean Modeling in an Eddy Regime, Geophys. Monogr. Ser. 2008. Vol. 177. P.17–38.
2. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Исследование влияния динамических и циркуляционных процессов на распространение антропогенных и биогенных загрязнений морской поверхности на основе комплексного использования спутниковой информации // Проблемы постсоветского пространства. 2015. №4. С. 29-52.
3. Зацепин, А.Г. О природе короткопериодных колебаний основного черноморского пикноклина, субмезомасштабных вихрях и реакции морской среды на катастрофический ливень 2012 г. Островский А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б., Куклев С.Б., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Корж А.О., Станичный С.В. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т.49, № 6. С.717–732.
4. Родионов А.А., Никитин Д.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Филин К.Б. Оценка влияния субмезомасштабных вихревых структур на распространение акустических сигналов в Белом море // Тр. XIII Всероссийской конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Нестор-История, 2016. С. 220–223.
5. Романенков Д.А., Зимин А.В., Родионов А.А., Атаджанова О.А., Козлов И.Е. Изменчивость фронтальных разделов и особенности мезомасштабной динамики вод Белого моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9, № 1. С. 59–72.
6. Зимин А.В., Атаджанова О.А., Романенков Д.А., Козлов И.Е., Шапрон Б. Субмезомасштабные вихри в Белом море по данным спутниковых радиолокационных измерений // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1-2. С.129–135.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № №0149-2018-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ». Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ и Козлову И.Е. за предоставление радиолокационных изображений.*

*The study was carried out within the framework of the state assignment on the subject number №0149-2018-0014 "Wave processes, transport phenomena and biogeochemical cycles in the seas and oceans: a study of formative mechanisms based on physical and mathematical modeling and full-scale experimental work." The authors are grateful to the staff of the Laboratory of Satellite Oceanography of the RSHU and I.Ye. Kozlov. for providing radar images.*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ИЛИ ВЫШЕ И НИЖЕ КАПЧАГАЙСКОЙ ПЛОТИНЫ ПО МЕСЯЦАМ И НА ГОД

А.В. Бабкин<sup>1</sup>, В.И. Бабкин<sup>2</sup>, А.С. Мадибеков<sup>3</sup>, А. Мусакулкызы<sup>3</sup>, А.В. Чередниченко<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>АО «Жасыл даму», Алматы, Казахстан

## FORECASTING OF THE RUNOFF OF THE ILI RIVER UPPER AND LOWER KAPCHAGAYSKAYA DAM ON MONTHS AND FOR A YEAR

A.V. Babkin<sup>1</sup>, V.I. Babkin<sup>2</sup>, A.S. Madibekov<sup>3</sup>, A. Musakulkyzy<sup>3</sup>, A.V. Cherednichenko<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>LLP "Institute of Geography", Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>Zhasyl Damu JSC, Almaty, Kazakhstan

*Методом “Периодичностей” проанализированы временные ряды месячных значений стока реки Или выше и ниже Капчагайской плотины.*

*Using the “Periodicity” method, the time series of the monthly values of the flow of the river Ili above and below the Kapchagai dam were analyzed.*

Река Или берет свое начало на территории КНР, и, протекая по Алматинской области Республики Казахстан, впадает в озеро Балхаш. Река является крупнейшей в регионе, обеспечивая более 70% речного стока оз. Балхаш. Ее водные ресурсы используются для нужд различных отраслей экономики. Начиная со второй половины XX века, ее сток в возрастающих объемах забирается Китаем [1]. В среднем течении р. Или в 70-е годы прошлого столетия была построена Капчагайская ГЭС, у плотины которой сформировано водохранилище.

Прогнозирование стока рек является важным аспектом для планирования социально-экономического развития, связанного с использованием их вод [2]. Актуальность совершенствования подходов оценки на будущее притока вод к крупным водохранилищам и замыкающих их ГЭС возрастает в связи с происходящим потеплением климата [3] и увеличением антропогенной нагрузки, влияние которой на речные бассейны непостоянно во времени [4].

Регулярные наблюдения за стоком р. Или ведутся у постов, расположенных соответственно 164 км выше Капчагайской ГЭС и 37 км ниже ее (урочище Капчагай). Оба эти ряда непрерывны за период времени 1971 – 1995 гг.

Месячные ряды стока этих постов проанализированы методом “Периодичностей” [5] на наличие в них скрытых гармоник его межгодовых и многолетних колебаний с длинами периодов не менее 18 месяцев – 1.5 лет. Метод “Периодичностей” и его применение для анализа и прогнозирования гидрологических временных рядов, и подходы к оценкам результатов поверочных прогнозов описаны в ранее выполненных исследованиях [5–9].

В колебаниях стока р. Или выше Капчагайской ГЭС выявлены синусоиды с периодами 94, 35, 30, 245, 20, 64, 49, 42 и 25 месяцев. Ниже плотины периоды установленных гармоник равны: 85, 59, 35, 41, 51, 25, 18, 28 и 23 месяца. Длины периодов здесь указаны в порядке уменьшения корреляции их синусоид со значениями соответствующего ряда.

В колебаниях стока реки выше и ниже плотины установлены периоды той же длины, равные 35 и 25 годам. Посредством сложения месячных прогнозов рассчитывалось будущее значение стока на год. Результаты прогнозирования по месяцам и на год в целом оцениваются при их сопоставлении с данными наблюдений стока 1995 г.

Успешный долгосрочный прогноз стока должен быть не хуже его оценки на будущее по среднему значению временного ряда [10]. При прогнозировании на поверочном интервале отношение средней квадратической ошибки прогнозов к среднему квадратическому отклонению временного ряда (относительная ошибка) должна быть меньше 0.674.



Сток р. Или за 1995 г. выше Капчагайской ГЭС был меньше, чем любое из его значений 1971 – 1994 гг. Ниже плотины сток за этот год был лишь немного меньше среднего значения соответствующего временного ряда. Поэтому прогнозы стока выше плотины можно считать приемлемыми, если их результаты окажутся лучше, чем по среднему значению даже при больших относительных ошибках.

Ниже плотины результаты прогнозирования можно оценивать, как приемлемые, если их относительная ошибка не превышает допустимую величину. При этом они могут быть хуже оценок будущего стока по среднему значению его временного ряда.

Принимая во внимание универсальный 12-месячный период колебаний природных процессов, в настоящей работе при расчетах помесечных поверочных прогнозов стока р. Или среди прочих схем используется повторяющаяся последовательность средних месячных значений его годового цикла. Результаты расчетов средних за каждый месяц значений стока за 1971 – 1994 гг. представлены на рис. 1.

У обоих постов наибольший из всех месяцев сток отмечается в июле, а наименьший – в феврале. Максимум стока у поста, расположенного выше Капчагайской плотины, хорошо выражен. У стока ниже Капчагайской ГЭС нет явного летнего максимума. Его значения за май, июнь, июль и август примерно одинаковы.

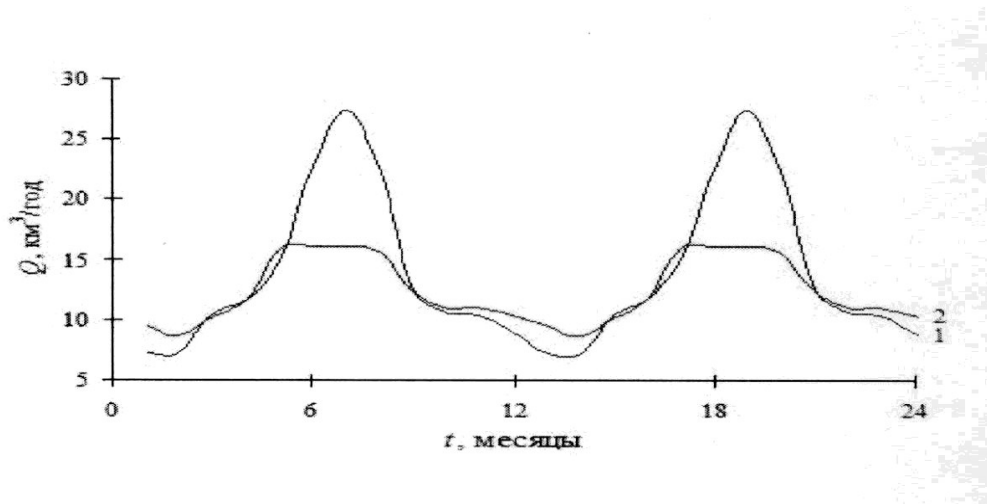


Рис. 1. Повторяющиеся последовательности средних за период 1971 – 1994 гг. месячных значений стока р. Или у постов, расположенных 164 км выше (1) и 37 км ниже (2) Капчагайской плотины

На рис. 2 представлены месячные колебания стока р. Или выше и ниже Капчагайской ГЭС, а также линии, иллюстрирующие методики, по которым рассчитывались прогнозы. Под цифрой 2 нанесены синусоиды с периодами, соответственно равными 94 и 85 месяцев, под 3 – 35-летние синусоиды, периоды которых выявлены в колебаниях стока выше и ниже плотины. Повторяющиеся последовательности средних месячных значений стока его годового цикла представлены под номером 4.

Цифрой 5 обозначены суммы синусоид с периодами 35 и 25 месяцев, 6 – суммы из девяти гармоник (всех выявленных синусоид). Под цифрой 7 на рисунке приводятся соответственно суммы сумм синусоид, проиллюстрированных кривыми 6, и повторяющихся последовательностей месячных значений стока, представленных линиями 4.

В левом нижнем углу графиков указаны результаты расчетов корреляции этих моделей с соответствующими временными рядами. Корреляция на рисунках представлена теми же номерами, которыми на них обозначены схемы прогнозирования.

Первое значение на этих графиках это сток января 1971 г. Именно на июль приходятся экстремально высокие месячные значения стока 1973, 1987 и 1988 годов, у поста выше Капчагайской ГЭС составившие 40,9, 46,9 и 50,4 км³/год. Самое низкое значение стока – 2,73 км³/год зафиксировано в феврале 1975 г.

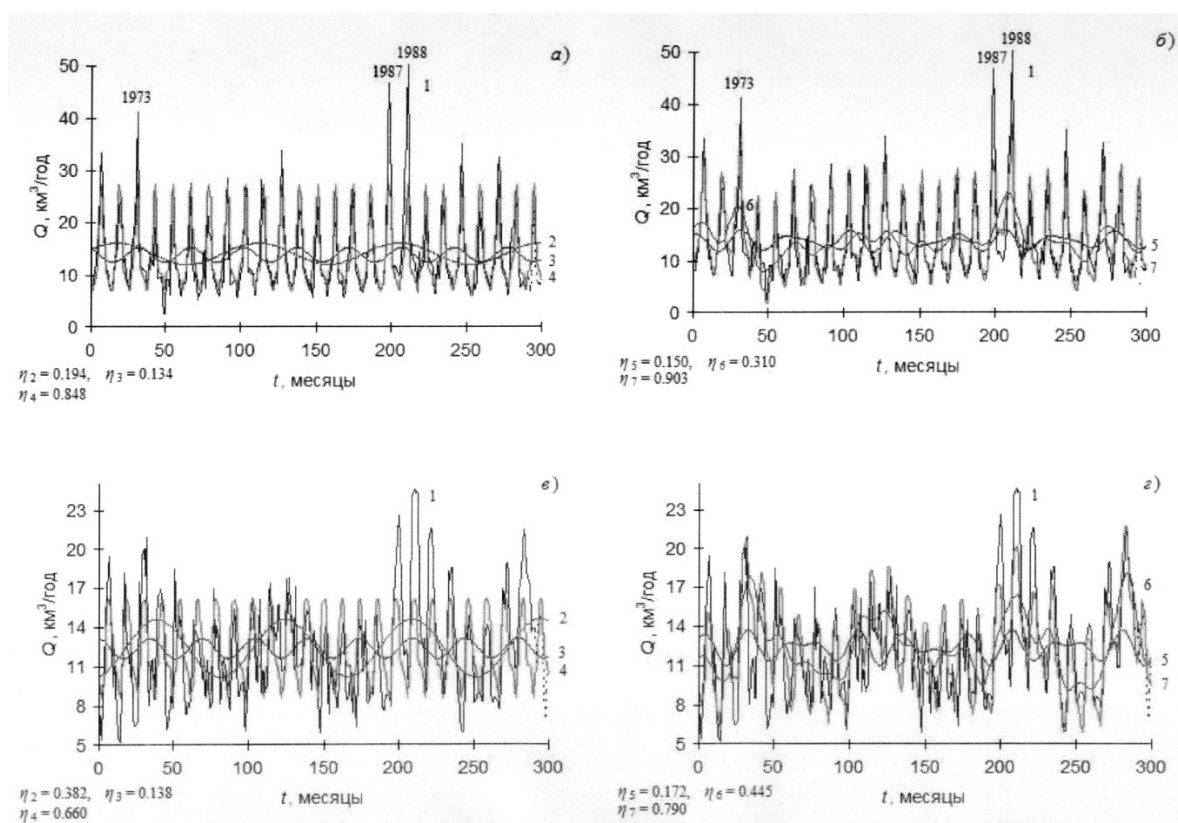


Рис. 2. Колебания стока р. Или у постов, расположенных 164 км выше (а) и 37 км ниже (б) Капчагайской плотины: 1 – временные ряды (пунктиром выделен интервал поверочного прогноза – 12 месяцев 1995 г.), 2 – аппроксимирующая синусоида с наибольшей корреляцией с рядом стока, 3 – синусоида с наибольшей корреляцией с рядом из тех, чьи периоды выявлены в колебаниях стока у обоих постов, 4 – повторяющаяся последовательность осредненных за 1971 – 1994 гг. средних месячных значений стока его годового цикла, 5 – сумма синусоид с периодами, выявленными в колебаниях обоих рядов, 6 – сумма всех выявленных синусоид, 7 – сумма значений кривых 4 и 6

Самые лучшие результаты помесечных прогнозов стока р. Или выше и ниже Капчагайской ГЭС получились соответственно по сумме всех выявленных синусоид и повторяющейся последовательности средних месячных значений стока, а самые худшие – по синусоидам с наибольшей корреляцией с соответствующим временным рядом. Результаты прогнозирования по синусоидам с наибольшей корреляцией с соответствующими рядами следует оценить как неудовлетворительные.

По сумме всех выявленных синусоид и повторяющейся последовательности средних месячных значений стока прогнозы следует считать весьма успешными, так как они получились лучше, чем по среднему значению, а их относительная ошибка меньше 0.674.

Также успешными, либо приемлемыми, можно признать прогнозы стока выше и ниже плотины по суммам всех выявленных синусоид. По синусоиде с наибольшей корреляцией с рядом из тех, чей период выявлен в колебаниях стока выше и ниже плотины, а также по сумме всех гармоник с периодами, проявившимися выше и ниже Капчагайской ГЭС, прогнозы стока как выше, так и ниже плотины также могут рассматриваться как приемлемые, либо успешные.

Следует отметить целесообразность применения при прогнозировании синусоид, период которых был выявлен в колебаниях стока выше и ниже плотины, поскольку их обнаружение в обоих рядах, несмотря на регулирующее влияние Капчагайской ГЭС, может быть физическим подтверждением их достоверности.

Выше плотины годовые прогнозы на 1995 г. получились лучше, чем по среднему значению, а ниже нее – ошибка оказалась меньше допустимой по всем схемам, кроме синусоид с

наибольшей корреляцией с соответствующими рядами. С учетом особенностей значения стока обоих рядов 1995 г. эти результаты соответствуют критериям приемлемого прогноза.

Следует также подчеркнуть, что сток р. Или выше и ниже Капчагайской ГЭС в 1994 г. был больше среднего значения. Все методики прогнозов, кроме синусоид с наибольшей корреляцией с рядами, позволили получить важную информацию о его будущем состоянии, указав на то, что он в 1995 г. будет меньше, чем в предыдущий год.

### Литература

- 1 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.
- 2 Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. Алматы.: Print – S, 2009. 236 с.
- 3 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.
- 4 Кузьмин В.А., Гаврилов И.С., Еремина С.В., Шеманаев К.В. Оценивание влияния антропогенных и климатических изменений на формирование стока // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 29. С. 36–42.
- 5 Бабкин А. В. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2005. № 11. С. 63–73.
- 6 Бабкин А.В. Методика прогноза уровня воды Ладожского озера с большой заблаговременностью // Метеорология и гидрология. 2007. № 6. С. 73–83.
- 7 Бабкин А.В., Семейкин Н.И. Многолетние колебания и долгосрочное прогнозирование годового стока р. Нева // Изв. РГО. 2014. Т.146. № 1. С. 43–48.
- 8 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.
- 9 Madibekov A.S., Babkin A.V. , Cherednichenko A.V., Musakulkyzy A. Latent fluctuation periods and long-term forecasting of Markakol lake level//IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 107(2017) 012035 doi :10.1088/1755-1315/107/1/012035
- 10 Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 419 с.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТРАНСПОРТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Д.Д.Бадюков<sup>1</sup>, К.А.Чевель<sup>1</sup>, Г.А.Данирова<sup>2</sup>, Е.В.Казанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>АНО «Национальный Центр Инженерных Конкурсов и Соревнований», Москва, Россия

## ECOLOGICAL STUDIES OF AQUATIC ECOSYSTEMS USING AN ALTERNATIVE MODE OF TRANSPORT

D.D.Badyukov<sup>1</sup>, K.A.Chevel<sup>1</sup>, G.A.Danirova<sup>2</sup>, E.V.Kazanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow state University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>ANO "National center for Engineering competitions and contests", Moscow, Russia

*В работе представлены результаты летней экспедиции «Эковолна» на катамаране на солнечных батареях от Москвы до г. Казани. Маршрут экспедиции проходил по крупнейшим водным путям России. Целью экспедиции является формирование инноваций в области возобновляемой энергетики в водном транспорте (создание и параллельное изучение загрязнения поверхностных вод крупных судовых артерий).*

*The paper presents the results of the summer expedition "Ecowave" catamaran solar from Moscow to Kazan. The route of the expedition passed through the largest waterways of Russia. The purpose of the expedition is to form innovations in the field of renewable energy in water transport (creation and parallel study of surface water pollution of large ship arteries).*

В настоящее время уделяется большое внимание изучению качеству природных пресных вод. Это связано с тем, что обширные участки речных систем оказываются загрязненными промышленными и хозяйственными стоками, отходами производств, нефтью и нефтепродуктами, попадающими в среду в процессе добычи и транспортировки углеводородного сырья. Разрабатывается всё больше способов и современных технологических решений для функционального анализа и мониторинга состояния акваторий водных систем [4].

Летом 2018 года в рамках экспедиции «Эковолна», проходящей под эгидой проекта «Инженерные конкурсы и соревнования» дорожной карты Маринет, проводились исследования по оценке экологической ситуации на акватории рек Москва, Ока и Волга, по маршруту от Москвы до Казани, сотрудниками географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Экспедиция проходила на борту катамарана, который спроектирован и построен в Санкт Петербурге. Крыша катамарана обшита полугибкими солнечными модулями суммарной мощностью 9кВт. Основой модулей стали гетероструктурные солнечные элементы, произведенные на российском заводе «Хевел» в Новочебоксарске. Солнечные модули являются основным источником питания. Преобразованная солнечная энергия накапливается батареей аккумуляторов, ёмкость которых составляет 70 кВт\*ч, от которых электрический ток и подается на два электродвигателя.

Особенность данного судна состоит в том, что катамаран является экологически чистым и мобильным видом транспорта, движущимся исключительно за счет солнечной энергии.

Во время прохождения маршрута Москва – Казань (рис. 1) протяжённостью более 1500 км водного пути, *in situ* были определены основные физико-химические показатели – t°C, pH, TDS, УЭП, концентрация растворенного кислорода, а также определялось суммарное содержание нефтепродуктов. Во время измерений в водную среду не вносились продукты сгорания топлива, являющиеся серьёзной помехой, искажающие результаты, требующие точного аналитического контроля. Экспедиция проходила на участках рек Москва, Ока и Волга в зонах наиболее интенсивной антропогенной нагрузки. Это районы промышленных предприятий, нефтеперерабатывающих заводов, станций очистных сооружений, а также устьевые области притоков рек. Маршрут проходил по территориям Москвы, Московской области, областям Рязанской, Владимирской, Нижегородской, Республикам Марий-Эл, Чувашия, и Татарстан.



Рис. 1. Карта маршрута следования катамарана Москва-Казань.

В настоящее время к наиболее распространенным и серьезным видам загрязнения водных объектов относят нефть и нефтепродукты. На акватории крупных рек, такие как Волга, Ока, Москва нефтепродукты также являются характерными загрязняющими веществами (наряду с фенолами, соединениями свинца и цинка), а речной транспорт относится к одному из основных загрязнителей поверхностных вод. В последние десятилетия методология анализа и прогноза последствий загрязнения водной среды нефтяными углеводородами интенсивно развивается и совершенствуется [3].

При проведении исследований нами использовались традиционные гидрохимические и гидрологические методы исследований. Для проведения исследований количественных и качественных характеристик и отбора проб, точки для измерений отбора выбирались согласно общепринятым методикам. На водотоке учитывались также доступность места отбора проб, трудоемкость отбора, безопасность, т.к. катамаран относится к категории маломерного флота и на реках с интенсивным судоходством проводить детальное исследование крайне затруднительно.

Оптимальным вариантом следует считать экстракцию УВ сразу после отбора проб. Для получения репрезентативных результатов комплекс методических процедур экстракции и концентрирования УВ из разных сред должен быть строго стандартизирован, обеспечивать высокий процент извлечения УВ, наименьшие потери при анализах [2]. За период проведения исследований для выявления степени загрязнения нефтепродуктами (не учитывая природный биогеохимический фон УВ) было обработано 45 проб поверхностных вод и проведено 48 измерений. Пробы воды объёмом 2,5 литра отбирали батометром Рутнера на глубине 0,3-0,5 м в хорошо перемешанном слое в полиэтиленовые бутылки объёмом 250 мл для определения содержания нефтепродуктов и дальнейшей их фиксации для определения тяжелых металлов. Т.к. определение нефтепродуктов проводилось сразу после отбора, использование стеклянной тары для хранения проб было нецелесообразно. Количественное определение углеводородов проводили флуориметрическим методом на люминесцентно-фотометрическом анализаторе жидкости «Флюорат-02-3М». Пробы экстрагировали немедленно. Экстракцию производили Гексаном (1 сорт, о.с.ч.) в делительной воронке дробно 1:10 [1]. Статистическую обработку материалов и метод исследования осуществляли согласно ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. рН, t°C, TDS, УЭП, O<sub>2</sub> измерялись in situ с помощью многопараметрового гидрологического зонда YSI 600QS, параллельно проводились измерения содержания растворенного кислорода с помощью оптического анализатора кислорода ЭКСПЕРТ-009. Результаты содержания углеводородов в отобранных пробах представлены на графиках 1-4 (рис. 2-5).

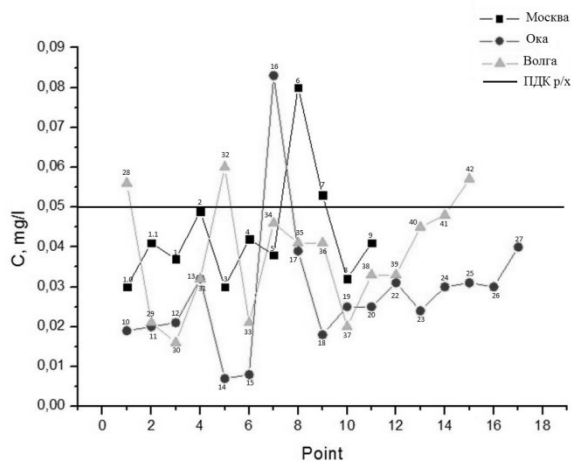


Рис. 2. График содержания УВ на акватории рек

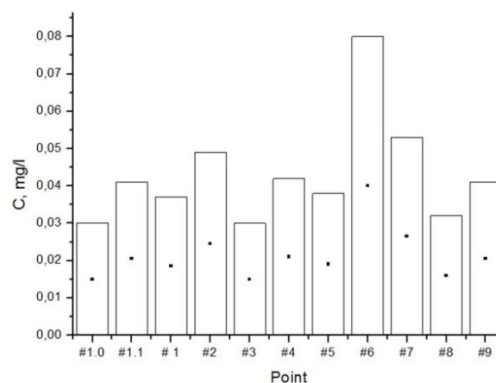


Рис. 3. Содержание УВ на участке р. Москва

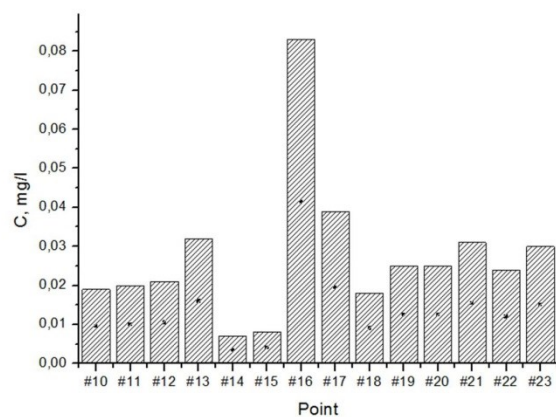


Рис. 4. Содержание УВ на участке р. Ока

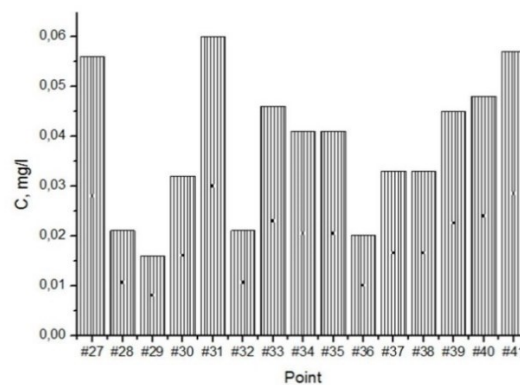


Рис. 5. Содержание УВ на участке р. Волга

Как видно из графика 1 (рис. 2-3) основная область концентраций нефтепродуктов находится в диапазоне от 0.050 – 0.05 мг/л что не превышает ПДК р/х назначения. Однако, выделяя из общей характеристики среднее значение, видно, что река Москва суммарно имеет более высокие концентрации УВ на всём протяжении исследованного участка, нежели на реке Ока и Волга. В Воскресенском районе Московской области на участке реки отмечены 2 крупных промышленных сточных слива (водовыпуск) Воскресенского цементного завода, Воскресенского химического комбината. Точки 6 (р. Москва, Цемгигант, Воскресенск) и 7 (р. Москва, Воскресенские очистные сооружения) являются наиболее загрязненными УВ, превышающий ПДКр/х в 2 раза. На графике 3 (рис. 4) отмечаются максимально низкие концентрации УВ в реке в точках 14 и 15, которые проходят в границах территории ООПТ Рязанский и Окского биосферного заповедника. Их можно выделить как фоновые значения. На графике 4 (рис. 5) можно проследить тенденцию к увеличению концентрации УВ в районах промышленных производств, крупных городов и несанкционированных сбросов. В точке 27 (очистные сооружения Вос-1 и Вос-2) наблюдается превышение ПДКр/х по нефтепродуктам. Имея достаточно характерный водовыпуск, данное загрязнение, вероятно, связано с неэффективной системой очистки производственных стоков. В устье реки Ветлуга (точка 31) так же наблюдается превышение ПДКр/х по содержанию нефтепродуктов. Вероятно, это связано с тем, что на момент отбора проб, на устье реки находилось большое скопление моторных рыболовных лодок. Так же, можем наблюдать тенденцию к увеличению содержания нефтепродуктов к городу Казань (точки 37-41). Проходя шлюзы Чебоксарской ГЭС, начинается зона активной промышленной территории, это Волжский район, Зеленодольский район и

наконец - порт города Казань.

Таким образом, в современных условиях эвтрофирования воды, учитывая повсеместное повышение антропогенной нагрузки в прибрежных районах и на путях интенсивного судоходства, концентраций нефтяных углеводородов, в сочетании с быстрой их трансформацией, обуславливает более низкие их концентрации в водах на исследуемых участках. Исследования содержания УВ с борта экологически чистого плавсредства позволило качественно провести отбор проб воды без попадания в них выбросов продуктов сгорания топлива и исключить ошибки, возникающие при использовании двигателя внутреннего сгорания во время проведения исследовательских работ.

### **Литература**

1. Методы лабораторных и полевых исследований: Учебно-методическое пособие / Горшкова О.М., Горецкая А. Г., Корешкова Т.Н., Краснушкин А. В., Марголина И. Л., Потапов А. А., Пращикина Е. М., Шкиль А.Н.; Под ред. М. В. Слипенчука. 3-е изд.,испр. и доп. М.: Географический факультет МГУ, 2015.с. 136-137.
2. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: "Научный мир", Москва, 2013.с. 214.
3. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия / В. М. Гольберг, В. П. Зверев, А. И. Арбузов и др.; Рос. акад. наук. Ин-т геоэкологии. - М. : Наука, 2001.с. 76-77.
4. Уразгулова М.М., Ксандров Н.В., Оценка роли влияния местных загрязнений на состояние поверхностных вод в нижнем течении реки Ока // Фундаментальные исследования. – 2016.с. 305-307.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА И ТЕПЛА В ПОГРАНИЧНОМ ВОЗДУШНОМ СЛОЕ В ПРИСУТСТВИИ ПЕНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Г.А. Байдаков<sup>1</sup>, канд.физ.-мат.наук, М.И. Вдовин<sup>1</sup>, Д.А. Сергеев<sup>1</sup>, канд.физ.-мат.наук, Ю.И. Троицкая<sup>1</sup>, д-р физ.-мат.наук

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

## LABORATORY INVESTIGATION OF PULSE AND HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE BOUNDARY LAYER IN THE PRESENCE OF FOAM ON THE SURFACE WATER

G.A. Baydakov<sup>1</sup>, Cand.Sc., M.I. Vdovin<sup>1</sup>, D.A. Sergeev<sup>1</sup>, Cand.Sc., Yu.I. Troitskaya<sup>1</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhniy Novgorod, Russia

*Представлены результаты лабораторного моделирования воздействия пены на коротковолновую часть спектра поверхностных волн и на процессы обмена импульсом и теплом в пограничном слое атмосферы.*

*The results of laboratory modeling of the effect of foam on the short-wave part of the spectrum of surface waves and on the processes of the exchange of momentum and heat in the boundary layer are presented.*

### Введение.

Взаимодействие атмосферы океана при экстремальных ветрах представляет особый интерес в связи с проблемой объяснения эффекта насыщения коэффициента аэродинамического сопротивления поверхности моря при скорости ветра, превышающей 30 м/с. Идея о насыщении (и даже уменьшении) коэффициента аэродинамического сопротивления поверхности моря при ураганной скорости ветра впервые была предложена на основе теоретического анализа чувствительности максимальной скорости ветра в урагане к отношению коэффициентов обмена энтальпии и импульса, а затем была подтверждена рядом натуральных и лабораторных экспериментов, которые показали, что коэффициент сопротивления поверхности моря значительно меньше по сравнению с параметризацией, полученной при умеренных и сильных ветровых условиях.

Теоретические объяснения уменьшения сопротивления поверхности моря основаны на использовании либо особенностей воздушного потока над обрушающимися волнами, либо влияния морских брызг на обмен импульсом между ветром и волнами. Недавно в [1] была предложена альтернативная гипотеза, где уменьшение поверхностного сопротивления ураганам объяснялось влиянием пены на поверхности моря на его аэродинамическую шероховатость.

### Экспериментальная установка.

В лабораторном эксперименте выполнены исследования влияния пены на шероховатость поверхности воды. Эксперименты проводились на Высокоскоростном Ветро-волновом канале Большого Термостратифицированного бассейна ИПФ РАН. Канал имеет поперечное сечение 0,4 × 0,4 м над поверхностью воды и длину 10 м, диапазон скоростей воздушного потока на оси канала составляет 3-25 м/с, температура воздуха может принимать значения между 20 и 30 °С. Бассейн заполнен пресной водой с температурой от 15 до 20 °С, т.е. в воздушном потоке имеется слабая температурная стратификация. Измеренное значение коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma = (7.0 \pm 0.15) \cdot 10^{-2}$  Н/м.

Согласно определению, параметр шероховатости,  $z_0$ , однозначно связан с коэффициентом сопротивления поверхности воды  $C_{DN}$ , приведенным к нейтральной стратификации. Действительно, в этом случае профиль скорости ветра

$$U_N(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

где  $u_*$  - динамическая скорости ветра, а  $\kappa = 0.4$  параметр Кармана.

Тогда коэффициент сопротивления, приведенный к стандартной частоте 10 м

$$C_{DN10} = \frac{u_*^2}{U_N^2(z=10m)} = \frac{\kappa^2}{\ln^2(z/z_0)} \quad (2)$$

В экспериментах исследовалась зависимость коэффициента сопротивления от динамической скорости ветра и характеристик подстилающей поверхности в присутствии и отсутствии пены.



Схема экспериментальной установки показана на рис. 1а.

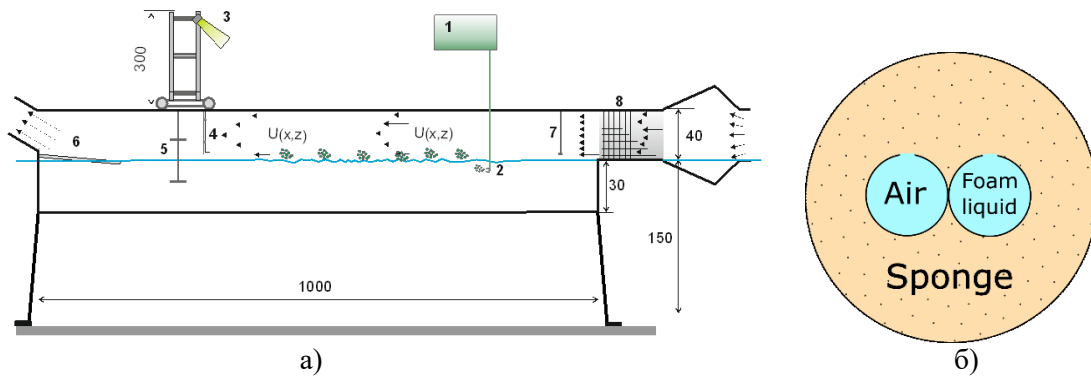


Рис. 1. а) Схема экспериментальной установки. 1 - Резервуар с пенообразующим раствором, 2 - пеногенератор, 4 - трубка Пито и термоанемометр, закрепленные на сканирующем устройстве, 5 - трехканальный струнный волнограф, 6 - волногаситель, 7 - термоанемометр, 8 - хоннейкомб. Размеры приведены в сантиметрах.

б) поперечное сечение пеногенератора.

Для создания устойчивой пены с фиксированной плотностью на поверхности воды использовалось специально разработанное устройство (пеногенератор) (рис. 1б). Устройство состоит из двух диффузоров (трубок длиной 35 см диаметра 1 см с боковыми отверстиями диаметром 2 мм с шагом 7 мм), соединенных боковыми поверхностями друг с другом, обернутых в поролон. Устройство располагалось горизонтально, перпендикулярно каналу, с заглублением верхней части на 2.5 см. Расстояние от начала канала (входа воздушного потока) - 1.2 м. Через один из диффузоров под давлением высоты уровня 1.5 м поступает раствор пенообразующего вещества (основной компонент лаурилсульфат натрия), через второй диффузор подается сжатый воздух (1.5 атм) для продавливания раствора пенообразующего вещества через слой поролона. В результате на поверхности воды образуется мелкодисперсная пена. В ходе экспериментов уровень раствора вещества и давления сжатого воздуха поддерживались постоянными, что обеспечивало постоянный расход пены. Специальная серия измерений, направленных на оценку влияния пеногенератора на поверхностное волнение в случае, когда в систему подается только сжатый воздух, показала, что изменения параметров поверхностного волнения по сравнению с полностью отключенной системой пеногенерации незначительны (см. ниже результаты экспериментов).

Измерения проводились для шести условий: 1) чистая вода; 2) чистая вода с подачей сжатого воздуха в систему пеногенерации, но без подачи пенообразующего вещества; 3) при полностью функционирующей системе пеногенерации; 4) чистая вода в условиях слабой устойчивой стратификации воздушного потока; 5) при полностью функционирующей системе пеногенерации в условиях в условиях слабой устойчивой стратификации воздушного потока.

Поскольку во всех режимах масштаб Обухова,  $L = \frac{u_*^3 T_0}{g T_* u_*} \sim \sqrt{C_D} \frac{U_{10}^2 T_0}{g \Delta T_{10}}$  больше 100 м, т.е. намного

превосходил высоту канала, в дальнейшем мы не будем различать режимы с нагревом и без нагрева.

Измерения были выполнены при 6 значениях расхода воздушного потока в канале, которые определяются частотой вращения вентилятора. Перед каждой серией измерений и после нее контролировались параметры воды в бассейне для оценки влияния пенообразующего вещества на свойства воды. Измерялся коэффициент поверхностного натяжения капельным способом, а также вязкость жидкости с помощью вискозиметра. Во всех случаях отличия от первоначальных значений этих параметров находились в пределах погрешности измерений. Таким образом исключалось изменение физических свойств собственно воды в самом бассейне, а, следовательно, и их возможное влияние на ветро-волновое взаимодействие.

При каждом из условий экспериментов определялись параметры воздушного потока (динамическая скорость, скорость ветра на стандартной высоте, и коэффициент аэродинамического сопротивления), характеристики поверхностного волнения (спектры по частоте и волновому числу, а также высота значимых волн и дисперсия уклонов поверхности) и параметры пены (площадь покрытия пеной и распределение пузырьков по размерам).

#### Методика и результаты экспериментов

Измерение параметров воздушного потока производилось методом профилирования. Для этого в рабочей секции (на расстоянии 7 м от входа в канал) производились измерения профилей скорости с помощью трубки пито. Для определения параметров пограничного слоя атмосферы использовался алгоритм, предложенный в [2].

На рис. 2 показаны зависимости коэффициента сопротивления от динамической скорости. Видно, что при динамических скоростях ветра ниже  $\sim 0.9$  м/с (скорость ветра  $U_{10} \approx 25$  м/с) присутствие пены приводит к увеличению коэффициента сопротивления, а при больших значениях динамической скорости статистически значимой зависимости коэффициента сопротивления от присутствия пены не выявлено.

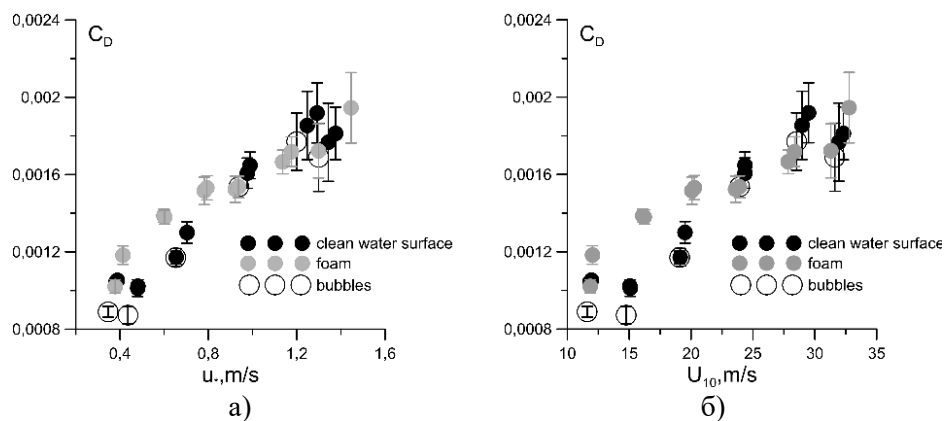
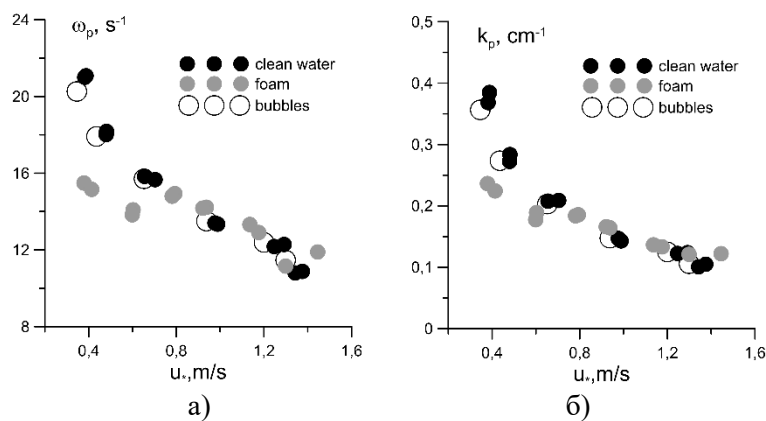


Рис. 2. Зависимость коэффициента сопротивления от скорости трения (а) и от скорости ветра на высоте 10 м (б). Черные символы - чистая вода, серые символы - при работе пеногенератора с лаурилсульфатом натрия, открытые кружки - при работе пеногенератора на чистой воде.

Характеристики волнения в канале измерялись антенной из трех волнографов резистивного типа, расположенными в углах треугольника равной стороны со стороной 2,5 см, частота дискретизации данных составляла 100 Гц. Трехмерные пространственно-временные спектры были получены из измеренных данных с помощью алгоритма FDM (Fourier Directional Method) [2], аналогичного алгоритму Wavelet Directional Method. Эта обработка данных позволяет получить трехмерные спектры поверхностных волн  $S(\omega, k, \theta)$  от частоты волны  $\omega$ , волнового числа  $k$  и угла относительно направления ветра  $\theta$ . Интегрирование полученных спектров по волновому числу или частоте, дает временные  $S(\omega, \theta)$  или пространственные  $S(k, \theta)$  угловые спектры соответственно. Интегрирование по  $\theta$  дает изотропные спектры по частоте и волновому числу. Верхний предел спектра волновых чисел задается расстоянием между волнографами в антенне волн  $d$ ,  $k_u = \pi/d$  в используемой конфигурации  $k_u = 1,25 \text{ см}^{-1}$ .

Анализ результатов показал, что наличие пены изменяет спектры поверхностных волн. Самым ярким эффектом является подавление эффекта снижения пиковых частоты  $\omega_p$  и волнового числа  $k_p$  с увеличением скорости ветра. Этот эффект ясно виден на рис. 3, где представлены зависимости  $\omega_p$  и  $k_p$  от скорости трения ветра для разных режимов.

Рис. 3. Зависимости  $\omega_p$  и  $k_p$  от скорости трения ветра для разных режимов.

Анализ спектров ветровых волн показал, что присутствие пены вызывает заметное уменьшение энергии поверхностных волн. Этот эффект увеличения диссипации поверхностных волн в присутствии пены подтверждается зависимостями значимой высоты волны от скорости трения ветра (рис. 4а). В сочетании со снижением пикового волнового числа это приводит к сильному уменьшению среднеквадратичного уклона (рис. 4б). Следовательно, наличие пены на поверхности воды должно приводить к уменьшению нелинейности поля поверхностных волн и уменьшению сопротивления формы.

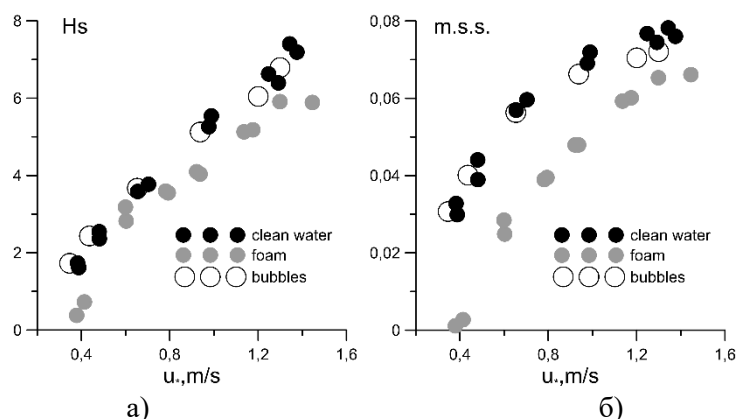


Рис. 4. Зависимости значимой высоты волны от скорости трения ветра и среднеквадратичного уклона для разных режимов.

Однако сопоставление с рис. 2 показывает, что, несмотря на уменьшение сопротивления формы волны, коэффициент сопротивления поверхности увеличивается, когда пена присутствует на поверхности воды, так как присутствие пены вызывает дополнительную шероховатость, не связанную с волнами.

### Литература

1. Golbraikh E., Shtemler Y.M. // Dynamics of Atmospheres and Oceans 73 (2016), p. 1–9
2. Yu. I. Troitskaya, D.A. Sergeev, A.A. Kandaurov, G.A Baidakov, M.A. Vdovin, V.I. Kazakov // JGR, v. 117 (2012), NC00J21, 13 pp.

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В УНИВЕРСИТЕТЕ

И.М. Байкова<sup>1</sup>, д-р геогр.наук, О.Н. Кострюкова<sup>1</sup>, канд.эконом.наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

## CLIMATE CHANGE AND THE MODERN VIEW ON ECOLOGICAL EDUCATION AT THE UNIVERSITY

I.M. Baykova<sup>1</sup>, Dr.Sc., O.N. Kostryukova<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>St-Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russia

*В работе представлены результаты интеграции экологических дисциплин в образовательный процесс Санкт-Петербургского государственного экономического университета. Особое внимание уделяется одной из важнейших междисциплинарных экологических проблем XXI века – глобальному изменению климата и разработке оптимальных путей включения экологии в сферу услуг. Представлена структура дисциплины «Экологизация сервисной деятельности», которая включает теоретическое обобщение научно-технической и социально-экономической информации, научной основы изменения климата, вызванного антропогенной деятельностью, процессам адаптации и смягчения последствий для устойчивого развития сервисной деятельности. Обсуждается использование кейс-метода (case study) для описания реальных ситуаций в процессе экологического образования бакалавров и магистров.*

*In work results of integration of ecological disciplines into educational process of the Saint Petersburg State University of Economics are presented. Special attention is spared to one of the most important cross-disciplinary environmental problems of the 21st century – to global climate change and development of optimum ways of inclusion of ecology in a services sector. Structure of discipline "Greening of service activity" which includes theoretical synthesis of scientific and technical and social and economic information, a scientific basis of climate change caused by anthropogenic activity, to processes of adaptation and mitigation for sustainable development of service activity is presented. Use a case study for the description of real situations in the course of ecological education of bachelors and masters is discussed.*

### **Введение.**

Главная цель экологического образования в Санкт-Петербургском государственном экономическом университете на факультете сервиса, туризма и гостеприимства – это разработка оптимальных путей включения экологии в сферу услуг социально-экономического и хозяйственного характера. Особое внимание в рамках образовательного процесса уделяется одной из важнейших междисциплинарных экологических проблем XXI века – глобальному изменению климата. Включение дисциплины «Экологизация сервисной деятельности» в учебный процесс для подготовки бакалавров по направлению «Сервис» дает студентам базовые знания в области нового направления современной науки экологизации, которое сложилось во второй половине XX века и обусловлено усилившимся воздействием человека на природу. Происхождение самого термина «экологизация» указывает, с одной стороны, на необратимый глобальный характер человеческой деятельности (как экологический аспект глобализации), а с другой стороны, использование глубоких знаний человечества в области комплекса экологических наук могут предупредить или ограничить современные экологические угрозы в относительно безопасных пределах.

### **Структура экологического образования в учебном процессе.**

Включение дисциплины «Экологизация сервисной деятельности» в учебный процесс подготовки студентов бакалавров сферы сервиса, туризма и конгрессно-выставочной деятельности осуществляется поэтапно. На первом курсе в учебный процесс на основании требований государственного стандарта высшего профессионального образования к содержанию и уровню подготовки бакалавров по специальности «Сервис» включены дисциплины «Экология» и «География сервиса», которые позволят ознакомить студентов с основными проблемами современной географии и экологии, обобщить информацию, необходимую для осуществления сервисной деятельности и получить практические навыки для работы индустрии сервиса.

Дисциплина «Экологизация сервисной деятельности» введена на 2-м курсе бакалавриата и опирается на знания по экологии и географии и предметов основной образовательной программы среднего (полного) общего образования. Как об этом сказано выше, под экологизацией понимают процесс последовательного внедрения идей сохранения природы и устойчивой окружающей среды в сферы управления, услуг, разработки технологий, экономики, законодательства, образования и т. д. Формирование процесса экологизации тесно связано с процессом глобализации, который все больше и больше распространяется на планете Земля и затрагивает все сферы общественной жизни: экономическую, политическую, социальную, культурную, экологическую и другие [1]

Теоретические основы экологизации разработаны в современном комплексе экологических наук, прежде всего, в глобальной экологии [2]. Знания, полученные при освоении дисциплины, позволят сформировать у студентов глобальное экологическое мировоззрение, направленное на понимание специфики современного мира и окружающей среды, выявить тенденции, влияющие на мировую экономику и адаптировать сервисную деятельность к ним [3].

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций, указанных в ФГОС ВО (№1169 от 20 октября 2015 г):

- Готовностью пользоваться основными методами защиты производственного персонала от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;
- Готовностью разрабатывать технологии процесса сервиса, развивать системы клиентских отношений с учетом требований.

Структура учебной дисциплины включает теоретическую и научно-практическую часть. Оценки социально-экономических последствий изменения климата, его воздействий на устойчивое развитие, региональные изменения и разработка мер по адаптации и смягчению этих воздействий и другие результаты научных исследований и практических рекомендаций Межправительственные группы экспертов по изменению климата являются научной основой формирования процесса экологизации. Это позволит сформировать у студентов глобальное экологическое мышление, направленное на понимание специфики современного изменяющегося мира, выявить тенденции, негативно влияющие на мировую экономику. Особое внимание уделяется изучению положительных и отрицательных последствий наблюдаемых изменений состояния окружающей среды [3]. По мнению экспертов [4], негативных последствий, которые потребуют значительных расходов, будет значительно больше, по сравнению с положительными. Поэтому важными аспектами дисциплины является изучение международных политических договоров (Киотского протокола и Парижского соглашения) и связанных с ними последствий для экономики. Кроме того, это позволит определиться с ролью поглотителей и накопителей парниковых газов в снижении общего уровня выбросов, выявить технологии, препятствующие увеличению выбросов парниковых газов, переход на использование солнечной, ветровой, геотермальной энергетики и т.п., на преимущественное использование низкоуглеродных видов топлива и биотоплива, т.е. повышение эффективности энергетики и энергосбережения [4]. Все эти проблемы являются актуальными для сферы сервиса, туризма, гостеприимства и конгрессно-выставочной деятельности. Для предотвращения крупных и катастрофических последствий изменения климата необходимо организовать сервисную деятельность таким образом, чтобы попытаться остановить рост температуры (по разным оценкам, не более чем на 2-3°C выше средней современной температуры) [4].

Процессы экологизации должны способствовать реализации климатической политики, организации деятельности человечества в изменяющихся условиях окружающей среды. В процессы экологизации необходимо включить компенсации нежелательных природных эффектов, предусмотреть широкомасштабное преобразование системы энергетического обеспечения во всем мире, с одновременным быстрым и эффективным снижением выбросов парниковых газов, а также разрабатывать меры по адаптации и приспособления к новым условиям жизни в изменяющихся условиях окружающей среды. Особого внимание в процессе экологизации уделяется направлению геоинженеринга, под которым понимается искусственное воздействие на окружающую среду с целью получения того или иного прогнозируемого эффекта. Экономическое, социальное и юридическое инновационные направления геоинженеринга сводятся к созданию принципов и основ функционирования управления сложными процессами,

такими как изъятия CO<sub>2</sub> из атмосферы и др. [2-4]. Разумеется, появление инновационных методов геоинженеринга приведет к появлению новых технологий сервиса.

Характерной чертой экологизации является растущее влияние ее на конкурентоспособность товаров и услуг отдельных компаний, стран и регионов. Современные потребители чаще всего делают выбор в пользу тех товаров и услуг, при производстве или эксплуатации которых выбросы парниковых газов минимальны. Мировые рынки также используют процессы экологизации, вводят те или иные запреты и барьеры при продвижении товаров и услуг, не отвечающих требованиям мировой климатической политики. И это используется в политических, экономических целях и является фактором конкурентоспособности.

В настоящее время международная ситуация такова, прогрессивная внутренняя климатическая политика России может способствовать повышению конкурентоспособности страны, ее товаров и услуг посредством международной демонстрации и наглядного подтверждения экологизации российской экономики. Имея Климатическую доктрину и план ее реализации, нужно усилить процесс экологизации в направлении использования новых низкоуглеродных технологий, повышения энергоэффективности, что позволит создать положительный имидж российских товаров и услуг, содействовать развитию и росту конкурентоспособности нашей страны [3].

В процессе экологического образовательного процесса бакалавров и магистров в университете широко используется кейс-метод (case study) (от англ. *case* — случай) — техника обучения, которая используется для описания реальных ситуаций задачи и примеры из научной литературы. В качестве кейсов, например, выбираются прогностические сценарии второго оценочного доклада о климатических изменениях для бассейна Балтийского моря, согласно которому в конце XXI века уровень Финского залива изменится и может повыситься от 30-40 до 80-90 см по сравнению с концом XX века [5]. Студенты должны проанализировать ситуацию, выявить основные проблемы, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них. При данном методе обучения студент самостоятельно принимает решение и обосновывает его. Разбирая кейс, студенты фактически получают решение проблемы, которое можно применить в аналогичных обстоятельствах в процессе работы. Например, при решении проблем, направленных на лучшее понимание последствий изменения климата и поиск наиболее оптимальных путей развития регионов и предприятий сервиса, формирование механизма оценки потерь и ущерба в результате воздействий изменения климата, который подразумевает страхование климатических рисков; выявления зон затопления, подтопления на территории Санкт-Петербурга при повышении уровня Балтийского моря на период до 2100 года, полученные Межправительственной группой экспертов по изменению климата и др. В качестве кейсов используются также экологические проекты ХЕЛКОМ, прежде всего направленные на профессиональную подготовку в сфере бизнеса, которые позволяют по-новому осмыслить идеи устойчивого развития. Увеличение количества кейсов, проанализированных студентом, увеличивает вероятность использования готовой схемы решений к сложившейся ситуации, формирует навыки решения более серьезных проблем.

#### **Студенческая научная деятельность и экологическое просвещение.**

На базе факультета сервисной и конгрессно-выставочной деятельности организован научный кружок «Клуб лидеров климатического развития в сфере сервиса, туризма и гостеприимства», который основан на идее экологического просвещения и направлен на повышение глобальной экологической культуры молодежи, развитие экологического сознания и разработке оптимальных путей включения экологии в сферу услуг. Одна из основных задач студенческого научно-исследовательского клуба – помочь студентам в разработке самостоятельных проектов по глобальной и региональной экологической тематике; развивать межрегиональные и международные связи с общественными и государственными организациями экологической направленности; активной работе со школьниками, а также с учащимися интернатов, в том числе с социально незащищенными семьями.

Студентам предлагается выполнить проект по одной из 5-ти номинаций:

- Разработка оптимальных путей включения экологии в сферу услуг в регионе Балтийского моря;
- Адаптация и смягчение последствий промышленных выбросов, загрязняющих окружающую среду для устойчивого развития сервисной деятельности;

- Международная инициатива по предотвращению глобального изменения климата и защите окружающей среды;
- Экологические проблемы городов на побережье Балтийского моря;
- Искусство против загрязнения (фото, рисунок, видео, аудио, конференции и т.д.).

Как мы видим, тематика проектов очень разнообразна, но существует два критерия, которые их объединяют. Во-первых, все проекты посвящены экологическим проблемам Балтийского моря, которые рассматриваются сквозь призму глобальных климатических изменений. Во-вторых, важным условием успешности проекта выступает требование провести конкретную практическую работу, ведущую к улучшению экологической ситуации: акцию по очистке, информационную кампанию, публикацию в СМИ или письмо в орган власти. Номинация «Искусство против загрязнения» не является исключением из этого правила. Все творческие работы должны не просто быть созданы, но и представлять собой часть информационной кампании. В рамках проведения «Клуба лидеров климатического развития в сфере сервиса» организован курс лекций. В период работы клуба планируются проведение лекционных и практических занятий, которые помогут студентам расширить знания в области экологических проблем Балтийского моря, ознакомятся с терминологией по экологической тематике на английском языке. Разработанные студентами проекты представлены на весенней научной студенческой сессии. К докладам прилагается краткая аннотация на английском языке. Лучшие проекты примут участие в конкурсе Международной зимней и летней школе, проводимой университетами Германии и Швеции в марте и августе 2019 г. (International Baltic Earth Winter and Summer School on Climate change in the Baltic Sea region).

В заключении хотелось бы сказать несколько слов о волонтерском движении студентов университета. Это участие в работе экологического волонтерского центра, Санкт-Петербургском всероссийском молодежном экологическом форуме и других мероприятиях, в которых принимают участие молодежь и студенты. В 2017 г. в Санкт-Петербурге студенты нашего факультета участвовали в проведении международного экологического форума «День Балтийского моря», 22-го международного фестиваля экологических фильмов «Зеленый взгляд/Green vision», фестиваля заповедной природы «Оберег Невы», экологическом лагере «Зеленый шаг», проекте «Экобудущее», разрабатывали экологические квесты на природе и др.

### **Литература**

1. Байкова И.М. География сервиса: учебно-методическое пособие.-СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016. – 90 с.
2. Будыко М. И. Глобальная экология. — М.: Мысль, 1977. — 328 с.
3. Климатическая доктрина РФ. 2009. Распоряжение президента РФ от 17.12.2009 № 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации».
4. Climate Change. The Physical Science Basis. Working Group Contribution to the Fifth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC AR5 WG1 2013, 876 p.
5. Байкова И.М. Экологизация сервисной деятельности: учебно-методическое пособие.-СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2018. – 160 с.

## ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДООХРАННЫХ ЗОН С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА

Л.С. Банщикова<sup>1</sup>, А.А. Банщиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО «НПО «Гидротехпроект», Валдай, Россия

## REAL-TIME MONITORING OF WATER PROTECTION ZONES USING UAV

L.S. Banshchikova<sup>1</sup>, A.A. Banshchikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>RPA "Gidrotekhproekt", Valday, Russia

*В работе приведены примеры использования беспилотных летательных аппаратов для осуществления оперативного мониторинга водоохраных зон на примере озера Долгое.*

*Examples of the use of unmanned aerial vehicles for operational monitoring of water protection zones on the example of Dolgoe Lake are given in the work.*

В вопросах охраны окружающей среды и водных объектов важная роль отведена оперативному мониторингу. Государственный мониторинг водных объектов осуществляется в целях своевременного выявления и прогнозирования развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов; оценки эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов и информационного обеспечения управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе для государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов, а так же соблюдению правил использования водоохраных и природоохраных зон.

Согласно Водному Кодексу РФ [1] для любого водного объекта в независимости от его гидрографических характеристик устанавливается водоохранная зона, в границах которой согласно ст. 65 вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности.

Кроме того, статья 104 Лесного кодекса РФ четко указывает на правовой режим лесов, расположенных в водоохраных зонах. Площадь участка сплошной рубки, включая сплошные рубки реконструкции, не должна превышать 5 га при ширине лесосеки не более 100 метров при протяженности ее равной не более одной трети участка (по ширине и длине), выполняющего определенные целевые функции или примыкающего к непокрытым лесной растительностью землям, а также к планируемым на ближайшие 5 лет вырубкам. В соответствии с частью 1 статьи 104 Лесного кодекса Российской Федерации [3] в лесах, расположенных в водоохраных зонах, запрещается проведение сплошных рубок лесных насаждений.

Допустимо проведение выборочных рубок лесных насаждений, но такие рубки должны быть очень слабой, слабой и умеренной интенсивности и обеспечивать формирование и сохранение сложных, преимущественно разновозрастных лесных насаждений, эффективно выполняющих водоохраные функции.

В отечественных и зарубежных исследованиях была выявлена прямая зависимость между водностью рек и озер и наличием лесов. Вырубка лесов обычно приводит к обмелению рек, исчезновению родников, пересыханию ручьев.

Леса оказывают прямое влияние на величину испарения, поверхностного и внутригрунтового стока, в целом на водный баланс, на гидрологический режим рек.

Поэтому при выборе участков лесозаготовительных работ, равно как для контроля за проведением лесозаготовок и лесовосстановительных работ, актуальным является оперативный мониторинг с помощью беспилотных летательных аппаратов.

В качестве примера в работе приведён выруб, который входит в площадь водосбора озера Долгое (Тверская область, Бологовский район) (рис. 1). Озеро Долгое – болотного типа, верховое, дно торфяное, площадь зеркала – 0,07 км<sup>2</sup> [2], что составляет 1% от общей площади водосбора. Склоны западной и юго-западной экспозиции заболочены, северные и северо-восточные склоны – более высокие, до 2м, облесены. Оз. Долгое относится к бассейну реки Мста. Водный объект расположен в пределах воспроизводственного участка, где установлен ряд ограничений и запретов на использование объектов животного и растительного мира.



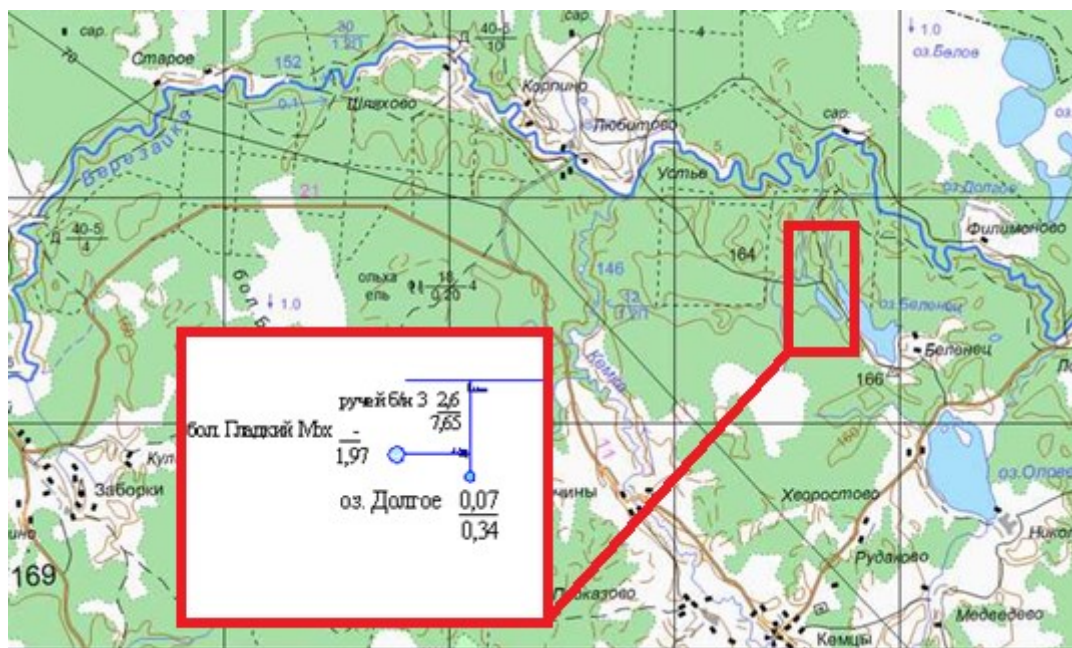


Рис. 1. Карта-схема расположения озера Долгое

Озеро Долгое имеет смешанный тип питания, так, порядка 40% внутригодового стока приходится на грунтовые воды.

Основной причиной увеличения грунтового и уменьшения поверхностного стока лесами является сохранение под ними хорошей водопроницаемости почв (защищена лесной подстилкой, разрыхлена корнями и т. п.), а также более равномерным поступлением влаги на ее поверхность (замедленная интенсивность таяния снега, гашение силы дождей пологом леса и др.). Во время дождя упругие струи воды с силой падают на ветви и с них мягко стекают на лесную подстилку, состоящую из опавших листьев и лесного разнотравья. Через подстилку вода медленно уходит в почву и по глубинным ее слоям стекает в реки. Таким образом, лес защищает почву от эрозии, берега рек от размывов. Зимой на кронах лиственных пород задерживается не более 3-5 % осадков, но зато тот снег, что упадет на лес, лежит там прочным мягким покрывалом. В хвойных лесах, особенно еловых, кронами задерживается до 60% зимних осадков.

Вырубка лесов резко изменяет характер стока и гидрологический режим рек, вызывает бурные весенние паводки и резкое обмеление рек и озер в летнее время. Для того чтобы водорегулирующее значение лесов проявлялось с максимальной эффективностью, они должны располагаться равномерно по всему водосборному бассейну реки.

Осуществление мониторинга с использованием спутниковой съемки эффективно лишь с точки зрения определения площадных характеристик вырубок, кроме того получение их в оперативном режиме невозможно.

Поскольку рассматриваемая территория находится в труднодоступном месте, наземная съемка применялась только после выявления фактов нарушения с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

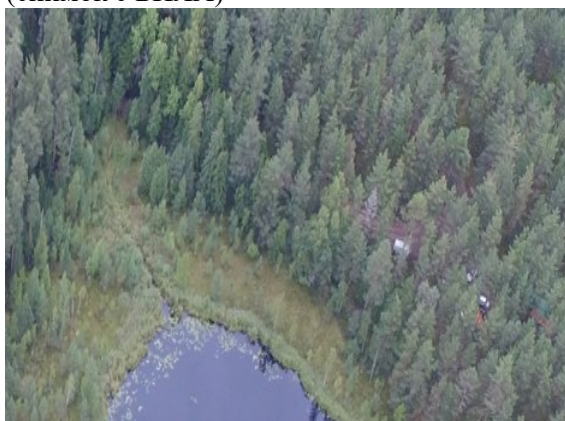
Для обработки данных съемки с БПЛА и получения максимально точных результатов важно, чтобы снимки в одном маршруте имели тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съемке составляло не менее 20-30%. При выполнении мониторинга существует несколько вариантов построения маршрута: косоугольный или комбинированный. Разведка по прямолинейному маршруту применяется при полете вдоль водоохраных зон, с целью выявления нарушений их использования. При выполнении речной авиаразведки принято полет вверх по реке производить вдоль левого берега, а вниз по реке — вдоль правого.

Высота полета выбирается оператором БПЛА в ручном режиме, с учетом безопасности полета и оптимальных условий наблюдений. В полевом журнале фиксируется высота производства наблюдений.

Мониторинг выруба проводился летом и осенью 2018 года, в результате чего были выявлены значительные нарушения водоохранного законодательства:

Так было выявлено нарушение ст. 65 п.5 Водного Кодекса: размещение автозаправочных станций, складов горюче-смазочных материалов станций технического обслуживания, используемых для технического осмотра и ремонта транспортных средств, осуществление мойки транспортных средств; обнаруженный лагерь лесозаготовителей не соответствовал санитарно-гигиеническим нормам, было выявлено отсутствие локальной системы водоотведения (канализации) (рис. 2).

а) лагерь лесозаготовителей  
(снимок с БПЛА)



б) лагерь лесозаготовителей



в) лагерь лесозаготовителей



г) прицеп с дизельным топливом в пределах водоохранной зоны



Рис. 2. Выявленные нарушения в пределах водоохранной зоны, озеро Долгое, 07.08.2018г.

Кроме того, сооруженная дорога для вывоза древесины построена с нарушением как Лесного, так и Водного кодексов. Она проходит в пределах водоохранной зоны, более того, дорожное полотно выложено гатью из отходов лесопильного производства - горбыля хвойных пород. Очевидно, что в период весеннего половодья и дождевых паводков выделяемые гниющей древесиной фенолы будут разгружаться в озеро (рис. 3).

а) дорога в водоохранной зоне  
(снимок с БПЛА)



б) гать



Рис. 3. Выявленные нарушения в пределах водоохранной зоны, озеро Долгое, 07.08.2018г.

Кроме того, обработка снимков позволила определить, что общая площадь вырубса составила 0,6г, против разрешенных 0,5 га. Проводимые работы выполнены с нарушением технологии, а именно, больные деревья, некондиционные деревья, поваленная и сломанная кустарниковая растительность, а также часть спиленных деревьев не убраны (рис. 4).



Рис. 4. Выруб у озера Долгое, 07.08.2018г.

Таким образом, БПЛА может быть применен для оперативного мониторинга водоохранных зон. Систематические наблюдения за водными объектами могут позволить также выявить изменения водного объекта – площади водного зеркала озера, изменения качества воды, цветности, а также зарастаемость и заболачиваемость. Помимо этого, возможно выполнение наблюдений за соблюдением технологии производства лесозаготовительных работ, особенно в части касающейся лесовосстановительных работ, осуществляемых через несколько лет после вырубса.

### Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 3 августа 2018 года) <http://docs.cntd.ru/document/901982862>
2. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л. Гидрометеозидат, 1965. 700 с.
3. Лесной кодекс Российской Федерации (с изменениями на 3 августа 2018 года) <http://leskod.ru/>

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЧВОГРУНТОВ КАРЬЕРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОДОСБОРА Р. НЕВЫ МЕТОДАМИ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ

Т.В. Бардина<sup>1</sup>, канд. биол. наук, В.И. Бардина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия

## ENVIRONMENTAL CONTROL OF SOILS GROWTHS OF CAREERS ON THE TERRITORY OF THE CLEANAGE OF THE NEVA RIVER BY METHODS OF PHYTOTESTING

T.V. Bardina<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.I. Bardina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Scientific-Research Centre for Ecological Safety RAS, St. Petersburg, Russia

*Для экотоксикологической оценки почвогрунтов рекультивированного карьера, расположенного в Приневской низменности и имеющего гидравлическую связь с р. Невой, использованы разные методы лабораторного фитотестирования.*

*For ecotoxicological assessment of the soil grounds of a reclaimed quarry located in the Prinevskaya lowland and having a hydraulic connection with the Neva river, used various methods of laboratory phytotesting.*

В настоящее время при оценке экологических рисков при загрязнении почвенного покрова учитывают данные не только химических исследований, но и экотоксикологических, проводимых с помощью биотестирования [1, 2]. Биотестирование относится к интегральным методам оценки состояния природных сред, в том числе загрязненных почвогрунтов. В почвогрунтах объектов, где образовались очаги загрязнения со сложным составом токсикантов, содержится большое количество загрязняющих веществ неизвестного состава, обладающих кумулятивным токсическим эффектом, который не позволяет сделать достоверный экологический прогноз только на основе химических определений. Экотоксикологические исследования, проведенные с помощью биотестирования, дают информацию о негативных изменениях до появления видимых изменений в экосистеме. В настоящее время важным направлением исследований является выявление возможности применения разных биотест-систем для целей экологического контроля конкретных объектов [3].

Среди широкого круга тест-организмов большой интерес для биотестирования почв представляют растения. Фитотестирование, проводимое в лабораторных условиях, где с помощью растений выявляется наличие острой токсичности объекта, является разновидностью биотестирования. Лабораторные методы фитотестирования отличаются экспрессностью, доступностью, простотой эксперимента, экономичностью, хорошей воспроизводимостью и достоверностью полученных результатов. Эта разновидность биотестирования получила широкое распространение в исследовательских проектах и для решения практических экологических задач, как наиболее дешевый и оперативный метод [4].

Существуют два способа фитотестирования: элюатный (анализ водной вытяжки) и контактный (аппликатный) способ, который обеспечивает контакт тест-культуры с твердыми частицами образца. Целесообразность проведения фитотестирования не только на водном экстракте, но и на твердом образце, подтверждено исследованиями [5,6]. Для повышения достоверности полученных результатов необходимо использовать аттестованные методики.

### **Объект исследования и методы.**

Объектом исследования являлись почвогрунты карьера, образованного после добычи строительных материалов карьера, расположенного на правом берегу р. Невы. Рекультивация карьера была произведена с использованием отсыпки суглинистым грунтом в смеси с частично разложившимися твердыми бытовыми отходами. На территории карьера был зафиксирован высокотоксичный дренажный сток, поступающий по гидрографической сети в р. Нева [7]. Эти воды дренажного стока по результатам химического анализа являются высоко опасными. По результатам определения содержания валовых форм тяжелых металлов почвогрунты относятся к категории умеренно опасного загрязнения. Содержание таких органических токсикантов, как нефтепродукты и бенз(а)пирен не превышало соответствующие нормативы и фон.

Целью нашего исследования было обоснование возможности использования разных методов фитотестирования для экологической оценки почвогрунтов таких специфических объектов с набором большого количества токсикантов, как рекультивированные карьеры с применением твердых бытовых отходов.

На объекте были выбраны 3 площадки (5мх5м), отличающиеся гетерогенностью по рельефу. Отбор смешанных проб с площадки осуществлялся с горизонтов 0-5 и 5-20см.

В настоящее время большинство исследователей используют водные вытяжки для постановки фитотеста. Элюатное фитотестирование выявляет наличие растворимых токсикантов, которые могут поступать в сопредельные среды. Нами для выявления острой токсичности было проведено элюатное фитотестирование на семенах двух тест-культур: на овсе-*Avena sativa*, рекомендованное Минздравом [8] и на редисе –*Raphanus* [9].

Контактное фитотестирование проводится в основном по международным стандартам ISO 11269-1 и ISO 11269-2. В научно-исследовательском центре экологической безопасности Российской Академии Научи разработана методика контактного фитотестирования, которая включена в Федеральный Реестр методик [10]. В качестве тест-культуры используется пшеница мягкая (*Triticum aestivum*). Степень токсичности пробы устанавливается на основании разработанной шкалы при определении изменения всхожести семян ( $N_1$ ) и роста корней ( $N_2$ ) по сравнению с контрольной пробой.

#### Результаты.

В результате проведенного фитотестирования водных экстрактов на семенах овса было выявлено присутствие токсичности на одной площадке (№1, глубина 5-20см). В других случаях эффект торможения не превышал 20%, следовательно, эти образцы не обладали токсичностью по данному тест-организму (табл.1).

Таблица 1. Результаты фитотестирования водных вытяжек из проб на семенах овса

№ Пробы, глубина, см	Средняя длина корней, мм	td	Фитоэффект, $E_T^*$ %	Тест-реакция
Контроль	22,5	-	-	Норма
1, 0-5	22,2	0,17	1,3	Норма
1, 5-20	15,1	3,73	32,9	Эффект торможения
2, 0-5	23,1	0,25	2,7	Норма
2, 5-20	20,1	1,74	10,7	Норма
3, 0-5	23,3	0,55	3,6	Норма
3, 5-20	18,6	2,22	17,3	Норма

Примечание:  $E = [(X_c - X_s) / X_c] \cdot 100\%$ , где  $X_s$  и  $X_c$  - средние значения длины корней проростков в образце и контроле; td-коэффициент достоверности

В виду избирательной чувствительности разных тест-культур при фитотестировании на семенах редиса была выявлено наличие слабой токсичности уже на другой площадке № 2 (табл.2).

Таблица 2. Результаты элюатного фитотестирования образцов почвогрунта на семенах редиса

№ площадки	Глубина, см							Степень токсичности
		Среднее, %	N <sub>1</sub>	td	Среднее, мм	N <sub>2</sub>	td	
Контроль 1		90,0±3,5	-	-	42,0±1,5	-	-	-
1	0-5	82,5±1,8	-8,3	1,90	55,1±0,8	+31,2	7,60	Стимуляция роста
	5-20	85,0±7,1	-6,1	0,63	38,0±5,4	-9,5	0,70	Нет токсичности
2	0-5	82,5±1,8	-8,3	1,90	33,1±1,2	-21,2	4,57	Слабая токсичность
	5-20	90,0±0	0	0	53,8±0,1	+28,1	7,77	Стимуляция роста
3	0-5	100±0	+11,1	2,83	48,4±4,2	+15,2	1,43	Стимуляция роста
	5-20	80,0±3,5	-11,1	2,0	45,1±0,4	+7,4	1,98	Стимуляция роста

Примечание: приведены средние значение ± ошибка, N – степень изменения контролируемого параметра (длины корней проростка или всхожести семян) по сравнению с контрольным образцом  $t_d^*$  коэффициент достоверности;  $t_s$  – коэффициент Стьюдента  $t_{st} = 2,78$ , контроль – чистая почва,  $n=3$ ,  $P=0,95$

Токсикологический анализ с помощью авторской методики фитотестирования на семенах пшеницы выявил наличие токсичности на двух площадках на глубине 0-20см (табл. 3).

Таблица 3. Результаты контактного фитотестирования образцов почвогрунта на семенах пшеницы

№ площадки	Глубина, см	Всхожесть			Корень			Степень токсичности
		Среднее, %	N <sub>1</sub>	td	Среднее, мм	N <sub>2</sub>	td	
Контроль 1		90,0±3,5	-	-	42,2±3,4	-	-	-
1	0-5	78,3±4,1	-13,0	2,16	32,0±6,5	-24,2	1,40	IV-степень, малотоксичные
	5-20	60,0±0	-33,3	8,49	22,0±4,2	-47,8	3,73	III- степень, умеренно токсичная
2	0-5	91,7±2,0	-1,9	0,41	34,7±3,1	-17,7	1,63	V-практически не токсичная
	5-20	90,0±9,4	0	0	36,9±3,1	-12,6	1,16	V-практически не токсичная
Контроль 2		87,5±5,3	-	-	32,9±0,7	-	-	-
3	0-5	70,0±5,3	-20,0	2,67	28,1±1,3	-14,3	3,11	IV-степень, малотоксичные
	5-20	70,0±2,0	-20,0	2,67	31,4±3,2	-4,5	0,33	IV-степень, малотоксичные

Примечание: средние значение ± ошибка, N – степень изменения контролируемого параметра (длины корней проростка или всхожести семян) по сравнению с контрольным образцом,  $t_d^*$  коэффициент достоверности;  $t_s$  – коэффициент Стьюдента  $t_{st} = 2,78$ , контроль – чистая почва,  $n=3$ ,  $P=0,95$

### **Заключение.**

С помощью методов фитотестирования была выявлена токсичность почвогрунтов ранее рекультивированного карьера с применением ТБО. Образование токсичных веществ в почвогрунте привело к загрязнению дренажного стока.

Было показано, что различные тест-культуры при фитотестировании имеют неравную чувствительность к широкому спектру токсикантов, присутствующих в почвогрунте объекта.

При установлении острой фитотоксичности почвогрунта рекультивированного карьера более чувствительный отклик был получен при применении метода контактного биотестирования на пшенице.

При оценке экологического состояния таких сложных объектов, как карьеры, рекультивированные с помощью ТБО, методами фитотестирования недостаточно использование только методов элюатного биотестирования. В данном случае при экотоксикологической оценки загрязненных почвогрунтов необходимо одновременно применять элюатные и контактные методы фитотестирования.

При использовании нескольких тест-культур оценка токсичности должна осуществляться по наиболее чувствительному варианту для выявления риска в экосистеме.

### **Литература**

1. Bardina T.V., Chugunova M.V., Kulibaba V.V., Polyak Y.M., Bardina V.I., Kapelkina L.P. Applying bioassay methods for ecological assessment of the soils from the brownfield sites // *Water Air Soil Pollut.* 2017. V. 228.
2. Олькова А.С. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России // *Успехи современной биологии.* -2014.- Т.134.- №6.- С. 614-622.
3. Matejczyk M, Grazyna AP, Nałecz-Jawecki G, Ulfing K, Markowska-Szczupak A. 2011. Estimation of the environmental risk posed by landfills using chemical, microbiological and ecotoxicological testing of leachates. *Chemosphere* 82:1017–1023.
4. Терехова В.А., Воронина Л.П., Николаева О.В., Бардина Т.В., Калмацкая О.А., Кирюшина А.П., Учанов П.В., Креславский В.Д., Васильева Г.К. Применение фитотестирования для решения задач экологического почвоведения // *Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России.* 2016. №3. С. 37-41.
5. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М.: «Протектор», 2001, 304с.
6. Бардина Т.В., Кулибаба В.В., Чугунова М.В., Бардина В.И. Диагностика экотоксичности почв промышленных объектов прошлого экологического ущерба с помощью биотест-систем. // *Проблемы региональной экологии.* 2016. №2. С. 20-25.
7. Кулибаба В.В., Петухов В.В., Зинатулина Е.И., Меринова Е.С. Рекультивированные карьеры Приневской низменности- специфическая разновидность объектов накопленного экологического ущерба // *Региональная экология.* №1(43). 2016. С.7-13.
8. МР.2.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности.
9. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: МГУ, 2001.-689с.
10. ФР.1.39.2006.02264. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв.

## КОНФЛИКТЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИМОРСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ: АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРОБЛЕМ

Г.М. Баринава<sup>1</sup>, Е.В. Краснов<sup>1</sup>, А.Ю. Романчук<sup>1</sup>, О.И. Рябкова<sup>1</sup>, Л.О. Ушакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

## CONFLICTS OF NATURE USE IN COASTAL REGIONS OF RUSSIA: ANALYSIS OF KEY PROBLEMS

G.M. Barinova<sup>1</sup>, E.V. Krasnov<sup>1</sup>, A.Yu. Romanchuk<sup>1</sup>, O.I. Ryabkova<sup>1</sup>, L.O. Ushakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

*В статье обсуждаются наиболее значимые для приморских регионов конфликты, возникающие в ходе освоения прибрежно-морских акваторий и территорий. Среди конфликтных ситуаций рассмотрены трансформация приморских геосистем, противоречия интересов природопользователей, процессы природного и антропогенного происхождения (нефтяное загрязнение, эвтрофикация вод, разрушение берегов и др.). Решение обсуждаемых ключевых проблем увязывается с совершенствованием управления береговой зоной в процессе природопользования и подготовкой специалистов.*

*The article discusses the most significant conflicts for the coastal regions arising during the development of coastal and marine areas and territories. Among the conflict situations the transformation of coastal geosystems, contradictions of interests of nature users, processes of natural and anthropogenic origin (oil pollution, eutrophication of waters, destruction of shores, etc.) are considered. The solution of the discussed key problems is linked to the improvement of coastal zone management in the process of environmental management and training of specialists.*

Интенсификация хозяйственного освоения и расширение видов природопользования в приморских регионах РФ во многих случаях приводят к возникновению больших и малых конфликтных геоситуаций – от аварийных разливов нефти и разрывов трубопроводов до затопления грузовых и пассажирских кораблей. Контактная зона моря и суши испытывает все возрастающий прессинг в связи со строительством приморских городов и поселков, портовых комплексов, объектов инфраструктуры морских нефтяных и нефтегазовых месторождений и разного рода терминалов.

Одни и те же природные ресурсы могут представлять интерес для разных видов деятельности: в частности, земельные ресурсы входят в потенциалы градостроительства, сельского и лесного хозяйства, рекреационной деятельности. Появляются конфликты природопользования – противоречия территориальных приоритетов охраны природы и пространственного развития в рамках определенного режима природопользования, выражающегося в реальной или потенциальной деградации природных комплексов или их основных компонентов, снижении разнообразия, продуктивности и ценности ландшафтов, а также общей эффективности реализации хозяйственных функций территории [6].

Наиболее острые конфликты связаны с несовместимостью вида природопользования с принципами устойчивого развития и рационального использования ресурсного потенциала. Широко распространенные конфликты между стремлением немедленно использовать прибрежно-морские ресурсы и необходимостью обеспечить их долгосрочное воспроизводство и охрану возникают во многих регионах России – от Арктики до Дальнего Востока в связи с нефтегазодобычей, судоходством, рыболовством и др. Такова, к примеру, конфликтная ситуация, обусловленная наступлением городской застройки, интенсивной вырубкой леса в ООПТ Петербурга (Юнтоловский заказник и Стрельнинский берег). Одна из болевых точек их функционирования – отсутствие правовых регламентаций по поводу введения буферных зон вокруг особо охраняемых территорий [3].

В Арктическом природопользовании рост напряженности определяют конфликты меж- и внутриведомственных интересов, противоречия в разработке месторождений, появление незаконных морских свалок производственных отходов и т.п. В Баренцево-Карском регионе угрожающими темпами растут загрязнение акватории и биоты, изъятие биологических и минеральных ресурсов. В этих условиях явно недооцениваются проблемы функционального зонирования по видам природопользования и расширения сети морских охраняемых территорий [5].



Балтийское море испытывает колоссальную нагрузку нефтяного загрязнения [10]. С различными стоками в его акваторию ежегодно поступает до 600 тыс. т нефти. На эту акваторию приходится до 10% мировых морских перевозок. Ежедневно в море находится около 2000 кораблей и танкеров. Увеличение транспортных потоков нефтепродуктов по Балтийскому морю связано со строительством и увеличением портовых мощностей. С ростом объемов добычи и транспортировки нефти в этом бассейне повышается риск систематического и катастрофического загрязнения побережий [8].

Несмотря на принятую морскими нефтяниками концепцию «нулевого сброса» невозможно исключить вероятность аварийных разливов нефти при поисках и разведке морских месторождений, а также во время эксплуатации Кравцовского месторождения и нефтепровода, соединяющего его с береговыми сооружениями. Об этом свидетельствует и «План по предупреждению аварийных разливов нефти и нефтепродуктов», принятый в ООО «Лукойл-Калининград-Морнефть» [7]. Кроме России морские месторождения нефти на Балтийском шельфе разрабатывают Германия, Польша, Дания, увеличивая и без того высокий уровень риска прибрежным зонам рекреационного назначения.

Всесторонний анализ разнообразных причин конфликтных ситуаций, возникающих в приморских регионах - одна из важнейших геоэкологических задач сбалансированного природопользования. Картографические методы для их разрешения наиболее перспективны [6, 1, 9]. В российской части Юго-Восточной Балтики проведен анализ конфликтогенности и совместимости между собой различных видов деятельности, предложены некоторые меры по разрешению или смягчению конфликтов [2].

В целях ландшафтного планирования Калининградской области с участием авторов составлена карта конфликтов (М1:200000), разработаны паспорта конфликтов [1, 4]. На основе балльной оценки конфликты разделены на четыре категории: очень острый, острый, умеренно острый, слабый. При этом учитывались: а) степень совместимости территориальных приоритетов охраны природы и хозяйственного использования; б) степень антропогенной трансформации компонентов природных геосистем; в) степень обратимости и восстановления геосистем при снижении антропогенной нагрузки. Выделены реальные, сопряженные с различными видами хозяйственной деятельности конфликты, в том числе с разработкой минеральных и биологических ресурсов, транспортировкой, несанкционированным выловом рыбы и др.; потенциальные – на относительно благополучных акваториях и территориях с перспективой более интенсивного освоения. Принципиальное значение придается продолжительности конфликтов – постоянно действующим, длительным сезонным, редким и даже эпизодическим (моретрясений, затоков североморских вод и др.).

Большая часть Калининградской области (76,9%) отнесена к относительно бесконфликтной территории [4]. Районы острых и очень острых конфликтов расположены на территориях с нарушениями режимов лесо-, недропользования, а также в приморской зоне рекреационного назначения (таблица 1).

В связи с изменением климата перечень конфликтов на прибрежных территориях и морских акваториях может расширяться за счет появления новых угроз, таких как подъем уровня океана, затопление устьев рек и низменных участков суши, рост числа ураганов, штормовых нагонов и других опасных процессов и явлений. Учитывая, что около 10% населения РФ живут в прибрежных зонах риск опасности трансформации приморских ландшафтов и геоэкосистем диктует безотлагательность нахождения разумных путей для преодоления конкуренции между пользователями морских ресурсов, нацеливая их на сотрудничество в разработке комплексных стратегий преодоления конфликтных геоситуаций, сглаживания социально-экономических и геополитических противоречий.

Таблица 1. Конфликты природопользования на Калининградском морском побережье и возможные пути их решения

Характеристика конфликта	Северное побережье	Западное побережье	Вислинская коса	Куршская коса
Описание	Разрушение побережья в ходе расширения застройки г. Зеленоградска, увеличение числа объектов инфраструктуры, загрязнение рек и озер, разрушение лесных экосистем и верховых болот	Карьерная добыча янтаря в пос. Янтарный и др., сброс пульпы в море, интенсификация обвальнопользования процессов вследствие эксплуатации инженерных и гидротехнических сооружений, нарушение ландшафтов, уничтожение облепиховых ценозов	Устойчивый размыв северной части косы в результате улавливания песчаного материала вдольберегового потока наносов портовыми сооружениями (г. Балтийск) и волноломами, интенсификация лесопользования, неконтролируемая рекреация	Размыв прикорневой части косы, неравномерная антропогенная нагрузка на донные ландшафты, формирование котлов выдувания и др. эоловых форм; несоблюдение режима функционирования ООПТ, интенсивная застройка, загрязнение прилегающей акватории, подъем уровня грунтовых вод, подтопление пониженных участков
Вид	Реальный	Реальный	Потенциальный	Реальный, потенциальный
Категория	Очень острый	Очень острый	Острый	Острый
Продолжительность	Долговременный с сезонным усилением в летний период	Долговременный	Эпизодический, сезонный	Долговременный, сезонный
Пути решения	Корректировка Генерального плана г. Зеленоградска. Прекращение сброса дренажных вод с сельскохозяйственных полей, соблюдение правил эксплуатации водоочистного коллектора Зеленоградск-пос. Заостровье	Рекультивация нарушенных земель. Создание современной инфраструктуры рекреационной зоны. Организация ботанического заказника для сохранения облепиховых ценозов	Регламентация размещения рекреационных объектов, численности отдыхающих, утилизации отходов. Соблюдение правил эксплуатации маломерного флота, автостоянок и др.	Совершенствование схемы функционального зонирования национального парка. Контроль за соблюдением природоохранного режима. Регламентация архитектурно-планировочной структуры застройки. Снижение нагрузок автотранспорта, ограничение парковок

Знания о многих сторонах взаимодействия человека и природы, неопределенностей в глобальных и региональных тенденциях все еще недостаточны. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 5 июня 2015 г., Европейский кодекс поведения для прибрежных зон, Морской кодекс РФ представляют собой концептуальную основу для гармонизации интересов природопользователей, включая баланс между использованием, охраной и воспроизводством природного потенциала в целях долгосрочного и более устойчивого развития прибрежных регионов.

Проблемы множества конфликтов могут быть разрешены лишь через комплексное управление приморскими зонами (КУПЗ). Это подразумевает нахождение разумных путей для преодоления правовых коллизий центральных и региональных органов власти, конкуренции между пользователями ресурсов, неэффективности механизмов урегулирования споров, отсутствия соответствующего процесса принятия решений на федеральном и местном уровнях в отношении управления прибрежными районами. Кроме достижения краткосрочных целей по разрешению конфликтных ситуаций в морском природопользовании предстоит наметить и

рассчитанные на среднесрочную и долгосрочную перспективу федеральные и региональные программы повышения качества подготовки кадров по морским междисциплинарным направлениям природопользования – экоаудита, экомониторинга, экомониторинга и др.

### Литература

1. Баринова Г.М., Клименко Н.А. Роль ландшафтного планирования в системе управления устойчивым развитием приморского региона //Вестник Российского госуд. ун-та им. И. Канта. Вып.1. Сер. естественные науки. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта. 2006. С.52-61.
2. Гогоберидзе Г.Г., Домнина А.Ю. Возможные конфликты между видами морской деятельности в акваториях Российской части Юго-Восточной Балтики и разработка рекомендаций по их предотвращению // Ученые записки РГГМУ №12. Научно-теоретический журнал. СПб.: Изд. РГГМУ, 2010. С.132-151.
3. Григорьев А.А. Космический мониторинг динамики антропогенных изменений особо охраняемых природных территорий Петербурга и Ленинградской области // Вест. СПб. ун-та. Сер.7. 2009.вып.1. С.
4. Дедков В.П., Федоров Г.М. Пространственное, территориальное и ландшафтное планирование в Калининградской области / Под общей ред. В.П. Дедкова. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта.2006. 184с.
5. Денисов В.В. Региональная экологическая география как основа регионального природопользования в морях западного сектора Арктики // Тр. Всеросс. конф. «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». СПб.: Аграф+, 2017.С.169-172.
6. Дроздов А.В., Алексеенко Н.А. О конфликтах в природопользовании и необходимости их отображения в системе карт территориального планирования // ИнтерКарто 8: ГИС для устойчивого развития территорий: Мат-лы межд. конф. Хельсинки; СПб., 2002. С.191-196.
7. Нефть и окружающая среда Калининградской области. Том II. (Море) / Под ред. в.В. сивкова (отв. ред.), Ю.С. Каджояна и др. Калининград: Терра Балтика, 2012. 576 с.
8. Орленок В.В. Рябкова О.И., Шаплыгина Т.В. Масштабы и причины нефтемазутного загрязнения морского побережья Балтийского моря / Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология: Материалы конф. Калининград: Изд-во КГУ, 2004. С. 18-34.
9. Позаченюк Е.А. Территориальное планирование / Е.А. Позаченюк. Симферополь: Доля, 2003. 287 с.
10. Рябкова О.И. О влиянии природных и техногенных факторов на устойчивость берегов Балтийского моря //Вестник Российского госуд. ун-та им. И.Канта.вып.1, Сер. естественные науки. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта. 2007. С.44-50.

## ТРЕНДЫ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И МОДЕЛЬНЫМ ДАННЫМ

Т.В. Белоненко<sup>1</sup>, д-р.геогр.наук, А.В. Колдунов<sup>1</sup>, канд.геогр.наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## TRENDS OF LEVEL FLUCTUATIONS IN NORTHERN ATLANTICS BY SATELLITE AND MODEL DATA

T.V. Belonenko<sup>1</sup>, Dr.Sc., A.V. Koldunov<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются тренды стерических колебаний в Северной Атлантике за период 2003-2015 гг., которые оцениваются двумя независимыми методами. Первый метод базируется на комплексном использовании данных альтиметрических и гравиметрических измерений: используются данные AVISO и миссии GRACE. Второй метод опирается на интегральную оценку стерических колебаний по изменениям объема жидкости за счет изменения ее плотности: расчеты проводились по данным реанализов SODA, EN4 и ARMOR. Показано, что использование комбинации данных альтиметрии и GRACE дают завышенные значения стерических колебаний и их трендов. Это связано с тем, что наблюдения GRACE показывают изменения массы океана и, следовательно, изменения уровня моря в некоей относительной, а не геоцентрической системе отсчета, так как не учитываются эффект упругой деформации дна океана и соответствующее перераспределение объемов воды. Показано, что в Северной Атлантике наибольшее смещение этих оценок и ошибки в определении стерических колебаний и их трендов по первому методу характерно для областей, расположенных около Гренландии, и это обусловлено вкладом отрицательной трендовой составляющей в данных GRACE. При относительном удалении от берегов Гренландии трендовая составляющая в измерениях GRACE выражена незначительна, и тренды стерических колебаний, рассчитанные по методу, совместно использующему данные AVISO и GRACE, похожи на тренды изменчивости уровня по альтиметрическим данным. Тренды стерических колебаний уровня океана, рассчитанные по данным реанализов, показывают значительное сходство пространственного распределения их оценок друг с другом, а также с трендами изменения уровня океана по альтиметрическим данным.*

*We consider trends of steric fluctuations in the North Atlantic for the period 2003-2015, which are estimated by two independent methods. The first method relies on the integrated use of altimetric and gravimetric measurements. AVISO data and GRACE missions are used. The second method uses an integral estimation of steric oscillations for changes in the liquid volume due to a change in its density. Calculations were carried out according to reanalysis data of SODA, EN4, and ARMOR. We prove that a direct comparison of altimetry with GRACE data and estimates using their combination gives overestimated values of steric fluctuations and their trends. This is due to the fact, that GRACE observations show changes in the ocean mass and consequently sea level changes in some relative reference system rather than geocentric reference system, since the effect of elastic deformation of the ocean floor and the corresponding redistribution of water volumes are not taken into account. We demonstrate that in the North Atlantic the greatest shift in these estimates with errors in the determination of steric fluctuations is characteristic for regions near Greenland due to the contribution of the negative trend component in the GRACE data. However, the trend component in the GRACE measurements is negligible with a relative distance from the shores of Greenland, and the trends of steric oscillations calculated using the method combining AVISO and GRACE data are similar to the trends of altimetric data variability. Trends of steric level oscillations calculated from reanalysis data show a significant similarity in the spatial distribution as well as with trends of sea level variation calculated from altimetric data.*

Методика оценки стерических колебаний с использованием комбинированных спутниковых альтиметрических и гравиметрических измерений изложена в работах [1-3]. Применение этого метода для акватории Баренцева моря представлено в работе [4], а для морей Лабрадор и Ирмингера в работе [5].

Уровень океана, связанный с массой высоты столба жидкости, изменения которой происходят из-за процессов взаимодействия океана и атмосферы, включая приток пресной воды, а также таяние льда, может быть получен при помощи гравиметрических измерений, осуществляемые со спутников GOCE или GRACE. Гравиметрические измерения характеризуют массу столба жидкости в морях и океанах, фиксируя изменение морской массы, а над континентальными районами они дают прямые оценки изменения запасов воды [1]. Альтиметрические измерения, представленные в виде абсолютной динамической топографии,

характеризуют интегральный уровень океана относительно геоида [6]. Стерические колебания оцениваются непосредственно по разности альтиметрических и гравиметрических данных.

В нашем исследовании выбирались районы, удаленные от Гренландии, близость к которой, как оказалось, существенно влияет на получаемые оценки [7]. Линейные тренды стерических колебаний Северной Атлантики мы сравниваем с трендами, рассчитанными независимым методом по данным реанализов SODA, EN4 и ARMOR. Для исследования выбран период 2003-2015, который обусловлен продолжительностью миссии GRACE.

Помимо данных спутниковой альтиметрии и гравиметрических данных GRACE Tellus с пространственным разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$  сетки и доступным на сайте JPL (Jet Propulsion Laboratory), в настоящем исследовании использовались данные реанализов: SODA (Simple Ocean Data Assimilation), EN4 и ARMOR.

#### **Выводы:**

- Комплексное использование данных альтиметрических и гравитационных измерений дает принципиальную возможность оценить непосредственно стерические колебания уровня в различных бассейнах. Однако существуют проблемы, связанные с тем, что наблюдения GRACE, показывающие изменения массы океана, характеризуют изменения уровня моря в относительной, а не геоцентрической системе отсчета [8, 9]. Поэтому прямое сравнение альтиметрии с данными GRACE может привести к смещению оценок, не учитывающих влияние упругой деформации дна океана и соответствующего перераспределения объемов воды. Это означает, что применение метода комплексного использования данных альтиметрических и гравиметрических измерений сильно ограничено в географическом плане.
- Наибольший эффект эти процессы имеют в Северном Ледовитом океане, где смещение оценок данных GRACE может достигать 1,3 мм/год, а за его пределами 0,4 мм / год [10]. Этот эффект оказывает непосредственное влияние и на расчеты по комбинированным спутниковым данным стерических колебаний уровня моря и их трендов в Северной Атлантике.
- В Северной Атлантике оценка стерических колебаний уровня на основе разности альтиметрических и гравиметрических измерений дает завышение стерических колебаний уровня моря в морях Лабрадор и Ирмингера, что обусловлено вкладом отрицательной трендовой составляющей в данных GRACE около Гренландии. При этом пространственные распределения значений стерических колебаний в Северной Атлантике, рассчитанные для августа 2010 г. по комбинированным спутниковым данным, имеют наибольшее сходство с оценками по интегральной формуле, сделанными по данным реанализов SODA и ARMOR, а наименьшее – с EN4.
- Изменения уровня океана, обусловленные массовыми силами (измерения GRACE), имеют отрицательные тренды в непосредственной близости к Гренландии. Здесь уровень океана уменьшается со скоростью, превышающей 10 мм/год, достигая рядом с Гренландией 30 мм/год. Наблюдается небольшой рост уровня до 5 мм/год в районах около полуостровов Лабрадор и Скандинавия, но в остальной части бассейна северной Атлантики тренды или незначительны, или вообще отсутствуют. Иное распределение характерно для трендов, рассчитанным по альтиметрическим данным. В бассейнах, прилегающих к Гренландии, тренды могут быть и положительными, и отрицательными: если в морях Ирмингера и Баффина, а также около Шпицбергена наблюдается незначительное понижение уровня со скоростью 6 мм/год, то в остальной части бассейна уровень растёт, и скорость роста достигает 10 мм/год на юго-западе бассейна.
- При относительном удалении от берегов Гренландии трендовая составляющая в данных GRACE выражена незначительно, и тренды стерических колебаний по пространственному распределению величин похожи на тренды изменения уровня океана, рассчитанные по альтиметрическим данным.
- В Северной Атлантике распределение значений тренда существенное неоднородно по пространству. В частности, в море Ирмингера и южнее Исландии тренды стерических колебаний отрицательны, а в море Лабрадор и на юго-западе рассматриваемого бассейна наблюдаются положительные тренды.
- Тренды стерических колебаний уровня океана, рассчитанные по данным реанализов SODA, EN4 и ARMOR за период 2003-2015 гг. по интегральной формуле изменения объема

жидкости за счет изменения ее плотности [11], показывают значительное сходство между собой в пространственном распределении их оценок. Указанное сходство характерно также и для пространственного распределения трендов изменения уровня океана, рассчитанных по альтиметрическим данным.

### Литература

1. Chambers D.P. Observing seasonal steric sea level variations with GRACE and satellite altimetry // Journal of Geophysical Research/ 2006. 111 (C3). C03010. <http://dx.doi.org/10.1029/2005JC002914>.
2. Lombard A., García D., Ramillien G., Cazenave A., Biancale R., Lemoine J.M., Flechtner F., Schmidt R., Ishii M. Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data // Earth Planet Sci Lett. 254. 2007. 194–202.
3. García D., Ramillien G., Lombard A., Cazenave A. Steric Sea-level Variations Inferred from Combined Topex/Poseidon Altimetry and GRACE Gravimetry // Pure & Applied Geophysics. 2007. Vol. 164. Issue 4. P. 721-731.
4. Volkov D.L., Landerer F.W., Kirillov S.A. The genesis of sea level variability in the Barents Sea // Continental Shelf Res. 66. 2013. 92-104. doi:10.1016/j.csr.2013.07.007.
5. Белоненко Т.В., Федоров А.М. Стерические колебания уровня и глубокая конвекция в Лабрадорском море и море Ирмингера. // Исследование Земли из космоса. 2018. № 3. С. 56–69.
6. Fu L.L., Le Traon P.-Y. Satellite altimetry and ocean dynamics // Comptes Rendus Geosciences. Vol. 338. Issues 14-15. 2006. P. 1063-1076. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2006.05.015>.
7. Белоненко Т.В., Федоров А.М., Башмачников И.Л., Фукс В.Р. Тренды интенсивности течений в Лабрадорском море и море Ирмингера по спутниковым альтиметрическим данным. Исследование Земли из космоса, 2018, № 2, с. 3–12. DOI: 10.7868/S020596141802001X.
8. Kuo C.-Y., Shum C.K., Guo J.-y., Yi Y., Braun A., Fukumori I., Shibuya, K. Southern Ocean mass variation studies using GRACE and satellite altimetry // Earth, Planets and Space. 2008. 60(5). 477–485. <https://doi.org/10.1186/BF03352814>
9. Ray R.D., Luthcke S.B., van Dam T. Monthly crustal loading corrections for satellite altimetry // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2013. 30(5). 999–1005. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00152.1>.
10. Frederikse T., Riva R.E.M., King M.A. Ocean bottom deformation due to present-day mass redistribution and its impact on sea level observations // Geophysical Research Letters. 2017. 44. <https://doi.org/10.1002/2017GL075419>.
11. Han G., Chen N., Kuo C.Y., Shum C.K., Ma Z. Interannual and Decadal Sea Surface Height Variability Over the Northwest Atlantic Slope // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. DOI:10.1109/JSTARS.2016.2584778, 2016.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.*

*This work was financially supported by the Russian Science Foundation, grant No. 18-17-00027.*

## КОСМИКО-ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ РИТМИКА АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЗЕМЛИ И ЕЕ УЧЕТ В ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗАХ КЛИМАТА И ПОГОДЫ

В.А. Белязо<sup>1</sup>, В.В. Дроздов<sup>2</sup>, А.А. Дмитриев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## EARTH'S SPACE- AND GEOPHYSICAL ATMOSPHERICAL CIRCULATION RYTHM AND ITS ROLE IN LONG-TERM WEATHER AND CLIMATE PREDICTION

V. A. Belyazo<sup>1</sup>, V. V. Drozdov<sup>2</sup>, A. A. Dmitriev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorology University, St. Petersburg, Russia

*Проведенное исследование по динамике ЦДА и анализу многолетней изменчивости крупномасштабных процессов атмосферы показало единую космогеофизическую основу климатической изменчивости природных процессов, что позволило более обоснованно подходить к оценке грядущих изменений циркуляционного и климатического режима приполярных районов планеты.*

*The conducted research on dynamics of AAC(atmospheric action centers ) and analysis of long-term variability of large-scale atmospheric processes has shown a unified cosmogeophysical basis of climatic variability of natural processes, which allowed us to more reasonably approach the assessment of future changes in the circulatory and climatic conditions of the circumpolar regions of the planet.*

Известно, что в непрерывной цепи земных природных процессов обнаруживаются различные по продолжительности и интенсивности стадии развития. Очевидно, что возникновение подобных стадий в атмосфере и океане обусловлено одновременным воздействием как земных, так и внешних факторов. К внешним факторам, прежде всего, относятся долгопериодные приливные явления, солнечная активность, колебания оси вращения Земли и ее скорости. Присутствие близких по продолжительности ритмов как в отмеченных факторах, так в стадиях природных процессов свидетельствует о взаимосвязанности всех этих явлений.

В конечном итоге, изменчивость всех указанных явлений обусловлена обращением Солнца и планет вокруг центра масс Солнечной системы. Суть этого состоит в том, что под воздействием гравитационного поля планет расстояние центра массы Солнца относительно центра масс Солнечной системы циклически изменяется, что характеризуется величиной диссимметрии ( $D_s$ ). Эта величина определяется как параметрами планет, так и их орбитальными характеристиками.[1]

К оценке роли диссимметрии в характере колебаний климата планеты в последние два десятилетия обращались многие авторы. Этому способствовало наличие расчетных данных по диссимметрии за большой ряд лет как за прошлые годы, так предстоящие годы.

В работах, посвященных этому вопросу, представлена последовательная схема передачи влияния величины диссимметрии Солнечной системы к элементам геодинамики, далее к объектам глобальной циркуляции атмосферы, а от них к термодинамике океанов и погодным условиям на континентах.[2]

Учитывая сказанное, и тот факт, что значительную роль в изменчивости диссимметрии играют орбитальные характеристики (включая долготы перигелия и афелия, наклон эклиптических орбит планет, долготы пересечения планетами небесного экватора), нами были рассмотрены многолетние изменения природных характеристик по полярным регионам планеты для лет, приходящихся на определенные интервалы гелиодолгот внешних планет.

Выявленная многолетняя изменчивость атмосферной циркуляции по полярным регионам была сопоставлена с циклами обращения трех главных внешних планет – Юпитера, Сатурна и Урана. Для этой цели методом наложения эпох была подсчитана повторяемость форм циркуляции для лет, приходящихся на периоды  $30^\circ$  интервалов гелиодолгот рассматриваемых планет.

Результаты соответствующих вычислений показали, что характер изменчивости циркуляции в исследуемых регионах для различных периодов обращений указанных планет (12, 30 и 84 года

соответственно) сохраняет определенную последовательность в смене преобразований (стадий) зональных и меридиональных процессов [3].

Изменчивость индексов зональной циркуляции Северной и Южной Атлантики обнаруживают обратный характер связи их повторяемости в рамках планетных циклов различной временной продолжительности. Эта особенность проявляется также в показателях температурного и ледового режима в приполярных районах Атлантики.

Установлено, что экстремальные аномалии атмосферной циркуляции и погодного режима этих районов приходятся на годы пересечения планетами солнечного экватора ( $\lambda = 0$  и  $180^\circ$ ), а также в годы наибольшего наклона их орбит относительно плоскости солнечного экватора ( $\lambda = 90$  и  $270^\circ$ ).

Отмеченный факт объясняется наклоном эклиптической орбиты планет относительно небесного экватора на угол  $\pm 23^\circ 27'$ , который приходится на интервалы долгот  $90 - 120^\circ$  и  $240 - 270^\circ$ . В то же время на долготах  $0 - 30^\circ$  и  $180^\circ$  планеты пересекают плоскость небесного экватора и их воздействие на солнечную активность и опосредовано на земные процессы становится наибольшим, что приводит к увеличению повторяемости меридиональных процессов.

Кроме этого нами были вычислены и совместно проанализированы многолетние данные средних аномалий температуры воды по северной части Тихого океана, ледовитости в морях восточной Арктики и индекса высокоширотной зональности, отражающего характер и динамику атмосферной циркуляции в Арктике.[4]

Оказалось, что наиболее сложный фон ледовых условий в восточных арктических морях наблюдаются в годы нахождения планет на долготе  $120^\circ$  при повышенной высокоширотной зональности и пониженном фоне температуры воды в северной части Тихого океана. Пониженная ледовитость в восточных арктических морях наблюдается в годы нахождения планет на долготах  $0 - 30^\circ$  и  $210 - 240^\circ$ , когда чаще осуществляется среднеширотный тип зональности и повышенный фон температуры воды в северной части Тихого океана.

В процессе анализа характера связи циркуляционных процессов в северной и южной части Тихого океана, нами была также просчитана изменчивость индекса Южного колебания за 100-летний ряд по периодам обращения Юпитера. Выяснилось, что максимальные положительные значения индекса Южного колебания приходятся на период нахождения планет в точках, близких к моментам весеннего и осеннего равноденствия ( $\lambda = 0^\circ$  и  $\lambda = 150 - 180^\circ$ ), а отрицательные аномалии близки к периодам прохождения планетами точек летнего и зимнего солнцестояния ( $\lambda = 60 - 90^\circ$  и  $240 - 270^\circ$ ), что создает двойную волну, равную полупериоду цикла.

Проведенное сопоставление индекса Южного колебания со средними значениями величины, характеризующей колебание полюса вращения Земли, показывает, что максимальные отклонения полюса Земли приходятся на годы нахождения планет в точках весеннего и осеннего равноденствия. В эти периоды планета Земля и Солнце находится на одной линии радиуса вектора, выходящего из центра Солнца.

Кроме отмеченного были вычислены средние аномалии изменения расстояния большой полуоси Земля – Солнце, обусловленные дисимметрией на соответствующих интервалах долгот орбиты Юпитера. Расчеты показали, что экстремальные значения Южного колебания и мгновенного полюса вращения Земли обнаруживают обратный характер связи с изменением расстояния Солнце – Земля, которая, возможно, является первопричиной колебания этих параметров.

Произведя анализ характера связи природных процессов с относительно короткими циклами Юпитера, было рассмотрено влияние и более длительных циклов. В частности, по данным, рассчитанным по долготным интервалам планеты Уран (имеющим период обращения 84 года), индекс Южного колебания имеет также два максимума, приходящихся на годы нахождения планеты в точках весеннего и осеннего равноденствия ( $\lambda = 0^\circ$  и  $180^\circ$ ) и два периода пониженных значений индекса в периоды близкие к долготам летнего и зимнего солнцестояния. Продолжительность этих периодов равна длине полупериода орбиты (42 года).



Таким образом, анализ фактического материала по полярным регионам и океаническим бассейнам Северного и Южного полушария свидетельствуют о том, что между природными процессами этих регионов, несомненно, существует тесная взаимосвязь, поскольку, во-первых, все процессы едины и планетарны, во-вторых, они осуществлялись под непосредственным влиянием исключительно динамичной роли океанов, и, в-третьих, они постоянно находились под воздействием ряда промежуточных механизмов передающих изменчивость сил гравитации Солнечной системы.

### **Литература**

1. Решетов В.Д. Связь атмосферных процессов с положением планет относительно Солнца и Земли. – Сб. трудов «Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере».Л.: Гидрометеоздат, 1977, с. 78-85.
2. Леонов Е.А. Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз.- СПб.: Алетейя, Наука, 2010, 350 с.
3. Дмитриев А.А., Беязо В.А., Гудошников Ю.П. Ритмические колебания земных природных процессов и их гравитационная обусловленность. – СПб : Издательство Политехнического университета, 2011.- 231
4. Дроздов В.В. Влияние крупномасштабных параметров циркуляции атмосферы на уровненный режим Белого моря. «Проблемы Арктики и Антарктики», 2011, №3(89), с. 65-73.

## ДИНАМИКА ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Л.А. Беспалова<sup>1</sup>, А.Г. Авакова<sup>1</sup>, А.Е. Цыганкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## DYNAMICS OF HAZARDOUS WEATHER PHENOMENA OF THE AZOVA-BLACK SEA COAST IN RUSSIA IN MODERN TIMES

L.A. Beshpalova<sup>1</sup>, A.G. Avakova<sup>1</sup>, A.E. Tsygankova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

*На основе базы данных за многолетний период исследованы тенденции проявления ОЯ Азово-Черноморского побережья России, выявлена динамика проявления ОЯ, выполнено районирование исследуемой территории по частоте возникновения данных погодных явлений. Работа выполнялась при помощи метода балльных оценок и классификаций, проанализировано семь составляющих ОЯ (туман, грозы и ливневые осадки, град, метель, гололед, изморозь, сильный ветер).*

*The trends of HWP of the Azov-Black Sea coast in Russia have been studied with the help of a database that has been collected for many years, the dynamics of HWP have been identified, and zoning of the area has been made according to the frequency of occurrence of these weather phenomena. The method of assessment and classification has been used in the work carried out; seven components of the HWP have been analyzed (fogs, storms and rainfalls, hails, snowstorms, ice, frost, strong winds).*

Климат побережья Азовского и Черного морей России разнообразен и уникален, изменяется от умеренно-континентального на побережье Азовского моря до субтропического в районе городского округа Сочи. Однако данная территория выделяется и по наличию опасных погодных явлений (ОЯ), которые несут за собой серьезные экологические последствия. В течение последних 10 лет на исследуемой территории отмечается тенденция к увеличению количества ОЯ, зафиксированы многочисленные человеческие жертвы, значительный ущерб нанесен отраслям экономики. В этой связи геоэкологический анализ ОЯ на Азово-Черноморском побережье России является актуальным.

Для оценки динамики ОЯ был создан ряд таблиц и графиков с использованием материалов Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 2005-2017 гг. по данным метеостанций: Таганрог, Донская (Азов), Тимашевск, Славянск-на-Кубани, Ейск, Должанская, Приморско-Ахтарск, Тамань, Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи.

Анализ пространственного распределения туманов на исследуемой территории показывает, что наибольшее количество туманов возникает на побережье Азовского моря в пределах Неклиновского, Азовского, Щербиновского и Славянского районов, максимум дней с туманами приходится на 2010 г. в Азовском районе с горизонтальной дальностью видимости 0,1 км (рис. 1).

На Черноморском побережье в г/о Анапа максимум дней с туманами приходится на 2013 г. В г/о Новороссийск выделяются 2008, 2012 и 2015 гг. с количеством дней с туманом выше среднего. В г/о Геленджик максимум дней с туманом приходится на 2012 и 2013 гг., минимум на 2010 и 2011 гг.

В результате пространственного анализа туманов на Азово-Черноморском побережье за период с 2005 по 2017 гг., можно отметить, что линия тренда в большинстве районов возрастает (рис. 1). Что связано с увеличением повторяемости фронтальных погод.

Анализ гроз и ливневых осадков на территории побережья Азовского и Черного моря России показывает, что количество дней с данным явлением изменяется в широких пределах от 18 дней до 36 дней в году. На исследуемой территории наблюдается тенденция к увеличению гроз и ливневых осадков во всех районах, кроме Приморско-Ахтарского и Неклиновского (рис. 2).

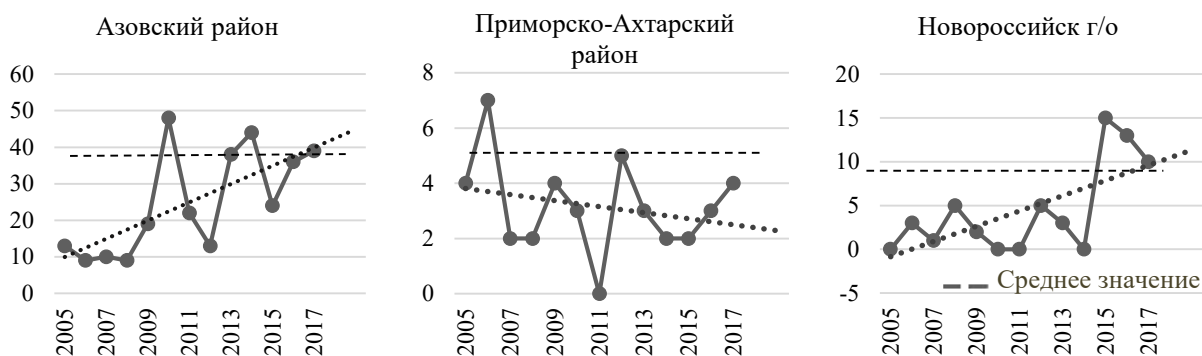


Рис. 1. Динамика возникновения туманов с 2005 по 2017 гг. на побережье Азовского и Черного морей (кол-во дней в год)

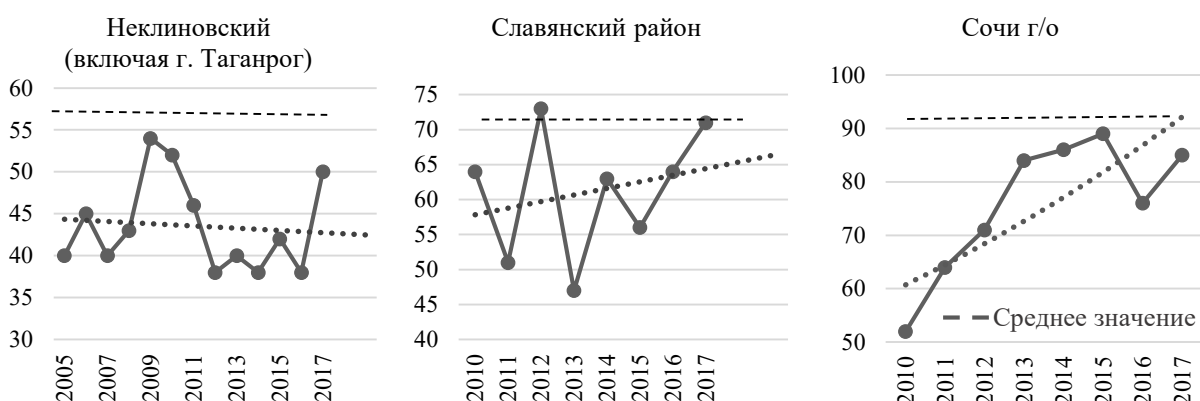


Рис. 2. Динамика возникновения гроз и ливневых осадков с 2005 по 2017 гг. на побережье Азовского и Черного морей (кол-во дней в год)

В результате исследования метелей установлено, что количество дней с данным погодным явлением за рассматриваемый период изменялось от 1 дня в до 27 дней в году. В Туапсинском районе, г/о Геленджик и Сочи метели в период с 2005 по 2014 гг. не возникали. Для этого явления тренд не однозначен. На Азовском побережье в пределах Северного берега Таганрогского залива повторяемость метелей уменьшается, для Южного практически не меняется. Тем не менее, эти районы относятся к зонам с сильной и очень сильной степенью проявления метелей. Напротив, на Черноморском побережье (Анапа, Новоросийск) тренд положительный, но эти регионы характеризуются слабой степенью проявления (рис. 3).

Ветер на территории Азово-Черноморского побережья, Ростовской области и Краснодарского края – один из основных и наиболее часто возникающих ОЯ. Повторяемость сильных ветров на побережье изменялась от 7 до 106 дней в году. Самым ветреным районом на побережье является г/о Новоросийск. Здесь в период с 2005 по 2017 гг. наблюдалось в среднем 25 дней в году с сильным ветром, максимум – 50 дней. Для этого явления отмечается по всем постам наблюдения положительный тренд, за исключением Северного побережья Таганрогского залива (Неклиновский район) (рис. 4).

Исследование побережья Азовского и Черного морей России по частоте проявления ОЯ проводилось с помощью метода балльных оценок и классификаций [1]. Проанализировано 8 показателей, в результате суммирования которых был выведен общий ранг ОЯ. Данные о ОЯ взяты из научно-прикладного справочника «Климат России» за период с 1977 по 2005 гг. по двенадцати метеостанциям: Таганрог, Донская (Азов), Тимашевск, Славянск-на-Кубани, Ейск, Должанская, Приморско-Ахтарск, Тамань, Анапа, Новоросийск, Геленджик, Туапсе, Сочи [2].

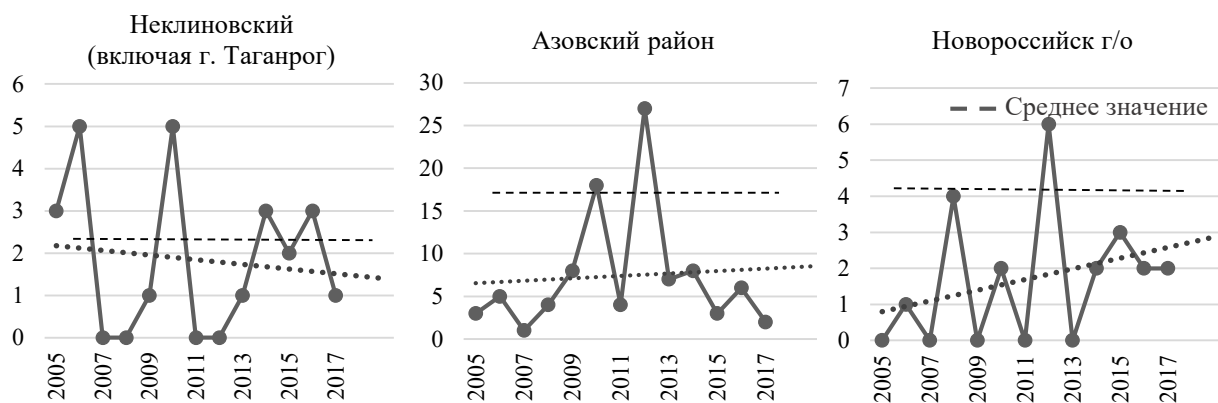


Рис. 3. Динамика возникновения метелей с 2005 по 2017 гг. в указанных районах (кол-во дней в год)

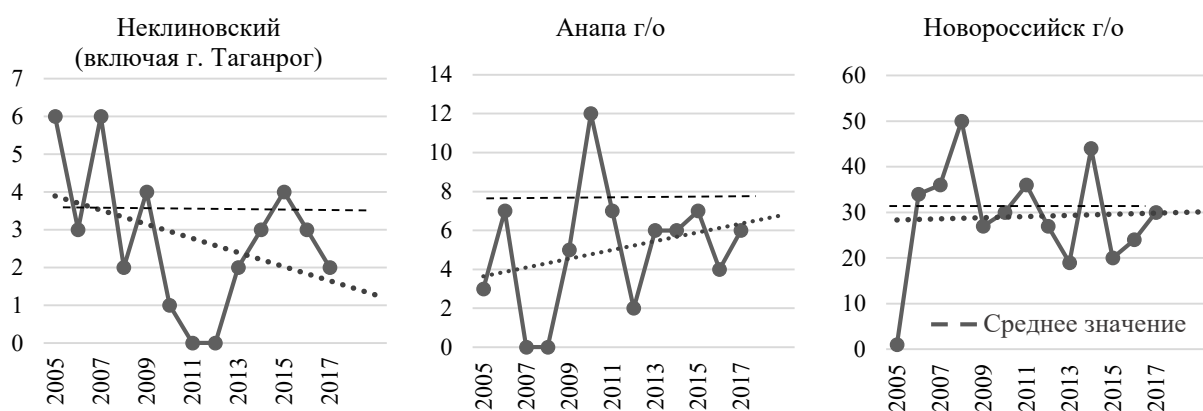


Рис. 4. Динамика возникновения сильного ветра >15м/с с 2005 по 2017гг. в указанных районах (кол-во дней в год)

Общий показатель ОЯ ранжирован методом линейной интерполяции по принципу: чем больше значение, тем выше ранг. Выделено 5 кластеров с различной частотой проявления ОЯ, которые соответствуют 5 территориальным зонам: Северо-Таганрогская, Щербиновская, Восточно-Приазовская, Азово-Темрюкско-Геленджикская, Восточно-Причерноморская.

Таким образом, всё побережье Азово-Черноморское побережье ранжировано на 5 зон с очень сильной, сильной, средней, слабой и очень слабой частотой проявления ОЯ. Северо-Таганрогская зона с очень сильной степенью проявления ОЯ занимает 8% от всего Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края (117 дней), Щербиновская зона с сильной степенью проявления ОЯ – 5% (136 дней), Восточно-Приазовская зона со средней степенью проявления ОЯ занимает наибольшую площадь территории 35% (от 92 до 124 дней), Азово-Темрюкско-Геленджикская зона со слабой степенью проявления ОЯ – 23% (от 100 до 108 дней), Восточно-Причерноморская зона с очень слабой степенью проявления ОЯ – 29% (от 68 до 140 дней) (рис. 5) [3, 4].

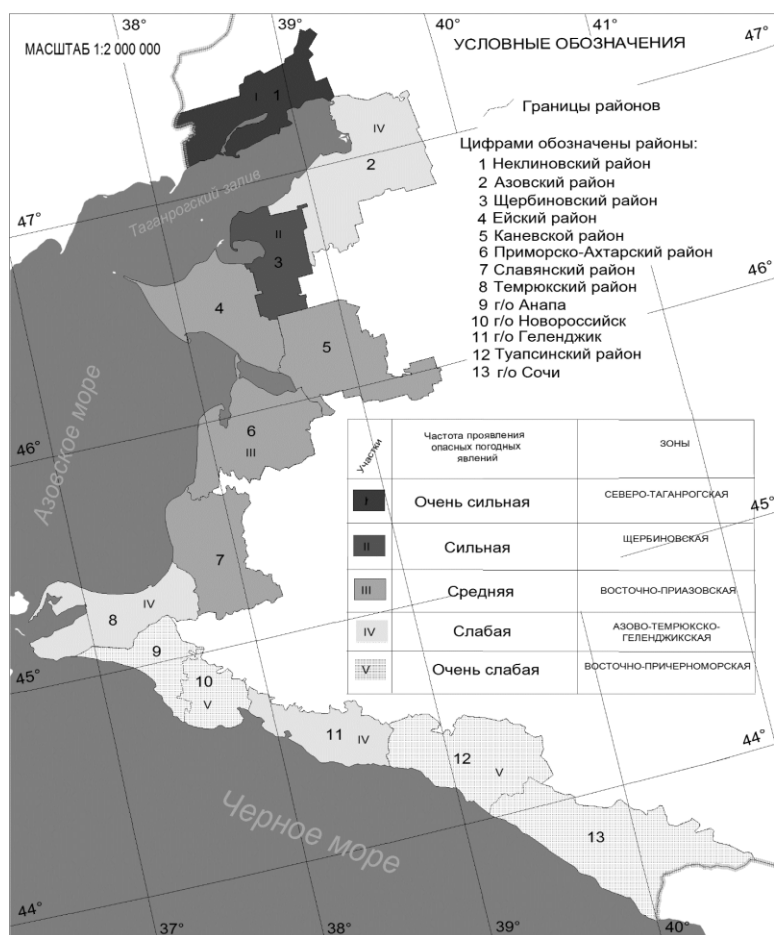


Рис. 5. Районирование Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края по частоте проявления ОЯ

Полученные результаты геоэкологического районирования Азово-Черноморского побережья могут быть использованы для улучшения качества современных прогнозов ОЯ для повышения эффективности экономического развития прибрежной инфраструктуры, для уменьшения возможного материального ущерба и людских потерь при принятии оптимальных управленческих решений при ожидании ОЯ и преодолении их последствий.

### Литература

1. Коробов В.Б. О методологии построения шкал для классификации природных объектов на основе балльных оценок // Проблемы региональной экологии. 2002. №4. С. 99-108.
2. Электронный научно-прикладной справочник «Климат России» // ВНИИГМИ-МЦД. 2007 г.
3. Авакова А.Г., Кропянко Л.В., Беспалова Л.А. Районирование Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края по степени проявления опасных погодных явлений // IX Международная научно-практическая конференция «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» Часть 7 (13-14 марта 2015 г.); международный Научный Институт «Educatio». Новосибирск: Из-во международного Научного Института «Educatio». 2015. С. 63-66.
4. Беспалова Л.А. Иошпа А.Р., Кропянко Л.В., Авакова А.Г. Опасные погодные явления Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края // Естественные и технические науки, № 11. 2015. С. 272-276.

*Работа выполнена в рамках внутреннего гранта ЮФУ № ВнГр-07/2017-14.*

*The work was done as part of the internal grant of the SFU No. VnGr-07 / 2017-14.*

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ КЛИМАТ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЙ

В.Д. Бойцов<sup>1</sup>, д-р геогр. наук, А.П. Педченко<sup>2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

## HYDROLOGICAL CLIMATE OF LAKE ILMEN IN THE SECOND HALF OF XX – BEGINNING OF XXI CENTURIES

V.D. Boitsov<sup>1</sup>, Dr. Sc., A.P. Pedchenko<sup>2</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

*Анализируется динамика гидрологического климата озера Ильмень за 1945—2016 гг. с помощью интегрального индекса, учитывающего изменчивость температуры воды, уровня и температуры воздуха. Выделены длительные периоды климатических изменений и установлен уровень их потепления и похолодания.*

*The variability of the hydrological climate of Lake Ilmen is analyzed for the period 1945—2016, using an integral index that takes into account the variability of water temperature, water level and air temperature. Long periods with different climatic conditions are identified and the degree of warming and cooling during them is determined.*

Озеро Ильмень относится к бассейну Балтийского моря и расположено на западе Новгородской области. Оно входит в европейскую систему великих озер. Гидрологический режим оз. Ильмень считается уникальным, поскольку имеет большой коэффициент удельного водосбора (61) и амплитуду колебаний уровня около 7,5 м. Эти показатели значительно превышают таковые многих континентальных водоемов страны. Для Новгородской области озеро является важным хозяйственным объектом, при этом особое значение имеет рыбный промысел.

Для анализа многолетней динамики климата морских водоемов был предложен интегральный индекс, который учитывает суммарную изменчивость основных климатообразующих факторов. Такие исследования были проведены для Баренцева, Белого и Балтийского морей [2, 4].

Основными индикаторами гидрологического климата крупных континентальных водоемов, таких как озера и водохранилища, могут являться температура воды и уровень, а для высоких и средних широт еще и ледовые условия. При отсутствии данных о ледовитости можно использовать температуру воздуха, поскольку этот физический параметр в холодную часть года во многом определяет ледовый режим пресноводных водоемов.

Для исследования особенностей гидрологического климата оз. Ильмень в 1945—2016 гг. анализировался интегральный климатический индекс (КИ), учитывающий динамику теплового состояния водных масс и уровня, данные которых усреднены за май-октябрь, а также средней температуры воздуха Великого Новгорода в январе-апреле. Формула, по которой он рассчитывался, имеет следующий вид:

$$КИ = \sum [(T_w - \bar{T}_w) / \sigma_{T_w} + (L - \bar{L}) / \sigma_L + (T_a - \bar{T}_a) / \sigma_{T_a}], \quad (1)$$

где КИ — интегральный климатический индекс (безразмерная величина);  $T_w$ ,  $L$ ,  $T_a$  — соответственно значения температуры воды (°C), уровня (см) оз. Ильмень в мае-октябре, температуры воздуха (°C) в январе-апреле;  $\bar{T}_w$ ,  $\bar{L}$ ,  $\bar{T}_a$  — средние многолетние за 1945-2016 гг. значения соответственно температуры воды, уровня озера, температуры воздуха;  $\sigma_{T_w}$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_{T_a}$  — среднеквадратические отклонения соответственно температуры воды, уровня озера, температуры воздуха.

Расчеты показали, что взнос температуры воды в многолетнюю динамику КИ оз. Ильмень за 1945—2016 гг. составляет 38%, температуры воздуха 33%, уровня 28%. В многолетних

колебаниях трех показателей, за исключением уровня, выявлен восходящий линейный тренд.

С 1945 по 1958 г. значения КИ оз. Ильмень в основном были отрицательными, а его средняя величина составила  $-1,8$  (рис. 1), поскольку в этот период наблюдался пониженный тепловой фон его вод в безледный период и воздушных масс в холодный сезон. Средняя же высота уровня озера превысила норму на 37 см (таблица 1). Максимум похолодания климата пришелся на 1945—1952 гг.

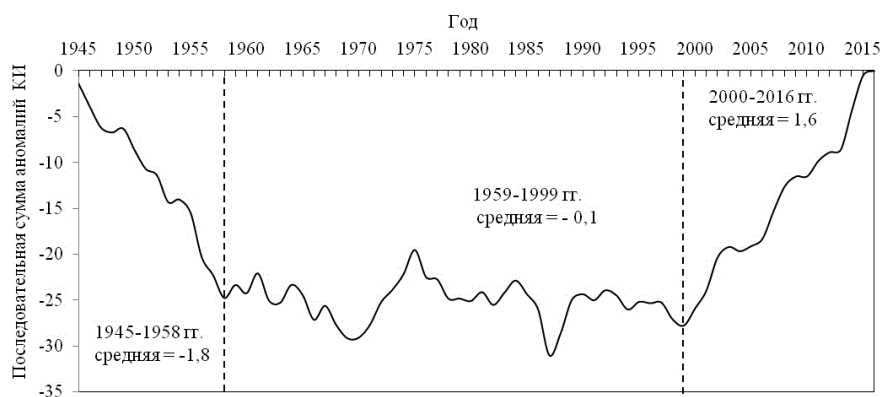


Рис. 1. Изменение последовательной суммы аномалий КИ оз. Ильмень в 1945—2016 гг. и их средние значения для 3-х периодов с различным климатическим фоном

Таблица 1. Средние значения аномалий температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ), высоты уровня (см), температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) и КИ оз. Ильмень в различные климатические фазы

Параметр	Периоды, годы		
	1945—1958	1959—1999	2000—2016
температура воды	$-0,7$	$-0,2$	$1,0$
высота уровня	$37,1$	$8,4$	$-10,3$
температура воздуха	$-1,2$	$-0,2$	$1,4$
климатический индекс	$-1,8$	$-0,1$	$1,6$

В 1959—1999 гг. при частой смене непродолжительных повышенного и пониженного относительно нормы теплового фона воздушных и водных масс оз. Ильмень их средние значения для этого 41-летнего периода оказались несколько ниже среднееголетнего уровня, тогда как его уровень превысил норму. Поэтому климат этого временного диапазона при среднем значении КИ близким к нулю ( $-0,1$ ) и отсутствию в его динамике статистически значимого локального линейного тренда характеризуется как умеренный.

С 2000 г. началось потепление климата оз. Ильмень, которое фиксируется уже в течение 17 лет. Средняя величина КИ для этого периода является положительной и составила 1,6 единиц (см. рис. 1). Наличие же линейного положительного тренда в динамике индекса в течение 1945—2016 гг. является следствием того, что в первые 25 лет наблюдалось похолодание, а в последние 17 лет — потепление гидроклимата.

Степень потепления и похолодания продолжительных климатических фаз оз. Ильмень, которые выделены с помощью КИ, можно оценить по пятибалльной шкале. Ее диапазоны были установлены как доли стандартного отклонения индекса согласно закону гауссова распределения случайной величины. При средних значениях КИ меньше  $-1,0$  следует считать, что в эту климатическую фазу происходило значительное похолодание (балл 1), а больше  $1,0$  — значительное потепление (балл 5). Если индекс попадает в отрицательный ( $-0,5$  —  $-0,9$ ) или положительный ( $0,5$  —  $0,9$ ) интервалы, похолодание и потепление было умеренным (баллы 2 и 4 соответственно). В случае, когда КИ имел значения больше  $-0,5$ , но меньше  $0,5$ , межгодовая изменчивость рассматриваемых климатических переменных в этот временной диапазон была незначительной относительно их среднееголетних величин (балл 3).

Согласно этой шкале похолодание климата оз. Ильмень 1945—1958 гг. было значительным (балловая оценка 1). В период с 1959 по 1999 г он был в целом устойчивым на среднем уровне (балл 3). Современное потепление гидроклимата, начавшееся на границе 20 и 21 столетий и которое продолжается в настоящее время, является значительным (балл 5), поскольку среднее положительное значение КИ этого периода превышает верхнюю границу четвертой градации на 60%.

Анализ частотной структуры колебаний средней за май-октябрь температуры воды и уровня оз. Ильмень в мае—октябре, а также температуры воздуха в январе—апреле с исключенными из исходных данных значений линейных трендов, где они присутствовали, показал наличие лишь небольших различий со спектральным составом КИ. В его многолетней изменчивости присутствует 50–60-летний цикл, который также был выявлен в динамике гидрометеорологических параметров (таблица 2). Расчеты параметров вейвлет—спектра КИ показали устойчивость этой квазипериодичности в течение 1945—2016 гг. Ритмические же составляющие меньшей длительности были нестабильны во времени.

Таблица 2. Частотная структура колебаний средней за май-октябрь температуры воды и уровня, температуры воздуха в январе-апреле и КИ оз. Ильмень по данным за 1945—2016 гг.

Показатель	Периоды энергонесущих частот, годы				
	50—60	20—22	9—10	5—6	2—3
температура воды	50—60	20—22	9—10	5—6	2—3
уровень	55	23	11	7	3—4
температура воздуха	60	13—14	8—9	5	2—3
климатический индекс	50—60	16—18	9—10	5—6	2—4

Спектральная структура колебаний КИ оз. Ильмень в целом очень близка с таковой в динамике климатических индексов, рассчитанных ранее для Баренцева, Белого и Балтийского морей по данным за более чем 100—летний период [2,4]. Это указывает на то, что климат этих морей как и исследуемого озера вероятно оказывают воздействие такие крупномасштабные процессы как западный перенос воздушных масс из Северной Атлантики, а также адвекция теплых вод системы Гольфстрима в Северо—Европейский бассейн.

Возможную динамику климата на среднесрочную перспективу целесообразнее всего оценивать с помощью анализа его долгопериодных составляющих, которые являются наиболее устойчивыми во времени и вносят значительный вклад в колебания исходных данных. В спектральном составе КИ оз. Ильмень таковыми являются линейный тренд и 50—60—летний ритм. Циклические же компоненты меньшей длительности не определяют его долговременную изменчивость. Для оценки возможного состояния гидрологического климата оз. Ильмень до 2020 гг. была выполнена экстраполяция линейного тренда и 50—60—летней квазипериодичности. Их общая изменчивость в 1945—2016 гг. и экспертная оценка значений для 2017—2020 гг. представлена на рисунке 2.

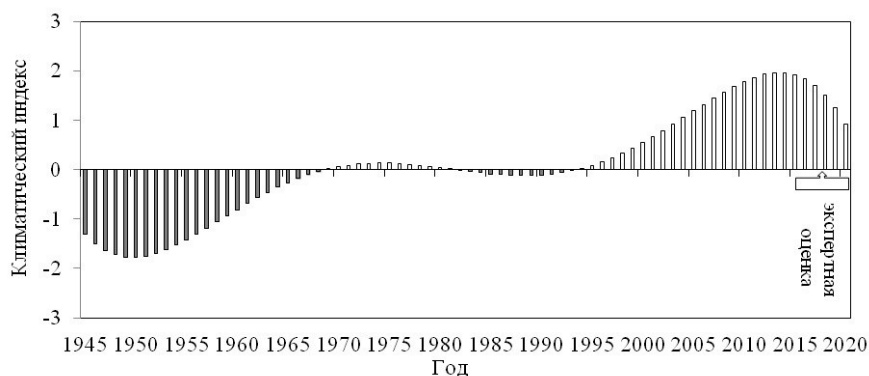


Рис. 2. Изменения значений суммы тренда и 50—60—летнего цикла КИ оз. Ильмень в 1945—2016 гг. и экспертная оценка его значений для 2017—2020 гг.



После максимума КИ в 2013—2014 гг., может произойти уменьшение его значений до конца текущей декады, однако они будут превышать норму. Для того, чтобы уменьшить вероятность получения ошибок прогнозирования при получении новых данных наблюдений за температурой воздуха и воды, а также уровня оз. Ильмень, следует провести расчеты индекса и вновь выполнить его экстраполяцию на несколько шагов вперед.

В структуре изменчивости ежегодного вылова рыбы в оз. Ильмень с 1946 по 2016 г., как и в динамике КИ водоема присутствует линейный тренд и циклическая составляющая 50—60 лет. Сопоставление значений суммы тенденции и долгопериодной квазипериодичности этих двух параметров показало, что между ними существует высокая сопряженность только в пределах 1946—1989 гг. (рис. 3). Наибольший коэффициент корреляции наблюдается при сдвиге на 4 года ( $r = 0,93$ ), когда вылов запаздывает относительно индекса. Вероятно, изменения абиотических условий в этот период могли влиять на урожайность поколений популяций рыб озера, тем самым и на динамику их численности после вступления пополнения в промысловый запас. Как отмечается в некоторых работах (Никольский, 2013 и др.), данные вылова в долгопериодном плане могут служить косвенным индикатором колебаний запасов стад рыб.

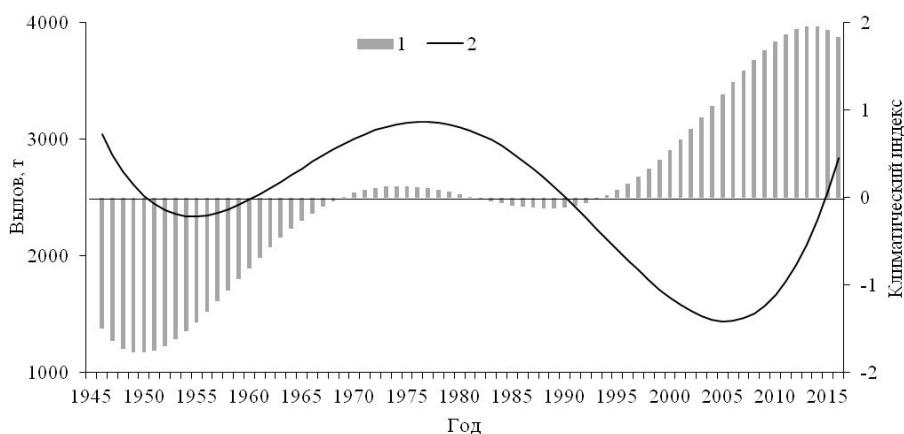


Рис. 3. Динамика значений суммы тренда и 50 – 60-летнего цикла КИ (1) и общего вылова рыбы (2) в оз. Ильмень в 1946 – 2016 гг.

После 1989 г. связь между долгопериодными изменениями абиотических условий и вылова рыбы в оз. Ильмень нарушилась, при этом факторы среды для функционирования экосистемы в целом были благоприятными. Снижение уловов в 90—е годы прошлого и в начале текущего столетий вероятно связано с ослаблением государственной поддержки рыболовства в стране [3], раздроблением и приватизацией добывающих рыбу предприятий Новгородской области [1] и с некоторыми другими факторами. После почти 20-летнего периода низких уловов рыбы в оз. Ильмень, с 2009 г. на фоне продолжающегося уже несколько лет потепления климата в регионе ее вылов стал постепенно увеличиваться и за 8 лет (до 2016 г.) в среднем составил 2343 т. Однако это более чем на 1000 т меньше, чем в такой же по продолжительности период 1982—1989 гг.

### Литература

1. Асанов А.Ю. 50 лет Новгородской лаборатории ГосНИОРХ/Новгородская лаборатория ГосНИОРХ (к 50-летию со дня основания). – Санкт-Петербург, 1999. – С. 10-17.
2. Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006. - 292 с.
3. Макоедов А.Н., Кожемяко О.Н. Основы рыбохозяйственной политики России. М.: ФГУП «Национальные рыбные ресурсы» - 2007. - 480 с.
4. Хаймина О.В., Бойцов В.Д., Карпова И.П. Вековые колебания климата морей Северо-Запада России/Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета/Научно-теорет. журн. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. - №. 24 – С. 62-74.

## МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ: ТЕНДЕНЦИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

М.В.Болгов<sup>1</sup>, д-р техн.наук, Е.А.Коробкина<sup>1</sup>, канд.техн.наук, И.А.Филиппова<sup>1</sup>, канд.геогр.наук  
<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

## THE MINIMAL RUNOFF ON EUROPEAN PART OF RUSSIA: TRENDS AND METHODS OF VALUE UNDER OF CHANGING CLIMATE

M.V.Bolgov<sup>1</sup>, Dr.Sc, E.A.Korobkina<sup>1</sup>, Cand.Sc., I.A.Filippova<sup>1</sup>, Cand.Sc.  
<sup>1</sup>Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russia

*Разработана методика прогноза минимального стока в бассейнах рр.Волга и Дон при смене фазы водности, учитывающая изменение двух параметров многолетних колебаний стока - нормы и изменчивости.*

*A methodology for forecasting of minimal runoff in the Volga and Don basins under changing of water regime is developed. The forecast takes into account the change of two parameters of time runoff fluctuations – mean and variability.*

### **Введение.**

Глобальное потепление, проявляющееся на территории России преимущественно в росте зимних температур [1], привело к перераспределению внутригодового стока практически на всей ее европейской части [2]. Для большинства рек Европейской части России с преимущественно снежным типом питания отмечаются статистически значимые тренды увеличения стока зимней и осенне-летней межени [3].

Результаты мониторинговых наблюдений за стоком рек показывают, что гипотеза стационарности неприемлема для ряда гидрологических параметров. Это отчетливо демонстрируется на примере минимального стока зимней и летней межени, а также стока весеннего половодья рек бассейнов Волги и Дона [3,4]. Характер нарушения стационарности во многих случаях таков, что имеющийся временной ряд можно рассматривать как состоящий из двух стационарных участков (состояний), скачкообразно сменяющих друг друга. Надо отметить, что в пределах рассматриваемых бассейнов может наблюдаться разброс даты смены состояния в интервале нескольких лет.

В ряде работ авторами была сформулирована гипотеза, согласно которой неоднородный гидрологический ряд может рассматриваться как смена стационарных состояний (периодов), в пределах которых сохраняются свойства стационарного процесса такие, как например, марковость [5,6]. Задача прогнозирования стока в таком случае усложняется, поскольку необходимо располагать не только параметрами распределений стационарных участков, но и матрицей вероятностей перехода из одного состояния в другое. В противном случае придется предположить более простую гипотезу механизма смены состояний. Так, например, в [7] предложено рассматривать сток как полумарковский процесс, в котором математическое ожидание стока в последующем периоде не зависит от предыдущего и подчиняется нормальному закону распределения.

В практике гидрологии имеющиеся ряды наблюдений не позволяют сильно усложнять вероятностные гипотезы по причине ограниченности наблюдений и недостоверности выборочных оценок параметров. Тем более, что, располагая двумя случаями смены состояний, оценить матрицу вероятностей перехода из одного состояния в другое нельзя.

Выход из ситуации заключается в упрощении задачи и получении прогноза в виде одномерного распределения стока, применяя для расчета формулу полной вероятности. При этом характеристикам стока за имеющиеся стационарные периоды придаются различные веса, пропорциональные продолжительностям периодов наблюдений, для которых выполняются оценки параметров.

В ряде работ [5,6,7] была представлена схема прогноза минимального стока на основе формулы Байеса, которая учитывала изменение одного параметра распределения – нормы стока. Данное исследование продолжает доработку схемы прогноза путем введения второго изменяющегося во времени параметра распределения – дисперсии (коэффициента вариации).

**Постановка задачи.**

Применяемое далее выражение для байесовского прогноза представим в следующем виде:

$$\pi(x/y) = \int_{\theta} \rho(x, \theta) \varphi(\theta/y) d\theta, \quad (1)$$

где  $\rho(x, \theta)$  – рассматриваемая вероятностная модель в виде закона распределения вероятностей  $\rho(x, \theta)$ . В выражение (1) входит априорная плотность параметров модели  $\varphi$ , получаемая по данным наблюдений  $y$ . В данной постановке априорная плотность модели представлена в виде двумерного распределения вероятностей выборочных оценок среднее ( $\bar{x}$ ) и коэффициент вариации ( $Cv$ ).

Искомое двумерное распределение получаем путем перехода от равномерной корреляции с постоянными маргинальными плотностями к корреляции с заданными маргинальными плотностями [8].

Пусть  $f(u, v)$  – плотность совместного распределения случайных зависимых величин  $\xi, \eta$ , имеющих маргинальные равномерные распределения в отрезке  $[0, 1]$ .

Рассмотрим случайные величины  $\xi$  и  $\eta$ , задаваемые равенствами

$$\xi_1 = \int_0^{\xi} p(x) dx = F(\xi), \quad \eta_1 = \int_0^{\eta} p(y) dy = F(\eta), \quad (2)$$

где  $p(x) > 0$  – заданная плотность распределения в отрезке  $[a, b]$ .

Нашей задачей являются построение и изучение корреляционной зависимости между  $\xi$  и  $\eta$ .

Опуская промежуточные выкладки, получим плотность совместного распределения  $\xi$  и  $\eta$  в отрезке  $[a, b]$ :

$$f_1(x, y) = p(x)p(y) \left( 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \lambda^k P_k[F(x)] P_k[F(y)] \right) = p(x)p(y)f(u, v), \quad (3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент корреляции между  $F(\xi)$  и  $F(\eta)$ , а

$$P_1(u) = \sqrt{3}(2u-1), \quad P_2(u) = \frac{\sqrt{5}}{2} [3(2u-1)^2 - 1], \dots, \quad (4)$$

есть полиномы Лежандра.

Если в формуле (3) ограничиться первыми тремя членами разложения, то  $f(u, v)$  для  $|\lambda| \leq 0,55$  принимает вид [9]

$$f(u, v) = 1 + 3\lambda(2u-1)(2v-1) + 5\lambda^2 [6u^2 - 6u + 1][6v^2 - 6v + 1], \quad (5)$$

где  $\lambda$  – есть коэффициент корреляции между  $u$  и  $v$ .

Формула (3) используется для описания совместного распределения  $\bar{x}$  и  $Cv$  для каждого стационарного периода.

**Результаты.**

Анализ минимального 30-тидневного стока за зимнюю и летне-осеннюю межень, проведенный для более чем 120 рядов в бассейне р.Волги и 60 рядов в Бассейне р.Дон, позволил обобщить наблюдаемые тенденции и использовать их для прогнозирования стока. Ряды минимального стока в изученных бассейнах не могут рассматриваться как реализация случайного процесса, поскольку параметры распределения для выделенных стационарных участков сильно различаются (от 1,5 до 2 и более раз). Поэтому для прогноза минимального стока этих бассейнов применялась описанная выше схема.

Для расчетов по формуле полной вероятности (1) априорная плотность распределения параметров  $\bar{x}$  и  $Cv$  для каждого периода представим в виде

$$\varphi(\bar{x}, Cv) = \frac{n_1}{n_1 + n_2} f_1(\bar{x}_1, Cv_1) + \frac{n_2}{n_1 + n_2} f_1(\bar{x}_2, Cv_2), \quad (6)$$

где  $f_1$  задается по формуле (3), в которой в качестве одномерного распределения  $p(x)$  и  $p(y)$  используются распределения выборочных оценок среднего ( $\bar{x}$ ) и  $Cv$ , аппроксимируемые

нормальным распределением. Коэффициент корреляции  $\lambda$  задан равным 0,5 (по имеющимся данным наблюдений).

Результаты расчетов двумерного распределения  $f_1(\bar{x}, C_V)$  представлены на рис. 1 в виде трехмерного графика.

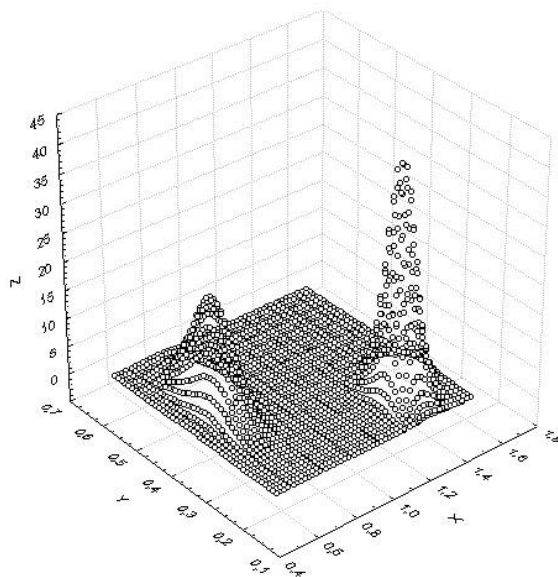


Рис. 1. Априорная плотность совместного распределения выборочных оценок среднего и  $C_V$  для двух периодов наблюдений за 30ти-дневным минимальным зимним стоком (р.Бузулук, д. Перевозниково)

На рис. 2 представлено решение уравнения (1) при использовании формулы (3) в качестве совместного распределения параметров.

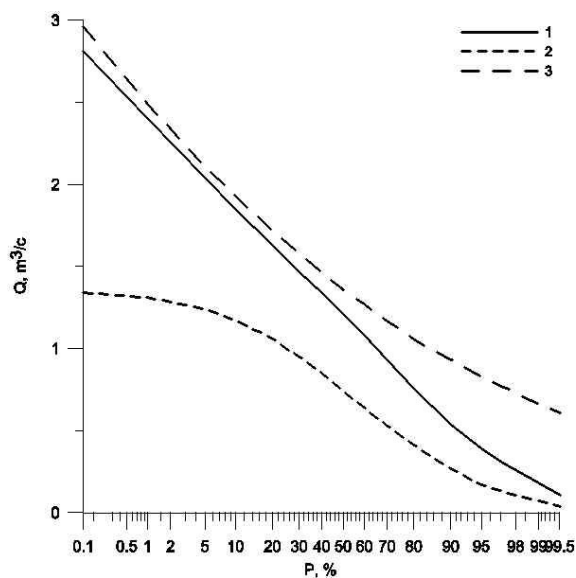


Рис. 2. Кривые обеспеченности 30ти-дневного минимального стока р.Бузулук – д. Перевозниково за зимнюю межень (1-прогноз, 2 –за период наблюдений до 1978 г., 3- за период наблюдений после 1978 г.)

## Литература

1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014, 1008 с.
2. Водные ресурсы России и их использование. С.-Петербург: Изд-во ГГИ, 2008. 587 с.
3. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне р. Волги// Водное хозяйство России, 2014. №3.С.83-99.
4. Филиппова И. А. Минимальный сток рек Европейской части России и его оценка в условиях изменения климата// Автореф. дисс... канд. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 2014. 27 с.
5. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А. Байесовский прогноз минимального стока в нестационарных условиях с учетом возможных изменений климата //Метеорология и гидрология, 2016. №7. С. 72-81.
6. Bolgov M, Korobkina E, Filippova I. Bayesian Decision for Low Flow Evaluation in Non-Stationary Conditions//The Grand Challenges Facing Hydrology in the 21st Century. Dooge Nash International Symposium 2014, Dublin, Ireland. P.65-74.
7. Болгов М.В., Коробкина Е.А., М.Д. Трубецкова, И.А.Филиппова «Речной сток и вероятностный прогноз уровня Каспийского моря»//Метеорология и гидрология, 2018. № 10.С.
8. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. Л.:Гидрометеоиздат,1976. 254 с.
9. Сарманов И.О. Построение корреляции между равномерно распределенными случайными величинами//Труды ГГИ, 1968. Вып.160. С.81-89.

## ИЗОТОПНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА БАССЕЙНА РЕКИ НЕГЛИНКА (КАРЕЛИЯ)

Г.С. Бородулина<sup>1</sup>, канд. г.-м.наук, И.В. Токарев<sup>2</sup>, канд. г.-м.наук, М.А. Левичев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

## ISOTOPIC ESTIMATION OF THE WATER BALANCE COMPOSITION ON THE NEGLINKA RIVER BASIN (KARELIA)

G.S.Borodulina<sup>1</sup>, Cand.Sc., I.V.Tokarev<sup>2</sup>, Cand.Sc., M.A.Levichev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Research park of St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Структура водного баланса р. Неглинка изучена с помощью данных об изотопном составе атмосферных осадков, речной воды, подземных вод на водосборе. Зафиксированы характерные изменения изотопного состава воды в реке в отдельные фазы гидрологического режима.*

*The structure of the water balance of the river Neglinka was studied using data on the isotope composition of atmospheric precipitation, river water, groundwater in the catchment area. Specific changes in the isotope composition of river water are obtained in separate phases of the hydrological regime.*

Малые реки составляют не менее 95–99 % от общей длины всех рек Мира. Функционирование малых водосборов, в частности верхних звеньев речной сети, изучено чрезвычайно слабо при том, что они наиболее чувствительны к межгодовым погодным и долговременным климатическим изменениям. В Карелии из 26,7 тысяч рек только 30 имеют длину более 100 км [1]. Реки региона являются основными путями поступления веществ, формирующих качество воды озер, в том числе биогенных, определяющих степень евтрофирования водоемов [2]. Использование стабильных изотопов воды (дейтерия  $\delta^2\text{H}$  – и кислорода-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ), позволяет оценить условия формирования речного стока, включая характеристику основных элементов водного баланса: прямого поверхностного стока, поступления снеговых талых и подземных вод, а также испарения. В 2012–2017 г. структура водного баланса р. Неглинка (г. Петрозаводск) изучена на основе данных о химическом и изотопном составе речной воды, а также по наблюдениям за атмосферными осадками и подземными вод на водосборе.

### **Методы и объекты.**

Река Неглинка является второй по величине рекой г. Петрозаводска, она берет начало в заболоченном массиве и впадает в Петрозаводскую губу Онежского озера в непосредственной близости от городского водозабора. Длина реки 14 км, средний уклон русла 10,3 ‰, площадь водосбора 46,1 км<sup>2</sup> [3].

В 2012–2017 г. пробы речной воды отбирались в устье реки 3–4 раза в месяц, а в период весеннего паводка – ежедневно. С июня 2016 г. ежемесячно опробуется вода в верховье реки. Мониторинг изотопного состава атмосферных осадков (в г. Петрозаводск, 2009–2017 г.) позволил охарактеризовать основной источник водного питания. Осадки опробовались на базе еженедельного осреднения, а массивные атмосферные выпадения – отдельно. Химический состав воды исследовался в лаборатории ИВПС КарНЦ РАН [4]. Измерения содержания дейтерия и кислорода-18 выполнялись на лазерном инфракрасном спектрометре Picarro L 2120-i в Научном парке Санкт-Петербургского государственного университета (РЦ «Геомодель» и РЦ РДМИ) с использованием стандартов V-SMOW-2, GISP, SLAP с погрешностью  $\pm 0,1$  ‰ по  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\pm 1$  ‰ по  $\delta^2\text{H}$ . Данные о расходах реки получены на сайте <https://gmvo.skniivh.ru>.

Средний многолетний расход реки — 0,5 м<sup>3</sup>/с, в период наблюдений он изменялся от 0,03 до 15,9 м<sup>3</sup>/с. Больше половины годового стока проходит весной, максимальный расход наблюдается в конце апреля–начале мая. Наименьшая водность отмечается в марте. Летне–осенний сток превышает зимний почти в четыре раза, и его доля составляет в среднем 34 % от годового (в августе 2016 г. сток составил около 40 %).

Объем стока р. Неглинка невелик по сравнению с основными притоками Онежского озера, но по химическому составу резко выделяется среди рек региона. В межень минерализация достигает 0,4 г/л при  $pH \approx 8,5$  и составе  $\frac{HCO_3 55Cl 27SO_4 16NO_3 2}{Ca 42Na 28Mg 26K 2NH_4 1Fe 1}$ . Только в весеннее

половодье и периоды дождевых паводков минерализация воды оказывается менее 0,1 г/л, при  $pH \leq 7$ . Особенности состава воды связаны с тем, что долина реки приурочена к области наибольшего местного прогиба палеорельефа кристаллического фундамента. К депрессии приурочен напорный нижнекотлинский ( $V_2 kt_1$ ) водоносный горизонт, пьезометрический уровень которого на побережье озера устанавливается выше поверхности земли. Составы подземной воды и речной в межень практически не отличаются.

#### Результаты и обсуждение.

Изотопный состав атмосферных осадков является функцией температуры воздуха и отражает, как сезонные вариации, так и долговременные климатические тренды [5, 6]. Результаты наблюдения за изотопным составом атмосферных осадков в г. Петрозаводске (318 измерений) и воды в р. Неглинке (409 измерений) в 2012–2017 г. представлены на рисунках 1, 2. Сезонные вариации  $\delta^2H$  и  $\delta^{18}O$  в осадках носят однотипный квазисинусоидальный характер (рис. 2). Уравнение, аппроксимирующее изотопный состав атмосферных осадков (локальная линия метеорных вод), имеет вид  $\delta^2H = 7,65 \times \delta^{18}O + 5,45$ .

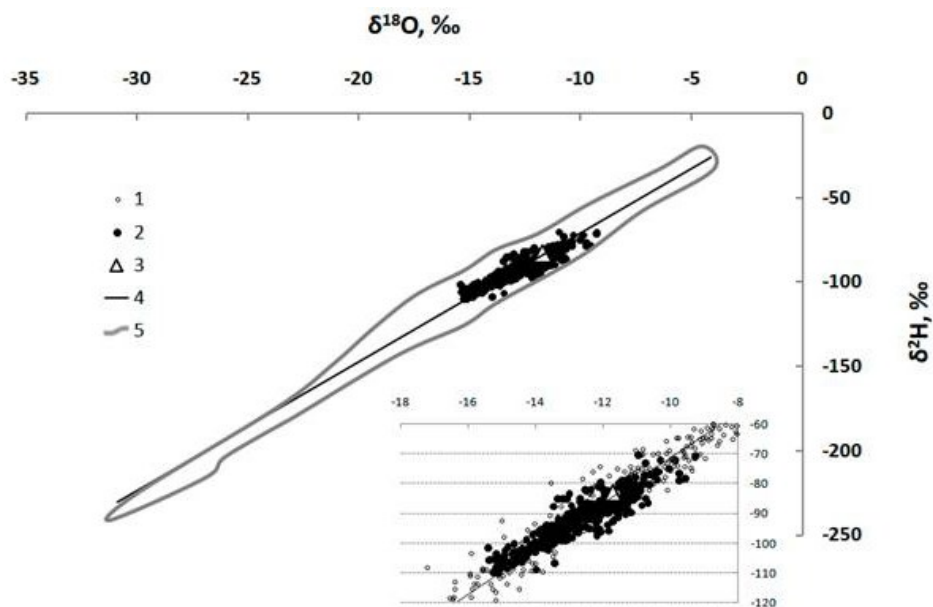


Рис. 1. Изотопный состав атмосферных осадков и воды р. Неглинка в 2012–2017 г.

1 – осадки, 2 – речная вода, 3 – средневзвешенный состав атмосферных осадков, 4 – локальная линия метеорных вод, 5 – область составов атмосферных осадков.

Наиболее изотопно тяжелые осадки выпадают летом и в начале осени (максимум  $\delta^{18}O = -4,1$  ‰ и  $\delta^2H = -32$  ‰). Зимние осадки по изотопному составу наиболее легкие (минимум  $\delta^{18}O = -30,9$  ‰ и  $\delta^2H = -239$  ‰). Изотопный состав снегового покрова (полная снежная колонка) на водосборе реки  $\delta^{18}O = -19,5$  ‰ и  $\delta^2H = -146$  ‰. Среднегодовой взвешенный состав атмосферных осадков  $\delta^{18}O \approx -11,7$  и  $\delta^2H \approx -83$  ‰ рассчитан с учетом распределения объема и состава выпадений во времени.

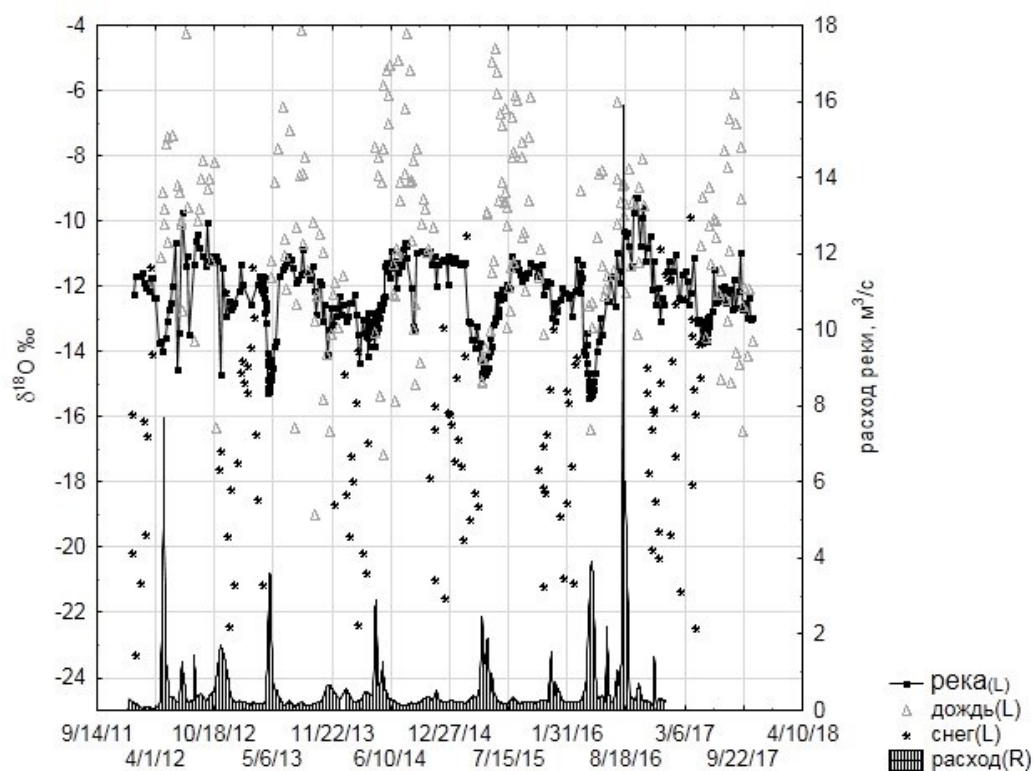


Рис. 2. Хронологический график расходов воды в р. Неглинка (правая ось) и содержания кислорода-18 в речной воде и атмосферных осадках (левая ось).

В отличие от широкого диапазона значений  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в атмосферных выпадениях, годовая амплитуда их колебаний в речной воде (устье) значительно меньше:  $\delta^{18}\text{O} = -9..-16\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -70..-110\text{‰}$  (рис. 1, 2). На графике (рис. 2) отмечается группировка точек в областях, характеризующих отдельные фазы речного стока. В весеннее половодье в стоке преобладают талые снеговые воды, в результате чего изотопный состав в реке принимает наиболее легкие значения (таблица 1).

Таблица 1. Средние характеристики изотопного состава атмосферных осадков, речной и подземной воды, снегового покрова 2015-2016 гг.

Объект	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta^2\text{H}\text{‰}$
Река, среднемноголетнее	-12,6	-91
Река, зима	-12,2	-89
Река, половодье	-13,8	-100
Река, лето-осень	-11,6	-85
Атмосферные осадки, среднемноголетнее	-11,7	-83
Атмосферные осадки, дождь	-10,6	-74
Атмосферные осадки, снег	-17,6	-128
Снеговой покров	-19,5	-146
Подземные воды, $V_2 kt_1$	-13,4	-96

Летом имеют место наиболее тяжелые составы, что связано с увеличением доли относительно тяжелых атмосферных осадков теплого периода года. Речная вода в летне-осенний период в среднем наиболее близка к среднегодовому составу атмосферных осадков, но остается более изотопически легкой, чем осадки этого периода (таблица 1). В зимний период при преобладании подземного питания вода в реке значительно легче летне-осеннего состава. Вода



в верховье реки по сравнению с устьем более испарена летом и более истощена изотопами в половодье.

Погодные аномалии могут временно изменить изотопный состав воды в реке. Так, например, кратковременное потепление и ливень осенью 2012 г. растопил уже сформированный снежный покров и образовал паводок с легким изотопным составом воды ( $\delta^{18}\text{O} = -14,7 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -107 \text{ ‰}$ ), а аномальные дожди августа 2016 г. приблизили изотопный состав воды в реке к составу атмосферных выпадений (рис. 2).

#### **Выводы.**

Годовая амплитуда колебаний изотопного состава воды в р. Неглинка равна  $\delta^{18}\text{O} = -9..-16 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -70..-110 \text{ ‰}$  и оказывается значительно меньше диапазона изотопных значений в атмосферных осадках  $\delta^{18}\text{O} = -4..-31 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -32..-239 \text{ ‰}$ . Обнаруживаются синхронные изменения изотопного состава атмосферных осадков и речной воды в отдельные периоды гидрологического режима (весеннее половодье и дождевые паводки). Амплитуда соответствующих колебаний в речной воде существенно меньше, чем в осадках. Это указывает на значительное осреднение осадков на водосборе, а также на влияние подземной компоненты баланса, что согласуется с данными гидрохимии. Полученные материалы послужат основой для математического моделирования водного баланса р. Неглинка.

#### **Литература**

1. Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н. Н. Филатова. - Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2001. – 286.
2. Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В., Кондратьев С.А., Литвиненко А.В., Литвинова И.А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // «Труды Карельского научного центра» серия «Лимнология». 2016. №5. С. 35-52.
3. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике /Под ред. П.А.Лозовика, Н.А.Ефременко. – СПб: Нестор-История, 2017. – 272 с.
4. Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие /Ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2013. 109 с.
5. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. Tellus, 1964, v. 16, No 4, p. 436-463.
6. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. М., Научный мир, 2009. 632 с.

## КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ И МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКЕ ЦНЕ У Г. ТАМБОВА

М.Е. Буковский<sup>1</sup>, С.Н. Дудник<sup>2</sup>, А.В. Семенова<sup>1</sup>, И.В. Бессонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

<sup>2</sup>Тамбовский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Тамбов, Россия

## SHORT-TERM FORECAST OF FLOODING AND ITS MAXIMUS LEVEL ON THE TSNA RIVER NEAR TAMBOV

M.E. Bukovskiy<sup>1</sup>, S.N. Dudnik<sup>2</sup>, A.V. Semenova<sup>1</sup>, I.V. Bessonova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

<sup>2</sup>Tambov Center for Hydrometeorology and Monitoring of Environment, Tambov, Russia

*В статье проанализированы показатели максимальных уровней воды в половодье и даты их наступления на реке Цне (бассейн Оки) по гидропостам «Тамбов» и «Кузьмино-Гать» за 47-ти летний период. Показатели соотнесены между собой и с данными о переходе средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения.*

*In this article the indicators of maximus water levers during the flood and the dates of their occurrences on the Tsna river (Oka basin) at the hydroposts «Tambov» and «Kuzmino-Gat» for 47-year period were analyzed. The indicators were correlated with each other and with data on the transition of the average daily air temperature through 0°C upwards.*

На протяжении многих веков человечество, предпринимающее неимоверные усилия для защиты от наводнений, никак не может преуспеть в этом направлении [1]. Наводнение – это одно из наиболее опасных явлений, вызывающих чрезвычайные ситуации и причиняющих материальный ущерб промышленным и сельскохозяйственным объектам, населению, наносящих урон здоровью людей и приводящих к их гибели [2].

Вид и причины возникновения наводнений, величина максимального подъема уровня воды определяются сочетанием ряда факторов – рельефом речного бассейна, состоянием погоды, количеством атмосферных осадков, запасами влаги в снежном покрове, почве и воды в реках, озерах [3].

В области эффективного обеспечения готовности и оперативного принятия превентивных мер одним из наиболее действенных средств для снижения ущерба является хорошо функционирующая система предупреждения [4].

В настоящей работе предпринята попытка установления и описания зависимости дат наступления максимальных уровней половодья на гидропостах «Тамбов» и «Кузьмино-Гать» от даты перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения, а также зависимости даты наступления и значения максимального уровня половодья по гидропосту «Тамбов» от даты наступления и значения максимального уровня воды в половодье по гидропосту «Кузьмина Гать».

Для проведения анализа были использованы данные Тамбовского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Данные по уровням воды были взяты по гидропостам «Кузьмино-Гать» и «Тамбов», данные по переходу средней суточной температуры воздуха через 0°C – по метеостанции «Тамбов».

Полученные данные были нами оцифрованы и проанализированы. Результаты анализа представлены на рисунках 1-4.

На рисунке 1 представлена динамика дат перехода температуры воздуха через 0°C по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг. В целом график достаточно скачкообразен. Общая тенденция показывает, что температура переходит отметку 0°C в промежутке с 16 марта по 5 апреля. Однако наблюдаются и аномалии. Самый ранний переход за рассматриваемый период был зафиксирован дважды - 23 февраля в 2008 и 2016 годах. А самая поздняя дата перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C за анализируемый период зафиксирована 8 апреля 1998 года.

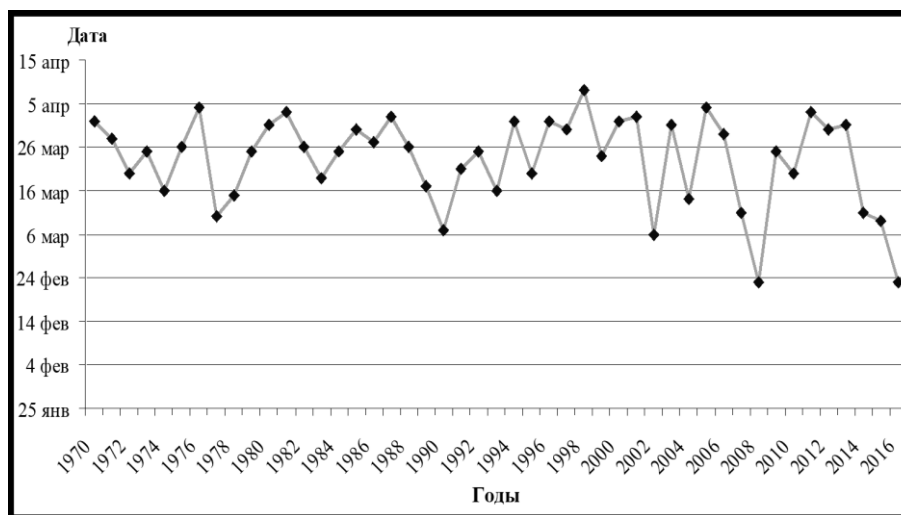


Рис. 1. Даты перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

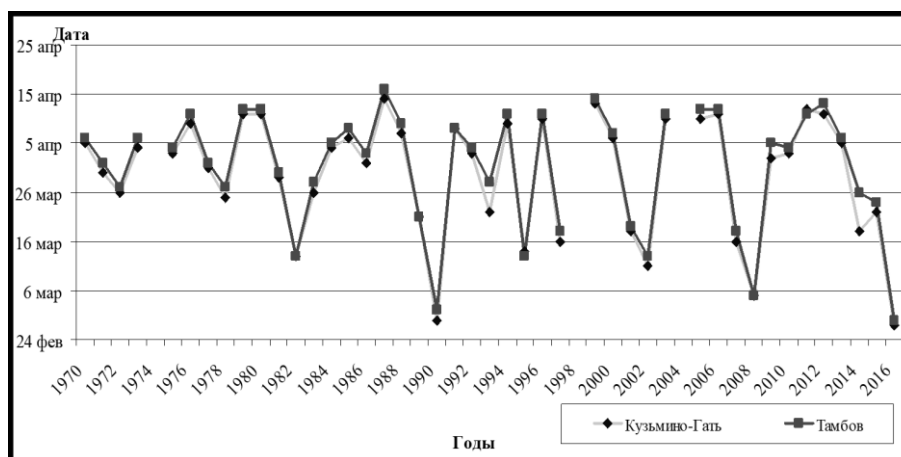


Рис. 2. Даты максимального уровня воды на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» за 1970-2016 гг.

При анализе рисунка 2 можно увидеть, что с 1970 по 1988 гг. максимальные уровни воды, как правило, приходятся на даты в промежутке между 26 марта и 15 апреля. А с 1990 и до конца изучаемого периода амплитуда колебаний дат возрастает и может достигать месяца. 27 февраля 2016 года в Кузьмино-Гати была зафиксирована самая ранняя дата наступления максимального уровня воды за изучаемый период. В этом же году, но на день позже – 28 февраля – была отмечена самая ранняя дата для Тамбова. 14 и 16 апреля 1987 года были зафиксированы наиболее поздние пики половодья за изученный период для Кузьмино-Гати и Тамбова соответственно. В целом, графики достаточно скачкообразны и практически накладываются друг на друга.

Наименьшее кол-во дней между переходом температуры через 0°C и датой максимального уровня на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» зафиксировано в 1971 году. Оно равнялось 2 и 4 дням соответственно. Также на гидропосту «Тамбов» этот показатель повторялся еще дважды - в 1981 и 1989 годах. В 1977 году была отмечена максимальная разница между датами по обоим гидропостам – 21 (Кузьмино-Гать) и 22 (Тамбов) дня.

Для более наглядного анализа максимальных уровней половодья они были переведены в Балтийскую систему высот, т.к. на разных гидропостах установлен свой ноль поста. Очевидно, что в Балтийской системе высот уровни на гидропосту «Кузьмино-Гать» будут всегда выше, т.к. он находится выше по течению, чем гидропост «Тамбов». При оценке динамики максимальных

за год уровней воды на гидропостах «Кузьмина Гать» и «Тамбов» отмечены волнообразные колебания (рис. 3).

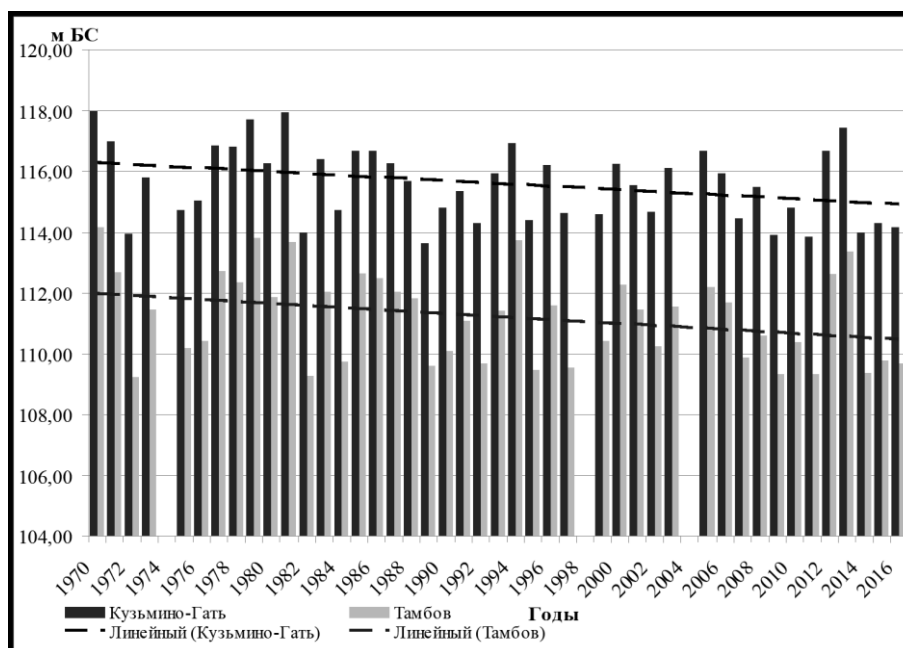


Рис. 3. Максимальные за год уровни воды на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» за 1970-2016 гг.

В 1970 году на обоих гидропостах были зафиксированы наибольшие из максимальных уровней за изучаемый период: Кузьмино-Гать - 117,99 м БС; Тамбов - 114,14 м БС. С начала до середины 70-х гг. уровень постепенно уменьшался, за исключением 1972 года, когда уровень резко упал. Именно в этот год в Тамбове был отмечен наименьший из максимальных уровней воды равный 109,22 м БС.

Далее с середины 70-х гг. и до конца десятилетия отмечается постепенное увеличение максимального уровня воды. С 1980 по 1985 гг. зафиксированы скачки максимальных уровней. Но уже во второй половине 80-х гг. максимальные уровни половодья постепенно снижаются. В этот период отмечен наименьший из максимальных уровней по гидропосту «Кузьмино-Гать» за изучаемый период, равный 113,64 м БС.

С 1990 года вплоть до середины 2000-х уровень волнообразно изменяется без резких скачков. И до 2011 года максимальный уровень постепенно снижается. В последующие 2 года этот показатель резко возрос. Однако далее максимальный уровень половодья снова снизился. В целом, можно заметить тенденцию к уменьшению максимальных уровней на обоих гидропостах.

На рисунке 4 представлен график превышения максимального уровня половодья на обоих гидропостах над средним меженим уровнем за анализируемый период. Наибольшая разница между максимальными уровнями и меженью для Кузьмино-Гати и Тамбова зафиксирована в 1970 году; и она равняется 4,67 м и 5,34 м соответственно. В 1972 году отмечено наименьшее превышение по Тамбову, которое равняется 0,42 м. Этот же показатель по гидропосту «Кузьмино-Гать» равен 0,32 м, он был замечен в 1989 году.

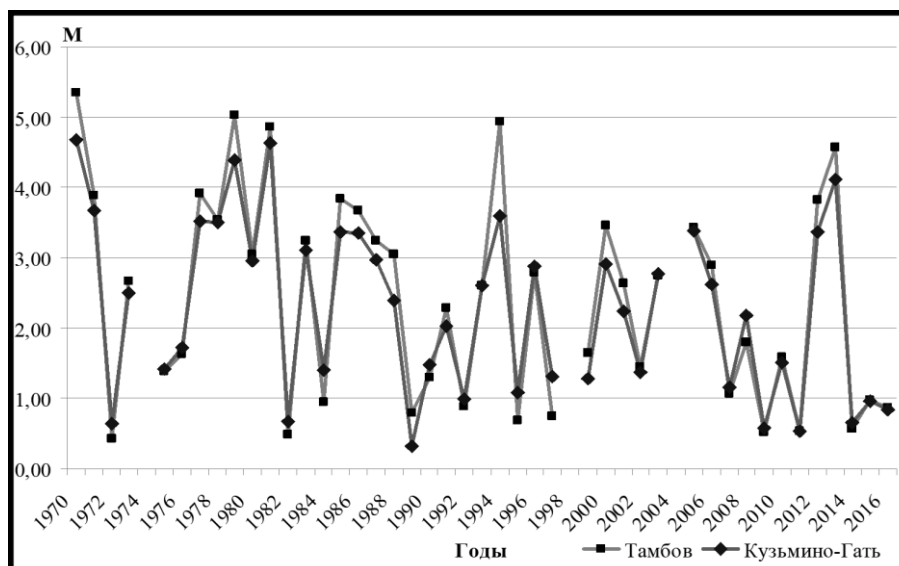


Рис. 4. Превышение максимального уровня половодья на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» над средним межгодовым уровнем за 1970-2016 гг.

Обобщая результаты проделанной работы, можно сделать следующие выводы. Средней датой перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения средней суточной температуры воздуха в окрестностях г. Тамбова является 23 марта  $\pm 10$  дней. При этом максимальный уровень воды на гидропосту «Кузьмино-Гать» в среднем достигается 29 марта  $\pm 12$  дней, а средний из максимальных за год уровней воды составляет  $115,58 \pm 1,23$  м БС. В то время как на гидропосту «Тамбов» средняя дата достижения пика половодья является 31 марта  $\pm 12$  дней при среднем из максимальных уровней равным  $111,20 \pm 1,46$  м БС. В среднем подъем уровня воды во время половодья для Кузьмино-Гати и Тамбова составляет  $2,26 \pm 1,23$  м и  $2,4 \pm 1,46$  м соответственно. Среднее количество дней между датой перехода и датой максимального уровня воды в Кузьмино-Гати составило 9 дней, а в Тамбове – 11.

По результатам анализа полученных данных, можно сделать вывод о том, что пик половодья в Кузьмино-Гати наступает в среднем за два дня до пика половодья в г. Тамбове и имеет отметки в Балтийской системе высот в среднем на 4,4 м выше. За весь период изученный период времени пик половодья в г. Тамбове ни разу не наступал раньше, чем в Кузьмино-Гати. Основываясь на этом выводе можно по характеристикам половодья в Кузьмино-Гати сделать краткосрочный прогноз о параметрах половодья в г. Тамбове.

## Литература

1. Звягинцева А.В. Прогнозирование опасных метеорологических явлений при определении характера и масштабов стихийных бедствий: монография /А.В. Звягинцева, Ю.П. Соколова, И.П. Расторгуев. Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. - 215 с.
2. Голубев А.Б., Земцов В.А. Оценка опасности и рисков наводнений в г. Барнауле (пос. Затон) // Вестник Томского университета. – 2013. – №373 – с. 183-188.
3. Аржаных Ю.П., Долженкова В.В., Звягинцева А.В. Прогнозирование гидрологической обстановки в период половодья на водных объектах Воронежской области с применением географических информационных систем // Гелиогеофизические исследования. – 2014. - №9(9) – с. 89-98.
4. Кумани М.В., Сысенко В.И., Апухтин А.В. Многоуровневая система мониторинга и прогнозирования максимальных расходов и уровней воды весеннего половодья // Учебные записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2012. - №4-2 (24) – с. 213-217.

## СТРУКТУРА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД ВОЛНАМИ

К.Ю. Булгаков<sup>1</sup>, Д.В. Чаликов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## STRUCTURE OF THE ATMOSPHERE BOUNDARY LAYER ABOVE WAVES

K.Yu.Bulgakov<sup>1</sup>, D.V. Chalikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Формулируется одномерная математическая модель пограничного слоя атмосферы над волнами. Описываются эксперименты, проведенные данной моделью. Приводятся результаты экспериментов. Показаны профили скорости ветра и спектральное распределение потока импульса при различных стадиях ветрового волнения.*

*One-dimensional model of atmosphere boundary layer above waves are considered. Set of experiments made by the model are described. Results of experiments are considered. Profiles of wind and spectral distribution of momentum on different stage of wind waves are shown.*

### **Введение.**

Прямое моделирование пограничного слоя над волнами даже для двумерного случая довольно сложно и требует значительных компьютерных ресурсов. Трёхмерных совместных моделей морские волны/пограничный слой к настоящему времени не существует. Такая ситуация в общем неудивительна, так как моделирование пограничного слоя над нестационарной поверхностью даже для двумерного случая, который позволяет использовать конформные координаты, значительно усложняет систему уравнений. Создание трёхмерной совместной модели встречает ещё большие трудности. К настоящему времени можно отметить только работы [1-3], основанные на LES (Large Eddy Simulations) подходе, посвящённые динамике только приводного пограничного слоя над заданной движущейся синусоидальной поверхностью.

Между тем, существует большое количество задач, для которых необходима более или менее детальная одномерная структура пограничного слоя над морем. Поэтому одномерная модель волнового пограничного слоя принимающего во внимание произвольный волновой спектр имеет определенную актуальность. Существующие модели такого рода фактически основывались на линейной теории Майлса [4], в которой волны на самом деле не присутствовали.

С точки зрения авторов статьи, существование поверхности раздела указывает на то, что наиболее оптимальный подход к такой модели должен быть основан на использовании отслеживающей поверхности системы координат. Осреднение уравнений Навье-Стокса в отслеживающей поверхности нестационарной системе координат даёт легко интерпретируемые уравнения, которые являются основой для построения одномерной модели. При осреднении уравнений Навье-Стокса (или Рейнольдса) в фиксированной системе координат ничего кроме турбулентного потока энергии и импульса не получается, т.е. отсутствуют потоки за счёт корреляции давления и напряжений с поверхностью и потоков продуцируемых волновыми компонентами скорости. Прототипы одномерной модели ВПС были предложены в работе [5]. Результаты, полученные с двумерной моделью ВПС, объединённой с моделью волн [6] позволяют сформулировать проблему наиболее отчётливо.

### **Одномерная модель пограничного слоя атмосферы над волнами.**

ВПС определяется, как нижняя часть приводного слоя атмосферы, в которой заметная доля вертикальных потоков импульса и энергии осуществляется пульсациями скорости и давления, создаваемые непосредственно волнами. Уравнения одномерной модели ВПС были получены в [6] путем осреднения двумерных уравнений движения Рейнольдса записанных в конформной системе координат вдоль аналога горизонтальной координаты. В целом вид уравнений и граничных условий для них стандартен, поэтому укажем только отличия от классической одномерной модели ВПС. Уравнение движения имеет следующий вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_w \right), \quad (1)$$

где  $u$  – горизонтальная компонента скорости,  $K$  – коэффициент турбулентности,  $\tau_w$  – волновой поток импульса. Замыкание осуществляется на основе уравнений для кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации. Вид этих уравнений стандартен за исключением того, что к скорости генерации энергии турбулентности, помимо сдвига скорости, добавляется волновой поток импульса  $\tau_w$ , который рассчитывается спектральных составляющих волнового потока импульса:

$$\tau_w(z) = \int_0^M \tau_k \exp(-G(\tilde{\omega}_k)kz) dk, \quad (2)$$

где  $k$  – волновое число,  $M$  – максимальное волновое число.

$$\tau_k = kg\beta_{-k}(\tilde{\Omega}_k)S(k), \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\beta_{-k}$  – бета-функция для развития волн под действием ветра из линейной теории Майлза [4],  $S(\omega)$  – двумерный спектр,  $\omega_k = \sqrt{k}$  частота.

$$\tilde{\omega}_k = \frac{\tilde{\Omega}_k}{\tilde{\Omega}_p} \quad (4)$$

$$\tilde{\Omega}_k = \omega_k U\left(\frac{\lambda_k}{2}\right) = \frac{U\left(\frac{\lambda_k}{2}\right)}{c_k}, \quad (5)$$

где  $c_p$  – фазовая скорость пика спектра,  $c_k$  – фазовая скорость  $k$ -той моды,  $U\left(\frac{\lambda_k}{2}\right)$  скорость ветра на высоте  $\frac{\lambda_k}{2}$ , где  $\lambda_k = \frac{2\pi}{k}$  длина  $k$ -той моды.

Аппроксимация  $G(\tilde{\omega}_k)$  и зависимости бета-функции в зависимости от безразмерной частоты  $\tilde{\Omega}_k$  была получена в [6] на основе прямого моделирования волн и приволнового слоя атмосферы.

$$G(\tilde{\omega}_k) = 0.985 + 0.4(\tilde{\omega}_k)^{0.81} \quad (7)$$

$$\beta_{-k} = \begin{cases} b_1 + d_1(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_1) & \tilde{\Omega} < \tilde{\Omega}_1 \\ b_0 + a_0(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_0) + a_1(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_0)^2 & \tilde{\Omega}_1 \leq \tilde{\Omega} < \tilde{\Omega}_2 \\ b_2 + d_2(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_2) & \tilde{\Omega} \geq \tilde{\Omega}_2 \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta_k = \begin{cases} b_1 + d_1(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_1) & \tilde{\Omega} < \tilde{\Omega}_1 \\ b_0 + a_0(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_0) + a_1(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_0)^2 & \tilde{\Omega}_4 \leq \tilde{\Omega} < \tilde{\Omega}_5 \\ b_2 + d_2(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_1) & \tilde{\Omega} \geq \tilde{\Omega}_5 \end{cases} \quad (9)$$

### Описание экспериментов.

Моделью воспроизводилась структура приволнового слоя атмосферы при одинаковой скорости ветра для разных стадий развития волн. Скорость ветра вводилась в модель через задание динамической скорости  $v_*$ , принималась равная 0.2, стадия развития волн вводилась в модель через параметр  $\omega_p = \frac{\tilde{\Omega}_p g}{U\left(\frac{\lambda_k}{2}\right)}$ , который является входным параметром при расчете спектра волнения, в качестве формы которого был выбран спектр JONSWAP. Всего было проведено 6 экспериментов с  $\omega_p = 0.855, 1., 1.25, 1.5, 2., 2.5$ .

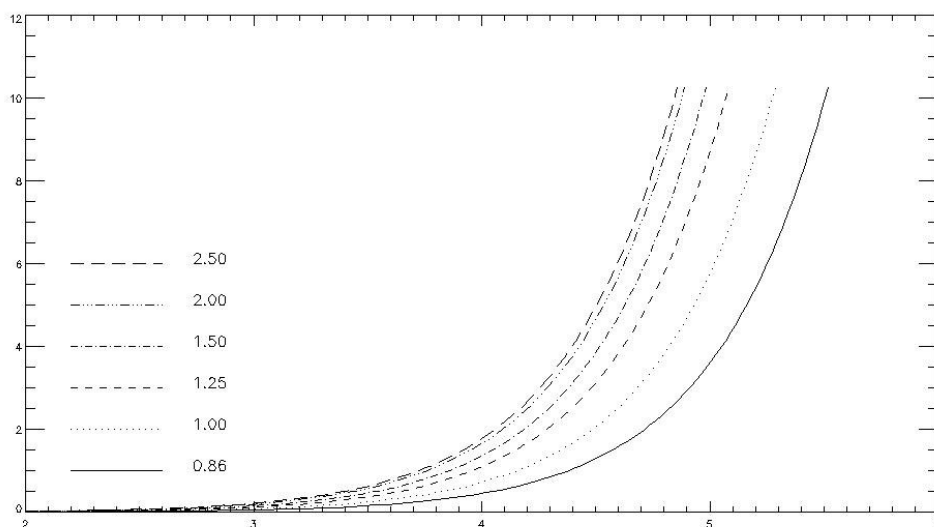


Рис. 1. Распределение скорости ветра с высотой для разных стадий развития волн.  
По оси  $x$  – скорость (м/с), по оси  $y$  – высота (м.).

На рис. 1 приведены скорости ветра при разных стадиях развития волн, видно, что наиболее молодые волны ( $\omega_p = 2.5$ ) оказывают наибольшее сопротивление, и тем самым замедляют поток воздуха, развитое волнение ( $\omega_p = 0.86$ ) имеет фазовую скорость пика волн больше чем скорость ветра, тем самым осуществляя передачу энергии от волн к ветру.

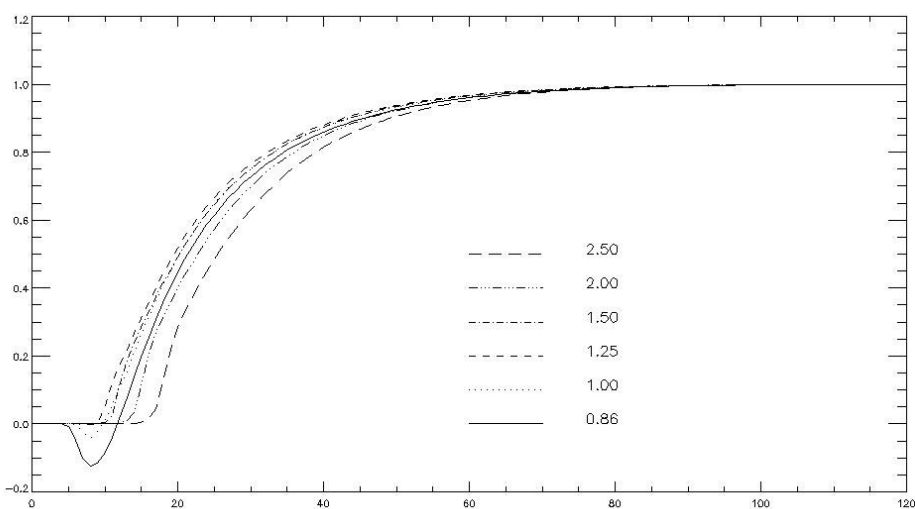


Рис. 2. Спектральное распределение поверхностного волнового потока импульса для разных стадий развития волн, по оси  $x$  – волновые числа ( $k$ ), по оси  $y$  –  $(\tau_k/\tau_w)$ .

Эффект передачи импульса от волн к ветру показан на рис. 2. Видно, что для развитого волнения ( $\omega_p = 0.86$ ) спектральные компоненты при малых волновых числах имеют отрицательный знак. Т.е. спектральные компоненты импульса направлены от волн к ветру. Также этот эффект заметен и при одинаковой скорости ветра и фазовой скорости пика волн ( $\omega_p = 1$ ). При этом минимум для обоих случаев приходится на одно и то же волновое число (приблизительно 7).

### Литература

1. Jiang Q., Sullivan P.P., Wang S., Doyle J., Vincent C.L., 2016: Impact of swell on air-sea momentum flux and marine boundary layer under low-wind conditions. Journal of the Atmospheric Sciences,



Vol.73 № 7, P 2683-2697.

2. Sullivan P. P., McWilliams J. C., Patton E.G. 2014: Large-eddy simulation of marine boundary layers above a spectrum of moving waves. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol 71, №11, P. 4001-4027.
3. Hara T., Sullivan P.P., 2015: Wave boundary layer turbulence over surface waves in a strongly forced condition. *Journal of Physical Oceanography*, Vol.45, № 3, P.868-883.
4. Miles J.W. On the generation of surface waves by shearflows // *J. Fluid Mech.* 1957. V. 3. Issue 2. P. 185–204.
5. Chalikov D. V., Belevich M. Yu., One-dimensional theory of the wave boundary layer // *Boundary-Layer Meteorology*. 1993. Vol. 63, Is 1-2, P 65-96.
6. Chalikov D., Rainchik S. Coupled numerical modeling of wind and waves and the theory of the wave boundary layer // *Boundary Layer Meteorol.* 2010. V. 138. Issue 1. P. 1–41.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-05-01122 А.*

*The study was done with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of a research project 18-05-01122 A.*

## ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С.Г. Быкова<sup>1</sup>, М.А. Мамаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Западный филиал Авиаметтелеком Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Совет экспертов по образованию и подготовке кадров Исполнительного совета Всемирной метеорологической организации

## EDUCATION AND TRAINING OF PERSONNEL FOR THE METEOROLOGICAL PROVISION OF CIVIL AVIATION

S.G. Bykova<sup>1</sup>, M.A. Mamaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>North-West Branch of the "Aviamettelecom of Roshydromet", St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>WMO Executive Council Panel for Education and Training

*В докладе представлен обзор существующих национальных требований и международных стандартов к компетенциям и квалификациям авиационного метеорологического персонала. Приведены результаты оценки потребностей в профессиональных кадрах для метеорологического обеспечения гражданской авиации. Рассмотрены формы эффективного сотрудничества представителей рынка труда на примере авиационной отрасли, с образовательными организациями, ведущими подготовку специалистов в области гидрометеорологии. Представлены успешные практики, а также последние учебные разработки в области авиационной метеорологии с использованием современных педагогических технологий.*

*The paper provides an overview of existing national requirements and international standards for competencies and qualifications of aeronautical meteorological personnel. The education and training needs assessment for meteorological provision of civil aviation is given. Effective cooperation of representatives of the labor market, on the example of aviation industry, with educational organizations that train specialists in the field of hydrometeorology are considered. The best practices and modern training innovations in the field of aeronautical meteorology are discussed.*

В эпоху стремительно развивающихся информационно-коммуникационных технологий во всех сферах происходят изменения, в том числе находящие свое отражение в адаптируемых соответствующим образом требованиях международных организаций к обеспечению безопасности полетов в метеорологическом отношении. При этом основной вектор развития задают Международная организация гражданской авиации (ИКАО) и Всемирная метеорологическая организация (ВМО), что делает первостепенной задачей деятельность стран-членов ВМО по обеспечению соответствия международным стандартам квалификаций и компетенций авиационного метеорологического персонала.

Эффективное метеорологическое обеспечение авиации невозможно без высококвалифицированного, компетентного, должным образом подготовленного персонала. Требования к квалификации авиационного метеорологического персонала приведены в издании № 49 ВМО "Технический регламент" [1].

Следует помнить, что первоначальная квалификация приобретается во время профессионального обучения и подтверждается документом об образовании, а компетенции - это способность качественно выполнять профессиональные обязанности. К квалификации предъявляется требование, согласно которому авиационный метеорологический персонал должен успешно изучить т.н. пакет обязательных программ для метеорологов и метеорологических техников соответственно. Пакет обязательных образовательных программ для метеорологов и техников-метеорологов (VIP-М и VIP-МТ) содержится в Наставлении по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии (том-1) ВМО № 1083 [2]. Как правило, пакет обязательных программ для метеорологов считается пройденным в случае успешного получения университетской степени в области метеорологии.

В перечень профессиональных компетенций авиационного метеорологического персонала, разработанного Технической комиссией ВМО по авиационной метеорологии и включенного в Технический регламент ВМО-№ 49, входят следующие компетенции:

1. Анализировать и осуществлять постоянный мониторинг метеорологической ситуации;
2. Прогнозировать метеорологические явления и параметры;

3. Предупреждать об опасных явлениях;
4. Гарантировать качество метеорологической информации и обеспечения;
5. Передавать метеорологическую информацию внутренним и внешним пользователям.

Для авиационных техников-метеорологов определены следующие профессиональные компетенции:

1. Осуществлять непрерывный мониторинг метеорологической ситуации;
2. Проводить наблюдения за метеорологическими явлениями и параметрами, значимыми для авиации и осуществлять их регистрацию;
3. Гарантировать качество работы систем и метеорологической информации;
4. Передавать метеорологическую информацию внутренним и внешним пользователям.

Согласно вышеуказанным документам необходимо, чтобы авиационный метеоролог-синоптик успешно завершил программу VIP-M, получив квалификацию «метеоролог» (VIP-MT для «техника-метеоролога»), а также дополнительно прошел тренинг по компетентностно-ориентированной учебной программе, освоив профессиональные компетенции.

В дополнение к успешному завершению обучения, авиационный метеоролог и авиационный техник-метеоролог в дальнейшем должны уметь успешно продемонстрировать применение своих знаний и навыков в практической деятельности в рамках системы оценки компетенций, которая является частью Системы менеджмента качества (СМК), которая является гарантией предоставления метеорологического обслуживания на должном уровне.

В последние годы СЗФ «Авиаметтелекома Росгидромета» выполнил значительный объем работ по внедрению в свою производственную деятельность международных и национальных стандартов. На сегодняшний день все стандарты, связанные с обеспечением необходимого уровня квалификаций и компетенций авиационного метеорологического персонала, применены. Успех достигнут, в том числе, благодаря формированию нового подхода к организации производственной деятельности через модель устойчивого наращивания кадрового потенциала.

В настоящее время в работе филиала задействовано 68 человек (34 синоптика и 34 техника-метеоролога), при этом АМСГ Псков, Петрозаводск и Апатиты работают по регламенту аэропорта только в дневное время. Если все АМСГ/АМСГ филиала будут работать круглосуточно, то увеличится требуемое количество синоптиков и техников до 38 и 42 соответственно. Согласно статистическим данным за последние три года, потребность в новых кадрах составляет 2-3 синоптика и 4 техника-метеоролога в год.

С 2011 года внедрена система менеджмента качества, авиационный метеорологический персонал периодически проходит процедуру оценки компетенций, по результатам которой делается заключение, в какой области требуются новые знания и навыки и, соответственно, дополнительное профессиональное обучение. С целью удовлетворения выявленных таким образом образовательных потребностей, СЗФ ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» участвует в разработке учебных курсов и обучении своих сотрудников в рамках компетентностно-ориентированной учебной программы, в том числе с использованием дистанционных методов обучения. Такой подход, в первую очередь, представляется экономически выгодным и эффективным.

В концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года, определено, что «развитие системы профессионального образования предусматривает расширение участия работодателей на всех этапах образовательного процесса». Федеральные государственные образовательные стандарты при этом предполагают построение вариативной части образовательных программ с ориентацией на потребности работодателей, а также ориентируют университеты на привлечение работодателей в систему подготовки кадров на протяжении всего учебного процесса. В этой связи СЗФ ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» сотрудничает с образовательными организациями, ведущими подготовку специалистов в области гидрометеорологии.

Так, например, сотрудники филиала обеспечивают учебные и производственные практики студентов университетов в оперативных подразделениях организации, а также стажировки преподавателей. Филиал направляет своих специалистов для участия в работе аттестационных и методических комиссий, участвует в разработке новых и модернизации существующих университетских учебных планов и программ, отвечающих национальным и международным стандартам ИКАО и ВМО.

Благодаря такому сотрудничеству университеты-партнеры могут найти оптимальный баланс между академичным подходом преподавателей и прагматическими взглядами работодателей. Это позволяет студентам дополнить теоретические знания, полученные на лекциях, практическими навыками и профессиональными компетенциями. Филиал же при этом может заранее оценить перспективы студентов, чтобы впоследствии пригласить лучших из них к себе на вакантные должности. Такое сотрудничество приносит свои плоды и для университетов-партнеров, одним из которых является продвижение имиджа на международном образовательном пространстве, что может быть подтверждено высокими рейтингами конкурентоспособности выпускников вузов на рынке труда.

Вышеперечисленные формы традиционного сотрудничества позволяют существенно повысить качество освоения профессиональных компетенций студентами-метеорологами и, в конечном счете, обеспечить высокий уровень специализированного метеорологического обслуживания гражданской авиации в РФ.

Помимо традиционного взаимодействия, законом «Об образовании в Российской Федерации» определяются и прочие формы сотрудничества, среди которых развитие сетевых форм взаимодействия вузов и предприятий, в том числе создание и реализация совместных образовательных программ, внедрение практико-ориентированных программ высшего образования (прикладного бакалавриата), что авторам представляется перспективным направлением.

В целом, авторы считают, что с ростом требований к квалификации и качеству подготовки специалистов, одним из приоритетов системы высшего профессионального образования должен стать учет запросов работодателей, международных требований и стандартов, а также быстрое реагирование на изменения конъюнктуры рынка труда, что возможно только при тесном сотрудничестве и интеграции деятельности всех участников рынка труда, включая представителей работодателей и провайдеров образовательных услуг.

Для этого целесообразно выстраивать целостную систему взаимодействия путем заключения соответствующих соглашений о сотрудничестве и создания площадок для постоянного конструктивного диалога. При этом подразумевается согласованность действий всех заинтересованных сторон и, следовательно, наличие взаимопонимания между ними и стремления к достижению общих целей. Двигателем развития такого сотрудничества является взаимная заинтересованность государства, университетов и предприятий в подготовке профессиональных кадров, компетенции которых отвечают требованиям современной экономики.

### **Литература**

1. ВМО-№ 49 Технический регламент, том II
2. ВМО-№ 1083 Наставление по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии, Том I: Метеорология (Дополнение VIII к Техническому регламенту ВМО), 2012.
3. Текущий статус компетенций, разрабатываемых Техническими комиссиями ВМО
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/dra/etrp/competencies.php> (дата обращения: 26.08.2018).

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

А.В. Вареник<sup>1</sup>, канд.геогр.наук, С.К. Коновалов<sup>1</sup>, д-р.геогр.наук, член-корр. РАН, В.В. Метик-Диунова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Черноморский гидрофизический полигон РАН, Кацивели, Россия

## QUANTIFYING NUTRIENT'S FLUXES WITH ATMOSPHERIC DEPOSITIONS IN COASTAL AREAS OF THE CRIMEAN PENINSULA

A.V. Varenik<sup>1</sup>, Cand.Sc, S.K. Konovalov<sup>1</sup>, Dr. Sc., V.V. Metik-Diyunova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup>Black Sea Hydrophysical Proving Ground of RAS, Katsiveli, Russia

*В работе рассматриваются вопросы количественной оценки поступления неорганического азота, фосфора и кремния с атмосферными осадками и их влияние на биохимические характеристики поверхностного слоя прибрежных морских вод.*

*We discuss quantitative assessments of inorganic nitrogen, phosphorus and silicon inputs with atmospheric depositions and their influence on biochemical characteristics of the surface layer of coastal waters.*

### **Введение.**

Атмосферные выпадения различных веществ, переносимых с континентальной части на поверхность океана, считаются наравне с апвеллингом и речным стоком важным источником поступления биогенных элементов для питания фитопланктона [1-3]. Неорганический азот, фосфор и кремний являются основными биогенными элементами в морской среде, и их дополнительное поступление может менять соотношение C:N:P:Si и приводить к дополнительному образованию органического вещества [4]. В то время, как оценки поступления биогенных элементов с атмосферными выпадениями в открытых районах морей и океанов и их влияния на биогеохимические и первично-продукционные характеристики до некоторой степени изучены [5], аналогичные данные для прибрежных акваторий практически не известны, несмотря на то, что любая дополнительная нагрузка на эвтрофированные и антропогенно-нагруженные прибрежные морские акватории может оказаться критической и приводящей к негативным явлениям возникновения и развития зон дефицита кислорода, анаэробных и сульфидных условий.

### **Методы.**

Мониторинг содержания биогенных элементов в атмосферных осадках Крымского побережья (рис. 1) осуществлялся в 2014-2017 гг.

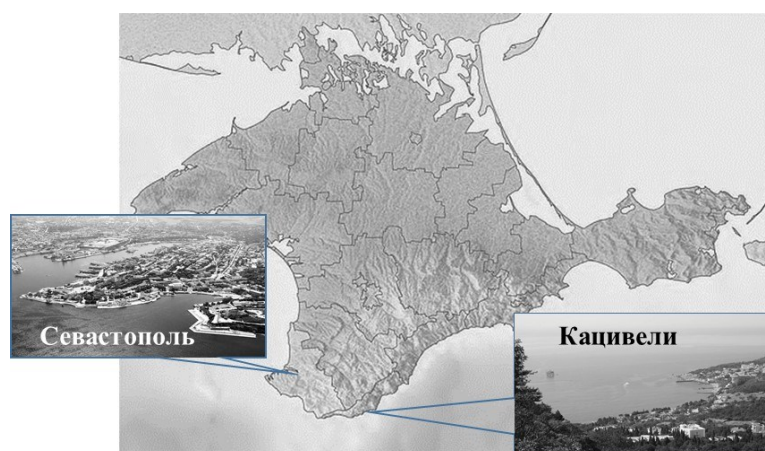


Рис. 1. Пункты мониторинга загрязнения атмосферных осадков.

В нашей работе мы будем рассматривать только влажные атмосферные осадки (дождь, снег), отбирившиеся в закрытый осадкосборник, открывающийся только на момент выпадения осадков, что позволяло исключить возможность попадания в пробу сухих выпадений.

В п. Кацивели отбор проб осуществляется в соответствующий требованиям WMO автоматический осадкосборник для отбора проб атмосферных осадков (wet-only) и аэрозолей (рис. 2 а), разработанный по заказу МГИ и выполненный в ФГБУН Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения РАН (г. Томск). Отбор проб в г. Севастополь осуществляется на метеостанции (рис. 2 б), работающей в круглосуточном режиме, что позволяет наиболее точно отбирать пробы атмосферных осадков с началом их выпадения и получать актуальную информацию по метеоусловиям на момент выпадения осадков.

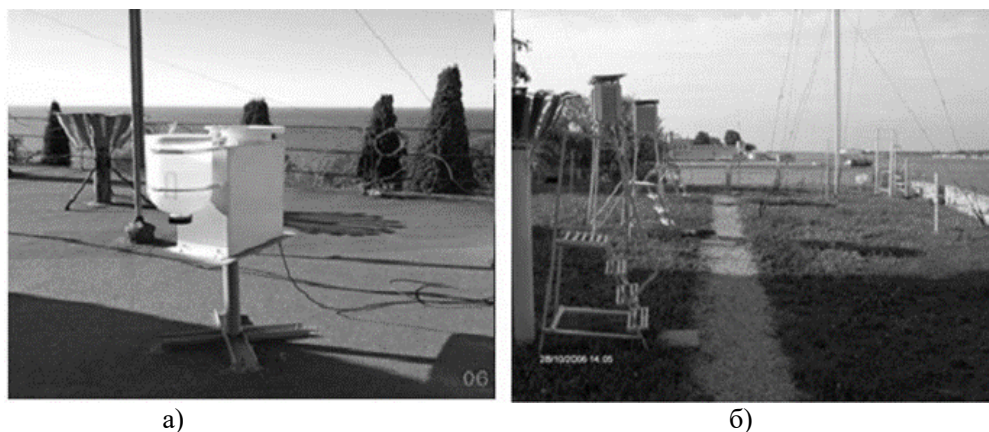


Рис. 2. Оборудование пунктов сбора атмосферных осадков в п. Кацивели (а) и г. Севастополь (б).

Химический анализ проб осуществлялся в отделе биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН. В пробах атмосферных осадках анализировалось содержание неорганических форм азота, а также водорастворимых форм фосфора и кремния. Все полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики для обнаружения «промахов».

Для изучения влияния потоков неорганического азота, фосфора и кремния на биохимические характеристики поверхностного слоя моря, в районе отбора проб атмосферных осадков в г. Севастополь отбирались пробы морской воды для анализа содержания биогенных элементов сразу после выпадения осадков, а затем в последующие 5 дней с суточным интервалом.

#### Результаты и обсуждение.

За время проведения мониторинга было отобрано и обработано 570 проб атмосферных осадков (рис. 2.1) и выполнено 2280 анализов по определению содержания нитратного и аммонийного азота, а также фосфора фосфатов и кремния силикатов.

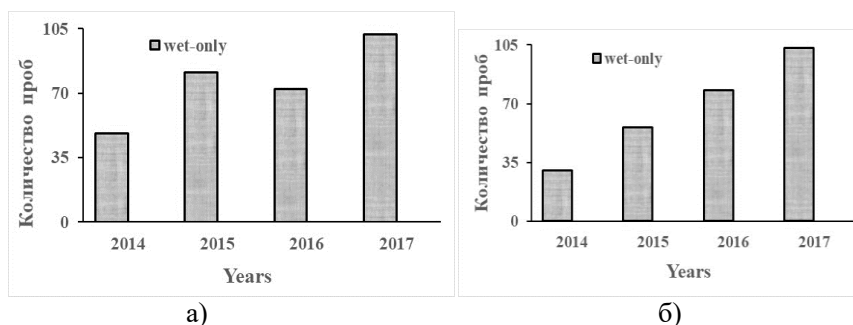


Рис. 2.1 Количество проб атмосферных осадков, обработанных в 2014-2017 гг. в г. Севастополь (а) и п. Кацивели (б).

Максимальная концентрация соединений неорганического азота в г. Севастополь составила 427,5 мкмоль/л (январь 2017 г.), в п. Кацивели 379,2 мкмоль/л (май 2016 г.). Максимум фосфатов составил в г. Севастополе 18,2 мкмоль/л (июнь 2017 г.), в п. Кацивели –29,2 мкмоль/л (декабрь 2017 г.). В

сентябре 2017 г. в г. Севастополе была определена максимальная концентрация кремния, которая составила 34,5 мкмоль/л, в то время как в п. Кацивели максимальное содержание было в 4,5 раза меньше – 7,9 мкмоль/л (сентябрь 2015 г.).

Годовой поток неорганического азота с атмосферными осадками в г. Севастополе изменялся от 16,7 ммоль/м<sup>2</sup>-год (2015) до 32,3 ммоль/м<sup>2</sup>-год (2017 г.), в п. Кацивели – от 22,2 ммоль/м<sup>2</sup>-год (2015 г.) до 33,5 ммоль/м<sup>2</sup>-год (2016 г.).

В г. Севастополе в 2017 г. наблюдалось повышенное содержание кремния в пробах атмосферных осадков на протяжении практически всего года. Это привело к тому, что годовой поток кремния составил 746 мкмоль/м<sup>2</sup>-год, что практически в 3 раза выше, чем поток в другие годы проведения мониторинга. В п. Кацивели диапазон величин потока кремния составлял от 464 мкмоль/м<sup>2</sup>-год в 2015 г. (минимум) до 590 мкмоль/м<sup>2</sup>-год в 2016 г. (максимум).

В 2017 г. в г. Севастополе наблюдался также максимальный поток фосфатов с атмосферными осадками – 216 мкмоль/м<sup>2</sup>-год, в то время как в 2014-2016 гг. он был в 1,5 раза ниже. При этом в п. Кацивели максимальный годовой поток фосфатов составил 909 мкмоль/м<sup>2</sup>-год в 2015 г., а в 2017 г. был минимальным – 339 мкмоль/м<sup>2</sup>-год.

После выпадения атмосферных осадков концентрация биогенных элементов в бухте значительно превышала среднее значение для участка поверхностного слоя Севастопольской бухты, в районе которой отбирались осадки. К примеру, концентрации фосфат-ионов в морской воде после выпадения осадков повышались на 35 -250%, форм неорганического азота на 10 -530%.

По прошествии 4-5 дней после выпадения осадков наблюдалось снижение концентрации биогенных элементов в морской воде практически во всех рассматриваемых случаях выпадения осадков до исходных величин (рис. 3).

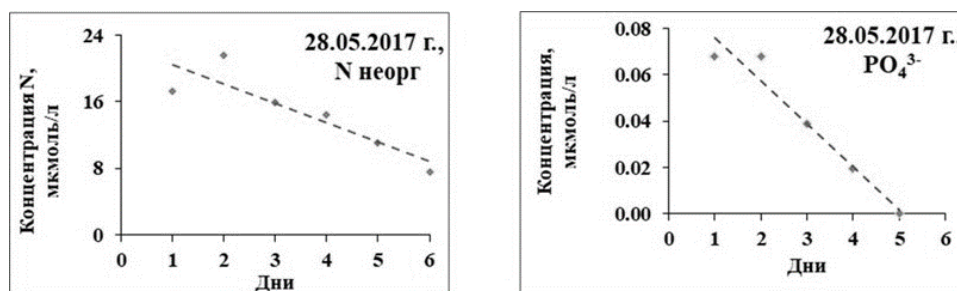


Рис. 3. Изменение концентрации биогенных элементов в поверхностной морской воде после выпадения осадков

Однако были случаи, когда после выпадения осадков на 4-й и 5-й день отбора проб наблюдалось увеличение концентрации фосфора и кремния в поверхностной морской воде. Это может быть объяснено адвективным переносом загрязненных вод в район наблюдений или диффузионным потоком из более глубоких слоев вод.

В случае повторяющихся осадков после начального снижения содержания биогенных элементов в поверхностном слое бухты концентрация опять возрастала, а затем снижалась до фонового уровня (рис. 4).

Для анализа влияния атмосферных осадков на водные экосистемы можно воспользоваться соотношением Редфилда азота к фосфору или усовершенствованным соотношением N:P:Si [6], которое составляет 16:1:15. В атмосферных осадках соотношение биогенных элементов значительно отличалось от классического соотношения и составляло в среднем 124:1:2 для г. Севастополь и 44:1:0,8 для п. Кацивели. Как видно, в обоих пунктах наблюдения содержание неорганического азота значительно превышает содержание фосфатов и кремния. Однако в п. Кацивели это превышение меньше за счет более высокого содержания неорганического фосфора в атмосферных осадках.

Согласно принципу Либиха, лимитирующим является биогенный элемент, находящийся в относительно минимальном количестве [7]. Учитывая, что в прибрежных районах Черного моря кремний и фосфаты находятся в более низких концентрациях по сравнению с неорганическим азотом, то именно эти элементы могут стать лимитирующими для развития определенных видов фитопланктона. К примеру, по данным [8] одним из условий доминирования кокколитофорид может являться низкое соотношение азота к фосфору в морской воде. Кокколитофориды, в свою очередь, продуцируют около половины CaCO<sub>3</sub> в океане [9]. При этом в Черном море в последнее время отмечается тенденция усиления роли кокколитофорид в формировании биомассы [10].

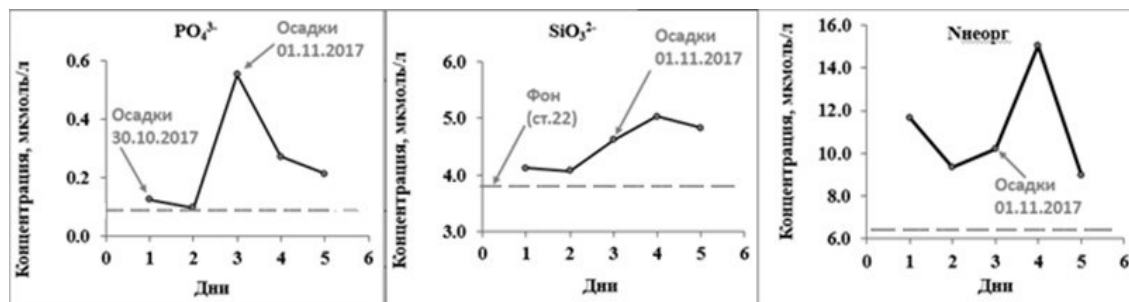


Рис.4. Содержание биогенных элементов в поверхностной морской воде в фоновой точке (прерывистая линия), а также после выпадения осадков (сплошная линия)

В то же время, если совместно с влажными осадками учитывать поступление исследуемых биогенных элементов с сухими выпадениями, то соотношение N:P:Si, вероятнее всего, будет сдвигаться в сторону фосфора и кремния. Наши предварительные результаты показывают, что вклад сухих выпадений в Севастополе составляет около 20% для неорганических форм азота, а фосфора и кремния – до 300%.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что поступление атмосферных осадков может способствовать существенному изменению баланса C:N:P:Si в поверхностном слое прибрежных вод Крыма, что, в свою очередь, может смещать соотношение различных видов планктона в зависимости от преобладающей формы биогенных элементов.

#### Литература

1. Duce, R. A. et al. Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean. *Science* 320, 893–897, <https://doi.org/10.1126/science.1150369> (2008).
2. Krishnamurthy, A., Moore, J. K., Zender, C. S. & Luo, C. Effects of atmospheric inorganic nitrogen deposition on ocean biogeochemistry. *J. Geophys. Res.* 112, G02019, <https://doi.org/10.1029/2006JG000334> (2007).
3. Jickells, T. D. et al. A reevaluation of the magnitude and impacts of anthropogenic atmospheric nitrogen inputs on the ocean. *Global Biogeochem. Cy.* 31, 289–305 (2017).
4. Suntharalingam, P., E. Buitenhuis, C. Le Quéré, F. Dentener, C. Nevison, J. H. Butler, H. W. Bange, and G. Forster (2012), Quantifying the impact of anthropogenic nitrogen deposition on oceanic nitrous oxide, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L07605, doi:10.1029/2011GL050778.
5. Varenik, A., Konovalov, S., and Stanichny, S.: Quantifying importance and scaling effects of atmospheric deposition of inorganic fixed nitrogen for the eutrophic Black Sea, *Biogeosciences*, 12, 6479–6491, doi:10.5194/bg-12-6479-2015, 2015.
6. Brzezinski, M. A.: The Si : C : N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables, *J. Phycol.*, 21, 347–357, 1985.
7. De Baar, H. J. W. Von Liebig's law of the minimum and plankton ecology (1899–1991) / H. J. W. De Baar // *Prog. Oceanogr.* – 1994. – № 33. – P. 347–386.
8. Milliman, J. D. Production and accumulation of calcium carbonate in the ocean: budget of a non-steady state / J. D. Milliman // *Glob. Biogeochem. Cycles.* – 1993. – Vol. 7. – P. 927–957.
9. Паутова, Л. А. Структура планктонных фитоценов шельфовых вод северо-восточной части Черного моря в период массового развития *Emiliania huxleyi* в 2002–2005 гг. / Л. А. Паутова, А. С. Микаэлян, В. А. Силкин // *Океанология.* – 2007. – Т. 47. – № 3. – С. 408–417.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ РАН № 0827-2018-0003 и проекта РФФИ 18-05-80028 Опасные явления «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива».*

*The work was carried out within the framework of the state assignment of FSBI MGI RAS No. 0827-2018-0003 and the RFBR project 18-05-80028 Hazardous phenomena “Research and assessment of the role of hydrophysical and biogeochemical processes in the formation of oxygen deficiency zones and hydrogen sulfide contamination of the coastal areas of the Crimean Peninsula and the Kerch Strait”.*



## ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЫЛЕВОГО ПЕРЕНОСА НА ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЧЕРНОГО МОРЯ

А.В. Вареник<sup>1</sup>, канд.географ.наук, Д.В. Калинская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

## IMPACT OF DUST TRANSPORT ON THE NUTRIENTS INPUT ON THE BLACK SEA SURFACE

A.V. Varenik<sup>1</sup>, Cand.Sc., D.V. Kalinskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

*Пустыни Африки и Сирии можно рассматривать как источник минеральной пыли над Черным морем, что проявляется в значительном превышении содержания биогенных элементов в атмосфере и атмосферных осадках.*

*Deserts of Africa and Syria can be considered as a source of mineral dust over the Black Sea that is manifested in a significant excess of nutrients in the atmosphere and precipitation.*

### **Введение.**

Засушливые районы, такие как пустыни Сахары и Сирии, можно рассматривать как важный источник минеральной пыли в атмосфере не только вблизи этих пустынь, но и на расстоянии тысяч километров. Даже в Европе и Америке можно проследить влияние пылевого переноса [1, 2]. Однако случаи пылевого переноса или переноса поглощающего аэрозоля аридного происхождения имеют значительную пространственную и временную изменчивость, поэтому существуют некоторые неопределенности и недооценки или переоценки в их значимости.

Одной из причин увеличения концентрации различных микроэлементов в атмосфере является перенос аридного типа аэрозоля в Черноморский регион. Так в [3] было показано, что случаи такого переноса над Черным морем характеризуются повышением концентраций фосфора и кремния в пробах осадков в течение всего года. Даже невысокие превышения концентрации биогенных элементов в атмосферных осадках дают возможность показать влияние пылевого переноса на изменчивость оптических свойств атмосферы над исследуемым регионом. Роль переносов такого типа аэрозоля может быть весьма важной, однако вопрос количественных оценок влияния пылевого аэрозоля в исследуемом районе остается практически не изученным.

Азот, фосфор и кремний являются наиболее важными биогенными элементами для морской первичной продукции и динамики концентрации хлорофилла-а. Как показано в работе [4], связь между годовыми циклами хлорофилла-а и осадчением пыли может в среднем объяснить 11.5% вариации хлорофилла в значительной части Средиземного моря. При этом анализ модели SeaWIFS и BSC-DREAM8b за восемь лет (2000-2007 гг.) показывает, что осадчение минеральной пыли из источников пыли пустынь Северной Африки и Ближнего Востока коррелирует с концентрацией хлорофилла-а в довольно больших районах Средиземного моря.

Для Черного моря количественные оценки такого поступления и его влияния практически отсутствуют, что подтверждает актуальность представленного исследования.

### **Методы.**

Мониторинг содержания неорганического азота в атмосферных осадках в г. Севастополь осуществляется с 2004 г., неорганических соединений фосфора (фосфатов) и кремния (силикатов) – с 2012. Пробы отбираются на метеостанции Севастополь сотрудниками МГС в осадкосборник, открывающийся только в момент выпадения осадков. Для изучения вклада сухих выпадений в поступление биогенных элементов на МГС «Севастополь» в 2015 г. был установлен постоянно открытый осадкосборник. Пробы атмосферных осадков анализировались в Отделе биогеохимии моря МГИ РАН.

Для анализа источника аэрозоля, который мог бы повлиять на повышение концентрации микроэлементов в пробах осадков, были проанализированы спутниковые данные, предоставляемые на платформе EASDIS за исследуемый период. Т.к. натурное исследование атмосферы над Черным морем осуществляется в основном с помощью солнечных фотометров (CIMEL и SPM), которые осуществляют измерения в солнечную погоду, были

проанализированы дни, предшествующие осадкам, в которых концентрация фосфатов и силикатов превышала норму (среднюю концентрацию) в несколько раз. Для анализа масштабов события переноса пылевого аэрозоля (пылевой бури) был использован инструмент Worldview от EASDIS. Worldview использует NASA Global Imagery Browse Services (GIBS) и был разработан таким образом, чтобы обеспечить его глобализацию для предоставления возможности анализировать информацию «прямо сейчас». Это позволяет анализировать в кратчайшие сроки критически важную информацию, такую как распространение лесных пожаров, измерение качества воздуха и мониторинг наводнений. Также для анализа географии источников аэрозоля в исследуемый регион были проанализированы данные моделирования обратных траекторий переносов аэрозоля по результатам двух моделей: AERONET (<https://tropo.gsfc.nasa.gov>) и HYSPLIT (<https://ready.arl.noaa.gov>), достоверность информации которых для исследуемого региона была изучена ранее [5].

С 2016 года на Worldview для спутниковых данных MODIS Aqua предоставляется информация об атмосферной загрузке пылевым аэрозолем. Анализ дат, за которые были обнаружены превышения концентрации фосфатов и силикатов, дал совпадение с данными спутниковых изображений MODIS Aqua за весенний период 2018 года. Загрузка аридным аэрозолем в исследуемый период была аномально высокой. Ранее [6] было показано, что именно весной наблюдаются самые длительные и интенсивные события переноса Сахарской пыли в Черноморский регион.

В данной работе представлен анализ содержания фосфатов и силикатов в атмосферных осадках, т.к. именно их концентрация в пробах в большей степени (по сравнению с неорганическим азотом) подвержена изменчивости вследствие события пылевого переноса.

#### **Результаты и обсуждение.**

За время проведения мониторинга в 2015-2018 гг. было обработано более 520 проб осадков, отобранных в два осадкосборника. При анализе результатов выяснилось, что средняя концентрация фосфатов и силикатов в открытом осадкосборнике превышала концентрацию в закрытом в среднем в 2,1 и 1,9 раз соответственно. При этом были выявлены случаи значительного превышения концентрации исследуемых биогенных элементов в открытом осадкосборнике: максимальная концентрация фосфатов (37 мкмоль/л) в 42 раза превышала среднюю концентрацию в закрытом осадкосборнике, силикатов (35,08 мкмоль/л) – в 18 раз.

В данной работе проанализированы случаи выпадения осадков 22 марта и 2 апреля 2018г. Концентрация фосфатов и силикатов в осадках, отобранных в эти дни, составила 4,73 и 14,69 мкмоль/л (22 марта) и 2,28 и 8,22 мкмоль/л (2 апреля), что превышает среднюю концентрацию исследуемых биогенных элементов в 5 и 7 раз, а также в 2,5 и 4 раза соответственно.

С 21 марта по 4 апреля над станцией Sevastopol наблюдалась облачность, не позволяющая произвести измерения AOT, однако на соседней Черноморской станции сети AERONET Gloria (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>) измерения ослабления прямого солнечного излучения за этот период были произведены. Анализ данных аэрозольной оптической толщины на длине 500 нм (AOT(500)) на ближайшей к Крыму станции Gloria показал преимущество крупных аэрозольных частиц и их основной вклад в общее распределение AOT(500) за 22 марта 2018 года (рис. 1а). Данные моделирования переноса атмосферного аэрозоля на различных высотах показали перенос аридного типа аэрозоля на высоте от 3 до 5 км для станции Gloria со стороны пустыни Сахара как по результатам сети AERONET, так и по модели HYSPLIT (рис. 1б,в).

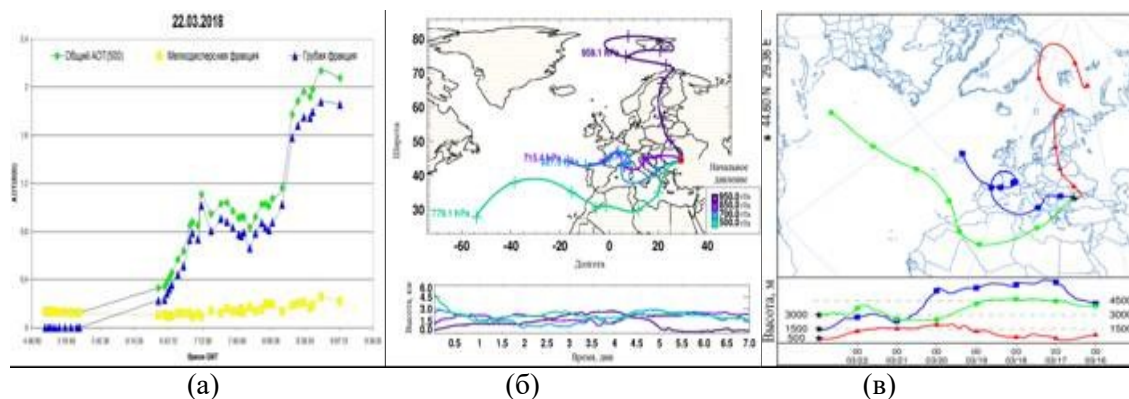


Рис. 1. Общее распределение АОТ(500) (а); результаты моделирования обратных траекторий переноса аэрозоля AERONET (б); результаты моделирования обратных траекторий переноса аэрозоля HYSPLIT (в) для станции AERONET Gloria за 22 марта 2018 г.

По данным о загрузке атмосферы пылевым аэрозолем за 22 марта практически все восточное побережье Средиземного моря имеет максимальную загрузку аридным аэрозолем (рис. 2а). По данным MODIS за 2 апреля также был зафиксирован случай выноса пылевого аэрозоля со стороны пустыни Сахара, однако его интенсивность меньше, чем вынос, регистрируемый 22 марта 2018 года (рис. 2б), что подтверждается и меньшими величинами концентраций исследуемых биогенных элементов.

Как видно из представленных рисунков и 22 марта, и 2 апреля 2018 г. регистрируется перенос пылевого аэрозоля со стороны пустыни Сахара для двух Черноморских станций (Gloria и Sevastopol) как по данным моделирования обратных траекторий сети AERONET, так и по данным моделирования переносов HYSPLIT.

#### **Выводы.**

Комплексный анализ данных по содержанию  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{SiO}_2$  в пробах атмосферных осадков, отобранных в районе Севастополя, а также АОТ и данных обратных траекторий по результатам моделей AERONET и HYSPLIT подтвердил, что в дни, когда наблюдались повышенные концентрации  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{SiO}_2$  в атмосферных осадках, совпадают с датами переноса пылевого аэрозоля со стороны пустыни Сахара. При этом концентрация неорганического фосфора и кремния при регистрации переноса пылевого аэрозоля в исследуемый регион может повышаться в несколько раз по сравнению с их средневзвешенным содержанием в осадках.

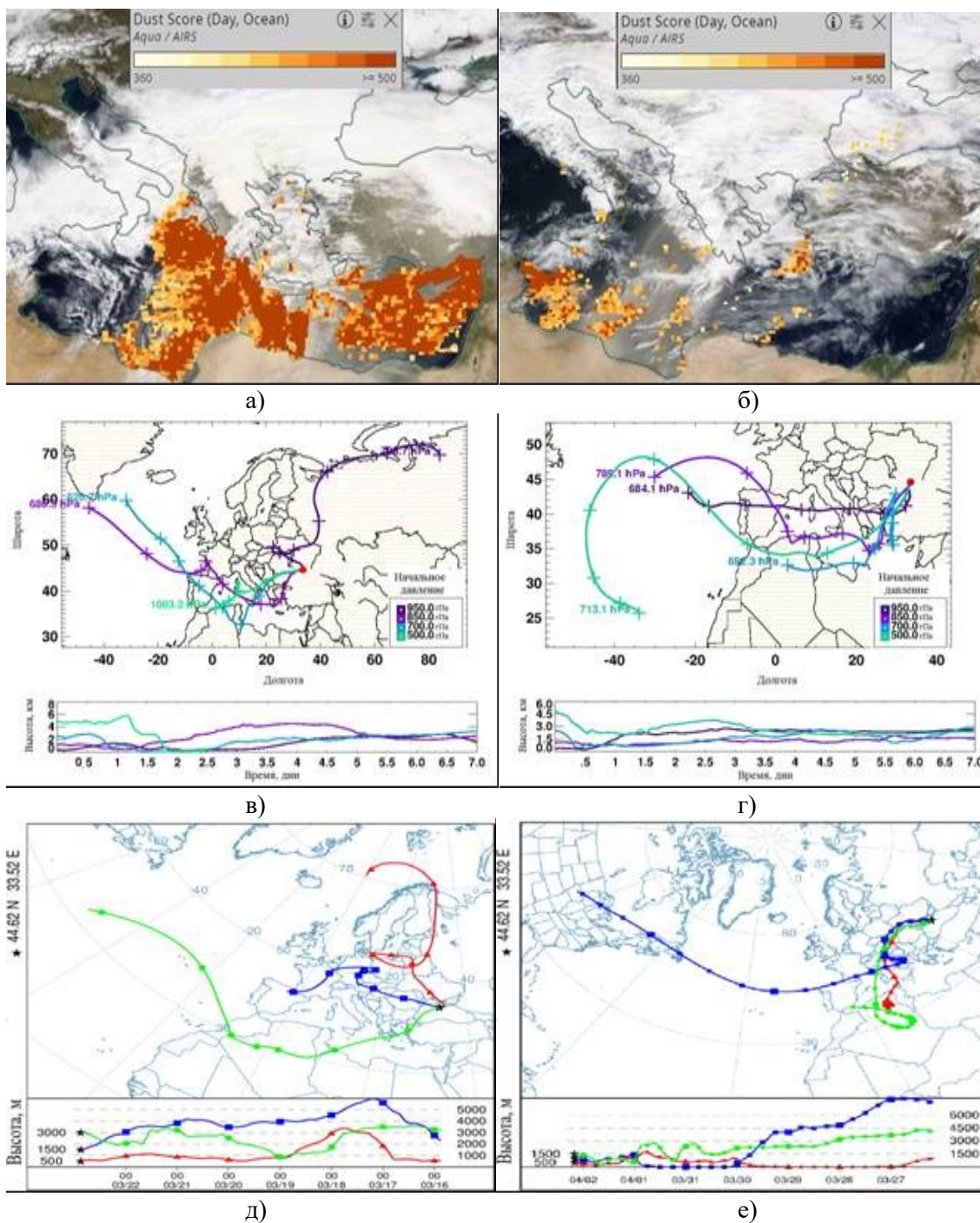


Рис. 2. Аэрозольная загрузка пылевым аэрозолем за 22 марта 2018 г. (а) и за 2 апреля 2018 г. (б); результаты данных обратных траекторий по результатам моделирования AERONET за 22 марта 2018 г. (в) и за 2 апреля 2018 г. (г); результаты данных обратных траекторий по результатам моделирования HYSPLIT за 22 марта 2018 г. (д) за 2 апреля 2018 г. (е).

### Литература

1. Swap R, Garstang M, Greco S, Talbot R, Kallberg P. (1992). Saharan dust in the Amazon basin. *Tellus B Chem Phys Meteorol* 44:133–1149.
2. Ávila A., Penuelas J. 1999. Increasing frequency of Saharian rains over NE Spain and its ecological consequences. *The Science of Total Environment* 228: 153-156.

3. Д.В. Калинская, А.В. Вареник, А.С. Папкина Фосфор и кремний как маркеры переноса пылевого аэрозоля над Черноморским регионом // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т. 15, № 3, С. 217-225, 2018, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-217-225.
4. Gallisai, R., Peters, F., Basart, S., and Baldasano, J. M.: Mediterranean basin-wide correlations between Saharan dust deposition and ocean chlorophyll concentration, Biogeosciences Discuss., 9, 8611-8639, <https://doi.org/10.5194/bgd-9-8611-2012>, 2012.
5. Kalinskaya D.V., Kudinov O.B. Methodology of ground aerosol sources determination based on AERONET and HYSPLIT models data results // Proceedings of SPIE , 2017, doi: 10.1117/12.2287744.
6. Калинская Д.В. Исследование особенностей оптических характеристик пылевого аэрозоля над Чёрным морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. № 26. С. 151.

*Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН МГИ РАН по теме № 0827-2018-0002, а также частично при поддержке РФФИ, грант № 17-05-00113. Авторы благодарят Тома Кушера (Tom Kucsera), Брента Холбена (Brent Holben), Джузеппе Зиборди (Giuseppe Zibordi) и группу Жене Фельдмана (Gene Feldman) из НАСА за предоставление данных АОТ, расчеты данных ВТА, обработку измерений, полученных на севастопольской станции AERONET и за возможность использования качественных данных фотометрических измерений.*

*The work was performed within the framework of the state assignment of FGBUN MGI RAS on the subject No. 0827-2018-0002, and also partly with the support of the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 17-05-00113. The authors thank Tom Kucsera, Brent Holben, Giuseppe Zibordi and the Gene Feldman group from NASA for providing AOT data, calculating the BTA data, processing the measurements obtained at AERONET Sevastopol and for the possibility of using qualitative data of photometric measurements.*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Л.С. Венцулис<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Н.В. Воронов<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент, Н.Ю. Быстрова<sup>3</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS

L.S. Ventsyulis<sup>1</sup>, Dr.Sc., professor, chief researcher, N.V. Voronov<sup>2</sup>, Cand.Sc., doцент, N.Yu. Bystrova<sup>3</sup>, researcher

<sup>1</sup>Saint-Petersburg research center for ecological safety of the Russian academy of sciences, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Saint-Petersburg scientific center of the Russian academy of sciences, St. Petersburg, Russia

*В статье обоснованно показано, что наименьшие экологические ущербы имеют мусороперерабатывающие заводы, производящие компост, средние – мусоросжигательные заводы, производящие энергию, и наибольшие – полигоны, где размещают несортированные отходы.*

*The article reasonably shows that the least environmental damage is caused by waste recycling plants producing compost, the middle – by plants that produce electricity, the greatest – by landfills where unsorted waste is placed.*

Развитие цивилизации постоянно сопровождается ростом производства различного рода отходов. Объём промышленной продукции, производимый развитыми странами мира в XX веке, удваивался каждые 15÷20 лет. Соответственно увеличивалось образование отходов, которые либо сами загрязняют окружающую среду, либо становятся одним из источников её загрязнения. Параллельно росту промышленного и сельскохозяйственного производства, а также нового строительства быстро растёт население Земли, а в большинстве стран возрастает также средний уровень потребления материальных благ. Всё это приводит к увеличению образования твёрдых коммунальных отходов (ТКО) как в валовом, так и в удельном исчислении.

Вблизи больших городов и промышленных зон ассимиляционная ёмкость практически всех природных объектов по отношению к производимым отходам значительно превышена, процессы естественного разложения отходов почти повсеместно ведут к нарушению экологического равновесия в биогеоценозах. В последние годы в составе ТКО значительно возросла доля упаковочных материалов, в состав которых входят пластик, алюминиевая фольга и другие труднорастворимые вещества. Возрастает количество бытовой техники, электроники, батарей, аккумуляторов, требующих специальных методов сбора и утилизации [1, 3].

Количество складированных на полигонах отходов постоянно растёт. В России эта величина в настоящее время составляет 95 миллиардов тонн. Из всех собираемых ТКО вторично используется только 5%. На 2012 год в стране существовало 7158 санкционированных свалок и 17498 – несанкционированных, количество которых каждый год увеличивается приблизительно на 5000 (в 2012 году к количеству несанкционированных свалок добавилось 12399, а были ликвидированы только 7386) [4]. В России в настоящее время Правительство определило 194 «горячие точки», где в первую очередь необходимо ликвидировать экологический ущерб, вызванный отходами. Всё это свидетельствует о том, что проблема с отходами в Российской Федерации стоит очень остро.

Во многих странах, особенно европейских, последние тридцать лет вопросу эффективного обращения с отходами уделялось особое внимание, в результате чего количество захораниваемых ТКО в настоящее время значительно сокращено. Так в странах Европейского союза количество захораниваемых ТКО в настоящее время сократилось до 45%, а в Финляндии и в Дании – до 15÷20%. Все эти положительные результаты были достигнуты благодаря созданию эффективных систем обращения с ТКО.

Хорошо известно, что все методы переработки ТКО, используемые в настоящее время, можно разделить на ликвидационные и утилизационные. К ликвидационным методам можно отнести: размещение ТКО на полигонах и сжигание ТКО без использования тепловой энергии. Оба метода предусматривают ликвидацию отходов без их вторичного использования и требуют значительных площадей (особенно при создании полигонов), а также больших затрат средств на их последующую рекультивацию и закрытие. Кроме того, полигон генерирует в атмосферу большое количество метана и других газов, которые вносят значительный вклад в создание парникового эффекта и загрязнения окружающей среды.

Сжигание ТКО без предварительной сортировки создаёт особую опасность для окружающей среды в результате выделения супертоксикантов диоксинового ряда. Зарубежными специалистами было определено, что в конце XX века годовая эмиссия этих ядовитых веществ в воздушную среду пятнадцати экономически развитыми странами мира на 69% определялась выбросами мусоросжигательных заводов.

Утилизационные методы ориентированы, по возможности, на полное использование ресурсного потенциала собранных отходов, либо как источника вторичного сырья, либо в качестве энергоносителя (топлива). С точки зрения использования технологии, методы переработки отходов можно разделить на механические, термические, биологические и смешанные. К механическим методам переработки относятся ручная или механическая сортировка отходов, их измельчение, уплотнение (прессование), размещение в специальных цехах (хранилищах). Биологические методы переработки сводятся, в основном, к компостированию отходов с образованием компоста, пригодного для использования в качестве сельскохозяйственного удобрения или биотоплива для теплиц. Помимо этого, компост можно использовать при рекультивации, выравнивании территорий и ландшафтов, а подготовленные пищевые отходы скармливать животным. В настоящее время используются смешанные методы переработки отходов, которые могут сочетать элементы механических, термических и биологических способов.

Наиболее эффективным методом утилизации отходов является отбор и использование вторичного сырья, слабо влияющего на окружающую среду и приносящего значительный экономический эффект при его реализации. Остальные методы, используемые при обращении с ТКО: компостирование, сжигание и размещение на полигонах, имеют как положительные, так и отрицательные свойства. Количество компостируемых и сжигаемых ТКО в крупных городах составляет примерно 20÷25%. Эффективность этих методов может быть определена на основании метода оценки экологических ущербов [5, 6].

Для полигонов экологическими ущербами являются ущербы от: размещения ТКО, загрязнения воздуха, загрязнения воды, деградации почв.

Для сжигательных заводов экологическими ущербами являются ущербы от: размещения завода, размещения ТКО на заводе, загрязнения воздуха от сжигания ТКО, загрязнения воздуха от ТКО, размещенных на заводе.

Для компостных заводов экологическими ущербами являются ущербы от: размещения завода, размещения ТКО на заводе, загрязнения воздуха размещенными на заводе ТКО.

Основными начальными параметрами при определении экологических ущербов принимаются [5, 6]: количество ТКО, размещённых на полигоне за 1 год (тыс. тонн); площадь, занимаемая полигоном (га); количество ТКО, переработанное за 1 год на заводах (тонн); площадь, занимаемая заводом (га).

При оценке экологических ущербов для всех рассматриваемых объектов количество ТКО, утилизируемых на полигонах и переработанных на заводах, при расчетах принимается в количестве 100 тыс. тонн в год. Площадь полигона (га) на расчётный срок эксплуатации за 15 лет при высоте складирования ТКО – 20 м, составит приблизительно 30 га [2]. Площади, занимаемые заводами, определены на основе статистических данных по существующим предприятиям в России (табл. 1, 2). Площади, занимаемые отходами на заводах, определены исходя из производительности завода за одну неделю (таблица 1, 2). Исходя из принятых выше исходных данных для различных предприятий по переработке ТКО, были произведены расчёты экологических ущербов, получены следующие результаты:

Суммарные экологические ущербы различных предприятий по переработке ТКО (в млн. руб.): полигон – 26,93; мусоросжигательный завод (МСЗ) – 0,944; мусороперерабатывающий завод (МПЗ) – 0,822.

Экологические ущербы от размещения заводов и ТКО на различных предприятиях по переработке отходов (в млн. руб.): полигон – 23,05; МПЗ – 0,78; МСЗ – 0,621.

Экологические ущербы от загрязнения ТКО окружающей среды различными предприятиями по переработке отходов (в млн. руб.): полигон – 3,88; МСЗ – 0,323; МПЗ – 0,042.

Экологические ущербы от размещения ТКО на полигонах (в млн. руб.): размещение ТКО – 23,05; загрязнение воздуха – 2,05; загрязнение воды – 0,06; деградация почвы – 1,415; загрязнения вокруг полигона – 0,353; суммарный ущерб: 26,93.

Экологические ущербы от размещения ТКО и загрязнения окружающей среды при переработке на МПЗ (в млн. руб.): размещение завода – 0,3; размещение ТКО – 0,48; загрязнение воздуха от размещения ТКО – 0,042; суммарный ущерб – 0,822.

Экологические ущербы от размещения ТКО и загрязнения окружающей среды при переработке на МСЗ (в млн. руб.): размещение завода – 0,141; размещение ТКО – 0,48; загрязнение воздуха от размещения ТКО – 0,042; загрязнение воздуха от сжигания ТКО – 0,281; суммарный ущерб – 0,944.

Таблица 1. Техничко-эксплуатационные показатели мусороперерабатывающих заводов, действующих в Российской Федерации

№№	Показатели	Завод МПБО-1, г. Санкт-Петербург	Завод в Нижнем Новгороде	Завод МПБО-2, г. Санкт-Петербург	Завод в Гольятти
1.	Год выпуска	1971	1987	1994	1998
2.	Мощность по приёму ТКО, тыс. м <sup>3</sup> /год (тыс. т/год)	1000 (200)	220 (44)	600 (120)	300 (60)
3.	Занимаемая площадь, га	8,5	2,7	6,0	3,4
4.	Удельная площадь, га (тыс. т/год)	0,043	0,06	0,05	0,056

Таблица 2. Техничко-эксплуатационные показатели мусоросжигательных заводов, действующих в Российской Федерации

№№	Показатели	Завод №2, г. Москва	Завод №3, г. Москва	Завод г. Пятигорск	Завод г. Мурманск
1.	Год выпуска	1975	1983	1985	1986
2.	Мощность по приёму ТКО, тыс. м <sup>3</sup> /год (тыс. т/год)	370 (74)	1500 (800)	750 (150)	600 (120)
3.	Занимаемая площадь, га	2,1	7,4	4,1	3,7
4.	Удельная площадь, га (тыс. т/год)	0,028	0,024	0,027	0,030

Как видно из представленных выше данных: суммарные экологические ущербы для трех рассмотренных способов переработки ТКО, значительно большие относятся к полигонам, средние – к мусоросжигательным заводам и меньшие – к мусороперерабатывающим заводам.



Такое распределение объясняется, прежде всего, тем, что полигоны занимают значительно большие площади и больше загрязняют окружающую среду. В тоже время можно сделать заключение, что если МСЗ больше, чем МПЗ загрязняют окружающую среду, то экологические ущербы от размещения заводов меньше у МСЗ, чем у МПЗ. Если же рассмотреть и сравнить экологические ущербы для каждого рассматриваемого предприятия, то можно заметить различные величины ущербов. Так, при захоронении ТКО на полигонах экологические ущербы от размещения отходов составят 23,05 млн. руб., от загрязнения воды – 0,596 млн. руб. Больше загрязнение окружающей среде наносит загрязнение воздуха – 2,05 млн. руб. При переработке ТКО на МПЗ большие экологические ущербы составляют ущербы от размещения завода – 0,3 млн. руб. и 0,48 млн. руб. от размещения отходов, подлежащих переработке, меньшие – от загрязнения воздуха от находящихся на хранении ТКО. При переработке ТКО на МСЗ большие экологические ущербы составляют ущербы от загрязнения воздуха при сжигании ТКО – 0,281 млн. руб. и размещения отходов, подлежащих переработке – 0,480 млн. руб., меньшие – от загрязнения воздуха от находящихся на хранении ТКО – 0,042 млн. руб.

Из проведённого анализа экологических ущербов различных технологий по переработке ТКО следует, что главным направлением по повышению экологической безопасности таких систем является, прежде всего, снижение площади, используемой в процессе переработки ТКО, а также повышение эффективности перерабатывающих комплексов. Учитывая, что полигоны занимают большие площади и больше загрязняют окружающую среду, чем заводы, целесообразно, по возможности, резко сокращать количество ТКО, захораниваемых на полигонах. Этого можно добиться, прежде всего, проводя раздельный сбор и сортировку отходов с целью выделения вторичного сырья, а также биологической и горючей фракций. Всё это позволит значительно сократить экологические ущербы за счёт уменьшения площади полигонов и повышения экологичности системы за счёт использования вторичного сырья, компоста и энергии.

#### **Заключение.**

На основании проведённого исследования экологической эффективности различных систем переработки с ТКО можно сделать вывод, что меньшие экологические ущербы имеет система компостирования ТКО на МПЗ, средние – система сжигания ТКО на МПЗ, и большие – система захоронения ТКО на полигонах. Основным фактором, определяющим высокие экологические ущербы, являются занимаемые площади предприятий по переработке ТКО.

Решение этой сложной проблемы для крупных городов возможно при создании системы переработки ТКО, включающей: сортировку ТКО и использование вторичного сырья до 40 – 45%; компостирование ТКО до 20 – 25%; сжигание до 20 – 25%; вывоз на полигоны до 5%.

#### **Литература**

1. Дарулис П.В. Отходы областного города. Сбор и утилизация. Смоленск. 2000. 520 с. ISBN 5-87210-205-4.
2. Систер В.Г. и др. Твёрдые бытовые отходы (сбор, транспортировка, обезвреживание). Справочник. 2001. АКХ. УДК 628. 46/47/49.
3. Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И., Флоринская Т.М. Система обращения с отходами: принципы организации и оценочные критерии. СПб НЦ РАН. НИЦЭБ РАН. 2007. 207 с. ISBN 5-86763-204-0.
4. Кузьмин В. Разговор на чистоту – накопленный экологический ущерб. // Российская газета. 10.06.11. г. Дзержинск.
5. Метод укрупнённой экономической оценки экологического ущерба Комитета Госкомэкологии РФ от 09.03.1998 г.
6. Методика определения предотвращенного экологического ущерба Гос. Комитета РФ по охране окружающей среды от 30.11.1999 г.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОТОКОВ ФОСФОРА В ВОДНОЙ СРЕДЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О.М. Владимирова<sup>1</sup>, Т.Р. Еремина<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.В. Исаев<sup>2</sup>, канд. геогр. наук,  
В.А. Рябченко<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, О.П. Савчук<sup>3,4</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Балтик Нест институт, Центр Балтийского моря Стокгольмского университета, Стокгольм, Швеция

## QUANTITATIVE EVALUATION OF THE PHOSPHORUS FLOWS IN PELAGIC SYSTEM OF THE GULF OF FINLAND BASED ON THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING

O.M. Vladimirova<sup>1</sup>, T.R. Eremina<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.V. Isaev<sup>2</sup>, Cand.Sc., V.A. Ryabchenko<sup>2</sup>, Dr.Sc., O.P.  
Savchuk<sup>3,4</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Baltic Nest Institute, Stockholm University Baltic Sea Centre, Stockholm, Sweden

*В работе представлены результаты количественных оценок потоков фосфора в Финском заливе на основе математического моделирования с использованием модифицированной модели SPBEM-2. На основе данных оценок подтверждена значимость учета растворенной органической формы для азота и фосфора в моделях эвтрофикации для Финского залива и Балтийского моря в целом.*

*The results of phosphorus flows quantitative evaluations for the Gulf of Finland based on mathematical modeling using modified model SPBEM-2 are discussed. There were confirmed the significance of phosphorus and nitrogen dissolved organic forms in eutrophication models for the Gulf of Finland and Baltic Sea.*

Эвтрофикация Финского залива определяется поступлением азота и фосфора непосредственно с водосбора залива, водообменом с Балтийским морем, а также транспортом вещества между различными районами залива, внутренними химическими и биологическими процессами. Хорошо известно, что наряду с минеральными формами азота и фосфора, в водную среду в значительном объеме поступают их органические компоненты [1]. Исследования показали, что растворенное органическое вещество играет значительную роль в функционировании экосистемы Балтийского моря [2]. В существующих моделях экосистемы для Балтийского моря органическое вещество представлено только в виде детрита, что подразумевает использование коэффициента биодоступности для биогенной нагрузки, поступающей с речным стоком. Это приводит к занижению поступающей нагрузки по сравнению с определяемыми ХЕЛКОМ значениями [3]. Поэтому целью данной работы является оценка значимости учета растворенного органического азота и фосфора в моделях эвтрофикации Балтийского моря.

Исследование влияния растворенного органического вещества на процесс эвтрофикации Финского залива проводилось с использованием модифицированной Санкт-Петербургской модели эвтрофикации Балтийского моря (SPBEM-2) [4]. Для достижения поставленных целей была выполнена модификация модели SPBEM за счет включения четырех дополнительных уравнений, описывающих перенос и трансформацию легко окисляемых и стойких форм растворенных азота и фосфора. Подробное описание постановки и задачи и верификация описаны в работе [4]. Моделирование изменчивости характеристик водной среды Финского залива выполнялись для периода с 2009 по 2014 годы. В данной работе будут рассматриваться количественные характеристики потоков фосфора, полученные в результате моделирования.

Баланс фосфора Финского залива представляет собой суперпозицию внутреннего круговорота и обмена через внешние границы. По результатам математического моделирования были рассчитаны годовые потоки фосфора (таблица 1). Анализ таблицы 1 показывает, что

потребление фосфора фитопланктоном варьируется от 63 тыс. тонн до 100 тыс. тонн в год. При этом следует отметить, что суммарное поступление минеральной формы фосфора в акваторию Финского залива превышает создаваемую первичную продукцию на 10000 тонн в год. Объяснение данному наблюдению можно найти, рассмотрев обмен фосфором на жидкой границе (рис. 1). Рисунок 1 показывает, что импорт в акваторию залива происходит в виде быстро окисляемого растворенного органического фосфора (LDOP), который разлагается до минерального фосфора, а экспорт в виде минеральной формы (DIP).

Таблица 1. Годовые потоки фосфора, тонн год<sup>-1</sup>

Год	Потребление P (Vp)	Экскреция DIP	Экскреция LDOP	Минерализация	Выход из донных отложений	Седиментация	Внутриводные процессы DOP (Qi)	Поступление DOP(Qo)	Qo/Qi %	Qo/Vp%
2009	63451	28375	6656	20344	27582	25109	<b>9800</b>	<b>7946</b>	81	13
2010	68839	37417	8777	17914	31919	19951	<b>11663</b>	<b>6453</b>	55	9
2011	100674	61425	14408	25274	25638	22891	<b>18079</b>	<b>7792</b>	43	8
2012	71617	38516	9035	20695	18207	21802	<b>12106</b>	<b>13482</b>	111	19
2013	65931	34133	8006	26220	19771	20194	<b>10968</b>	<b>12233</b>	112	19
2014	73111	39159	9185	21435	17554	21008	<b>12152</b>	<b>6322</b>	52	9

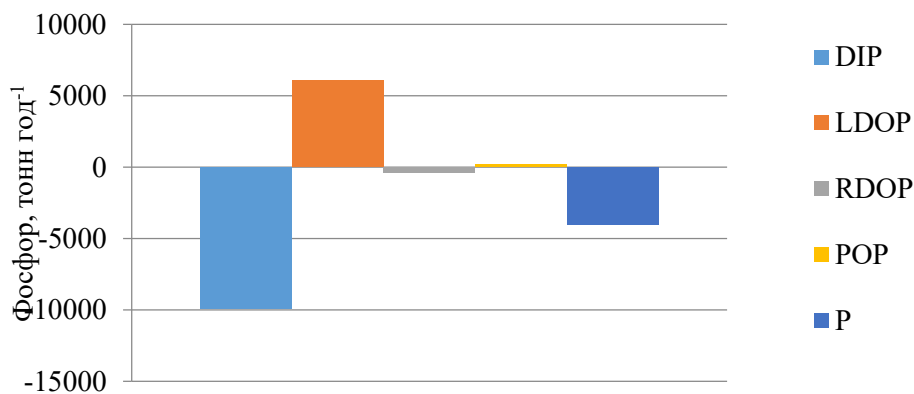


Рис. 1. Потоки органического и неорганического фосфора на жидкой границе в Финском заливе

Таким образом, зная все составляющие баланса фосфора, можно оценить вклад различных источников в формирование первичной продукции. В среднем за период расчета вклад в первичную продукцию различных источников минерального фосфора составляет:

- за счет экскреции минеральной формы фосфора - 48%,
- за счет выхода из донных отложений – 28%,
- за счет внешних нагрузок – 11%,
- за счет обмена на жидкой границе – 9%,
- за счет минерализации автохтонного органического вещества – 4%.

Внутри залива обмен фосфором происходит по большей части за счет поступления из донных отложений и процесса седиментации, в то время как внешняя нагрузка и вынос на границе с Балтийским морем в 4-5 раз меньше (рис. 2, таблица 1). Вклад внутренних процессов в круговорот общего фосфора в заливе составляет от 43 до 112 % в год. В то же время, поступающий извне общий фосфор составляет от 8 до 19% потребляемого фитопланктоном фосфора.

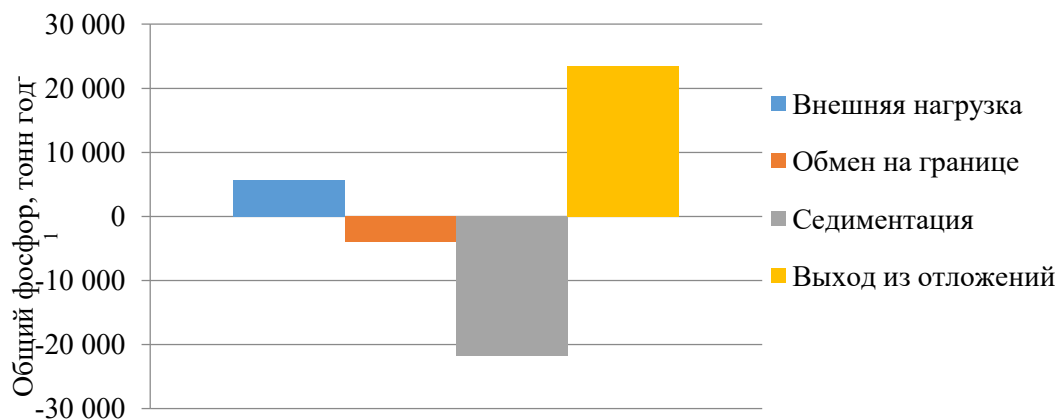


Рис. 2. Среднегодовые значения истоков и стоков фосфора в Финском заливе.

Проведенный анализ потоков фосфора в Финском заливе показывает, что учет в явном виде растворенного органического вещества в моделях эвтрофикации Балтийского моря необходим не только из-за более реалистичного описания внешних нагрузок и их изменений, но и для понимания механизмов обмена различными формами фосфора между суббассейнами Балтийского моря.

### Литература

1. Deutsch, B., Alling, V., Humborg, C., Korth, F., Mörth, C.M. Tracing inputs of terrestrial high molecular weight dissolved organic matter within the Baltic Sea ecosystem // Biogeosciences. 2012. 9. P. 4465–4475.
2. HELCOM. Summary Report on the Development of Revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and Updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan. <http://helcom.fi/Documents/Ministerial2013/Associated%20documents/Supporting> (Accessed on 01.04.2018)
3. Meier et al. 2018. Assessment of scenario simulations for biogeochemical cycles in the Baltic Sea. Frontiers in Marine Sciences (in print).
4. Vladimirova, O.M., Eremina, T.R., Isaev, A.V., Ryabchenko, V.A., Savchuk, O.P. 2018. Modelling dissolved organic nutrients in the Gulf of Finland (in print).

*Авторы О.М. Владимирова и Т.Р. Еремина выполняли данную работу в рамках базовой части государственного задания проект номер N 5.6010.2017/БЧ, А.В. Исаев и В.А. Рябченко в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0014).*

*The authors O.M Vladimirova and T.R. Eremina were supported by Government Target Project N 5.6010.2017/БЧ of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. The authors A.V. Isaev and V.A. Ryabchenko performed this research in the framework of the state assignment of FASO Russia (theme No. 0149-2018-0014).*

## ПРИЛИВНЫЕ И СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ У МЫСА КАМЕННОГО (ОБСКАЯ ГУБА)

Г.Н. Войнов<sup>1,2</sup>, А.А. Пискун<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургское отделение Государственного океанографического института, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## TIDAL AND STORM SURGES LEVELS AT CAPE KAMENNY (GULF OF OB)

G.N. Voinov<sup>1,2</sup>, A.A. Piskun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>St-P. branch State Oceanographic Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic research Institute, St. Petersburg, Russia

*Приведены средние оценки гармонических постоянных приливов за летний период у мыса Каменного, полученные с помощью метода наименьших квадратов. По остаточным рядам (наблюдения минус предвычисления) произведено исследование сгонно-нагонных колебаний уровня моря в отдельные годы.*

*The average estimates of the harmonic constant tides for the summer period (August) at Cape Kamenny obtained by the method of least squares are given. The residual series (observations minus prediction) were used to study the surface-to-surface fluctuations of sea level in some years.*

В XX веке наблюдения за уровнем моря в Обской губе выполнялись в рамках проекта освоения Крайнего севера и обеспечения функционирования Северного морского пути. Была создана сеть стационарных постов, которая действовала до конца 90-х XX века [1]. В этот период проводились комплексные экспедиционные исследования в основном силами ААНИИ, а также Амдерминским управлением гидрометслужбы и другими организациями.

В XXI веке начался новый этап освоения Северного морского пути, связанный с освоением новых месторождений нефти и газа. На м. Каменный построен терминал «Ворота Арктики». Реализуется проект освоения месторождения «Каменномысское-море». В связи с этим возник запрос на гидрометеорологическое обеспечение судоходства, строительство инженерных сооружений в этом районе и разработки локальных технических условий. С 2015 г. в этом районе возобновились экспедиционные исследования и практически круглогодично (с 2016 г.) проводятся наблюдения за уровнем.

В данной работе исследованы особенности режима приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня воды в районе м. Каменный. Сведения о материалах наблюдений за уровнем в районе м. Каменный, использованных в данной работе, даны в таблице 1.

Стационарные уровенные наблюдения на посту Каменный (68° 30' с.ш.; 73° 35' в.д.) начаты в 1952 г. В период с 1952 по 1976 гг. наблюдения велись с большими внутригодовыми и межгодовыми перерывами. Как следствие, полностью не освещены наблюдениями 1957, 1958, 1962–1975 гг. С мая 1994 г. стационарные наблюдения на посту прекращены. До постройки причала (1977 г.) условия наблюдений были плохими из-за мелководья и частых осушек. Поэтому материалы наблюдений за 1952–1961 гг. прошли оценочный контроль, но в дальнейшем не использовались вследствие низкого качества. В материалах за 1977–1994 гг. количество пропусков составило около 5% (без 1994 г.), а количество замен сомнительных измерений достигло почти 37% (без 1994 г.). Однако применение способа калибровки [2] позволило привести эти наблюдения к однородным рядам, что дало возможность их использования для получения достоверных приливных и статистических оценок.

Таблица 1. Сведения об изученности уровней воды в районе м. Каменного

№	Период наблюдений	Дискретность наблюдений, ч; способ измерений
1	07–08.1936	1; Рейка, сваи
2	01.1947–01.1949	1; СУМ
3	04–05.1971	1 ; СУМ
4	03–04.1972	1 ; СУМ
5	1952–56, 1959–61, 1977–94	6; Рейка, сваи

Примечание: СУМ – ежечасные наблюдения по мареографу.

Ранее для расчета приливов на м Каменном использовались константы приливов, данные в справочнике [4], которые были определены методом Дарвина из месячной серии. Более устойчивые и полные результаты получены нами с помощью метода наименьших квадратов, которые даны в таблице 2.

Таблица 2. Результаты анализа наблюдений за приливами на м. Каменный за август.  $H$  – амплитуда, см;  $g$  – угол положения, град, с.к.о. – значения среднего квадратического отклонения (векторного). Средние векторные оценки рассчитаны по результатам анализа ежечасных месячных серий за 1936, 1947, 1948 гг. Углы положений приведены к 0 поясу.

Сравнение данных табл. 2 с новыми результатами анализа месячной серии наблюдений за уровнем за август 2017 г. (экспедиция ААНИИ) не выявило значимых различий между гармоническими постоянными основных волн прилива.

Согласно полученным нами в целом данным, прилив в районе м. Каменный носит правильный полусуточный характер в течение всего годового цикла (критерий Куртье равен 0,18–0,21). Заметно влияние мелководных волн, приводящее к различию во времени роста и падения прилива. Крайне сильно выражен сезонный ход прилива в годовом цикле [5]. В годовом цикле амплитуда волны  $M_2$  в январе-мае почти в 4 раза меньше, чем августе-сентябре. Амплитуда мелководной волны  $M_4$  в августе равна 2,6 см, а в апреле уменьшается до 0,3 см. Поэтому расчет приливных колебаний уровня производится по средним месячным оценкам констант прилива.

В 2016 г. был обнаружен факт аномальной сезонной изменчивости прилива на м. Каменном, вызванный аномальным развитием заприпайной полыньи. В связи с этим расчет кривой прилива в таких случаях производится по специальной схеме, отличной от стандартного способа расчета.

Данные, полученные Северной проектно-изыскательской экспедицией (СПИЭ) за 1947–1948 гг. [1], показывают, что наибольшие сгоны наблюдались в осенний период, когда над акваторией губы преобладали сильные и продолжительные ветры южной четверти. Самые низкие уровни при сгонах наблюдались в ноябре 1947 г. и октябре 1948 г.

Наибольшая продолжительность стояния уровня ниже нуля изысканий для одного случая в безледный период составила 145 часов. Низший наблюденный уровень безледного периода 23.10.1948 г. (–140 см) держался четыре часа. Отметим, что остаточный (чисто сгонный) уровень в этот период, вычисленный в ААНИИ [2], изменялся от –132 до –130 см.

Наибольшая длительность одного случая стояния уровня ниже нуля изысканий в период ледостава составила 323 часа. Низший сгонный уровень (–182 см) при ледоставе 16.11.1947 г. держался 1 час. При этом остаточный уровень был равен –184 см.

Нагонные уровни в 1947–1948 гг. наблюдались при продолжительном ветре северной четверти. Самый высокий подъём уровня составил 160 см над нулём изысканий. Он наблюдался в августе 1948 г. [1].

Аналізу сгонов-нагонов за 1977–1994 гг. предшествовало приведение уровней стационарной сети постов к единой плоскости отсчёта –5,00 м в БС-77 [3, 4]. Были введены поправки в уровни и, таким образом, был получен однородный в высотном отношении ряд за 1977–1994 гг., пригодный для дальнейшей обработки и получения сравнимых характеристик сгонов-нагонов.

Для анализа непериодических колебаний уровня за 1977–1994 гг. уровни были обработаны по методике [2], в результате чего получены откорректированные остаточные ряды 4-срочных данных за указанный период.

Волна	Угловая корость, град/час	$H$	$\pm$ с.к.о.	$g$	$\pm$ с.к.о.
$Q_1$	13,398661	1,24	1,09	178	50
$O_1$	13,943035	1,49	0,92	267	35
$M_1$	14,492052	0,17	0,13	304	25
$P_1$	14,958931	1,03	0,24	90	13
$K_1$	15,041068	3,12	0,73	90	13
$J_1$	15,585443	0,48	0,48	355	45
$MNS_2$	27,423834	0,57	0,36	296	29
$\square_2$	27,968208	0,95	0,90	12	27
$N_2$	28,439729	2,67	0,33	287	7
$\square_2$	28,512583	0,51	0,06	287	7
$M_2$	28,984104	19,56	1,46	312	4
$L_2$	29,528479	1,14	0,46	272	23
$T_2$	29,958933	0,38	0,04	37	6
$S_2$	30,000000	6,55	0,71	37	6
$K_2$	30,041067	1,78	0,19	37	6
$2SM_2$	31,015896	1,05	0,72	320	62
$MO_3$	42,927140	0,33	0,20	112	34
$M_3$	43,476156	0,23	0,16	185	22
$MK_3$	44,025173	0,41	0,15	278	20
$MN_4$	57,423834	0,99	0,24	137	14
$M_4$	57,968208	2,58	0,40	171	9
$MS_4$	58,984104	1,98	0,22	283	10
$S_4$	60,000000	0,78	0,24	107	18
$M_6$	86,952313	0,68	0,19	22	15
$2MS_6$	87,968208	0,66	0,24	114	21
$2SM_6$	88,984104	0,24	0,21	316	50
$M_8$	115,936417	0,19	0,09	277	26

Примечание. Приведены волны с амплитудой, превышающей 1 с.к.о. в данной частотной полосе прилива. Волны  $P_1$ ,  $K_2$ ,  $N_2$  даны во 2-м приближении по известным теоретическим соотношениям.

По этим рядам рассчитана обеспеченность суммарных и остаточных уровней. По кривой обеспеченности остаточных уровней получены значения уровня 5% и 95% обеспеченности, которые, по аналогии, принятой при обработке данных за 1947–1949 гг. [1], использовались для выделения наиболее существенных нагонов и сгонов. При этом учитывались нагоны, при которых остаточный уровень превышал 5% обеспеченность (528 см над нулём поста). Для характеристики сгонов учитывались остаточные уровни ниже 95% обеспеченности (439 см). Использование обеспеченных уровней в качестве отсчётных критериев для сгонов-нагонов позволяет получить абсолютные и, следовательно, сравнимые характеристики неперiodических колебаний по длинному однородному ряду остаточного уровня. Тогда как применение для этих

целей среднемесячных значений даёт относительные характеристики. Как было установлено, в некоторых случаях возникает ситуация, когда по превышению над среднемесячным (фоновым) уровнем нагон можно отнести к существенному, но из-за низкого фонового уровня он едва превышает уровень 5% обеспеченности.

Анализ 4-срочных данных по нагонам за период 1977–1994 гг. показал, что количество нагонов выше 5% обеспеченности в среднем составляет 6,5 при максимальном значении 16 (1988 г.). В 1986 и в период действия поста в 1994 г. уровни выше значений 5% обеспеченности не поднимались. Средняя продолжительность стояния нагонного уровня над уровнем 5% обеспеченности оказалась равной 8,4 сут., максимальная – 61,8 сут. (1979 г.). Превышение максимального нагонного уровня над уровнем 5% в среднем равно 66 см, наибольшим составило 132 см (1985 г.).

Характеристики сгонов, полученные по остаточным рядам 4-срочных данных, оказались следующими. Количество сгонов с уровнями ниже 95% обеспеченности в среднем составило 7 при наибольшем значении 30 (1986 г.). Продолжительность минимального сгонного уровня ниже 95% в среднем равна 6 сут, наибольшее значение составило 27,5 сут. (1978 г.). Среднее превышение минимального уровня над уровнем 95% равно –38 см, наибольшее – –72 см (1986).

Подчеркнем, что полученные по 4-срочным данным характеристики сгонов-нагонов не отражают полную картину непериодических колебаний уровня, а могут служить лишь в качестве оценочных критериев. Достоверные характеристики можно получить только по данным ежечасных наблюдений [6].

### Литература

1. Изыскания морского порта в Обской губе 1947–1949 гг. Том IV Гидрологический режим. Начальник «Арктикпроекта» Главсевморпути Кабуковский. Начальник СПИЭ Кузьмин Т.П. Москва 1949. –180 с.
2. 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.
3. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек за 1977–1986 гг. Часть 2. Том 4. Л.: Гидрометеоздат, 1979–1989.
4. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1952. Т. 42. Вып. VII. Карское море. 536 с.
5. 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.
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. №4 (114). 2017. – С. 23–36.

*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.*



## ОСОБЕННОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ С ПОВЕРХНОСТИ КОНЕЧНОГО ОБЪЕМА ВОДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПЛАВУЧЕСТЬЮ

А.А. Волкова<sup>1</sup>, В.А. Гриценко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## FEATURES OF NEAR SURFACE CIRCULATION WHEN SUBMITTING FROM THE SURFACE OF THE FINAL VOLUME OF WATER WITH NEGATIVE FLOATING

A.A. Volkova<sup>1</sup>, V.A. Gritsenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Science, Moscow, Russia

*Изучение динамики приповерхностного слоя воды при погружении с поверхности термика с отрицательной плавучестью выполнено при помощи лабораторных и численных экспериментов. Показана вихревая структура возникающего при этом короткоживущего течения. В проведенных лабораторных и численных экспериментах получены все ранее отмечаемые в исследованиях фазы.*

*The study of the dynamics of the near-surface layer of water during immersion from the surface of a thermic with a negative buoyancy was performed using laboratory and numerical experiments. The vortex structure of the resulting short-lived flow is shown. In the laboratory and numerical experiments conducted, all phases previously observed in research were obtained.*

Задача о конвективных процессах в приповерхностных слоях воды в период осенне-зимнего выхолаживания хорошо известна [1-3]. Многие теоретические и экспериментальные результаты были получены достаточно давно [4,5]. Однако значимость конвективных процессов в изменчивости вертикальной термической структуры моря поддерживает интерес к данному классу задач [6]. Целью данной работы стало описание мелкомасштабных особенностей процессов, происходящих в приповерхностном слое пресной воды при погружении в нее с поверхности конечного объема воды с отрицательной плавучестью.

### Лоток.

Для лучшего понимания особенностей изучаемого класса течений и необходимых требований к численному моделированию была выполнена серия лабораторных экспериментов. Стекланный гидрлоток имеет размеры 60 x 80 x 12.5 см. На поверхность пресной воды различным способом подавались объемы соленой воды в 1-2 мл. Перепад плотности между пресной и соленой водами был минимальным ~ 10<sup>-4</sup>-5<sup>-5</sup>. Подсветка выполнялась светодиодными лампами.

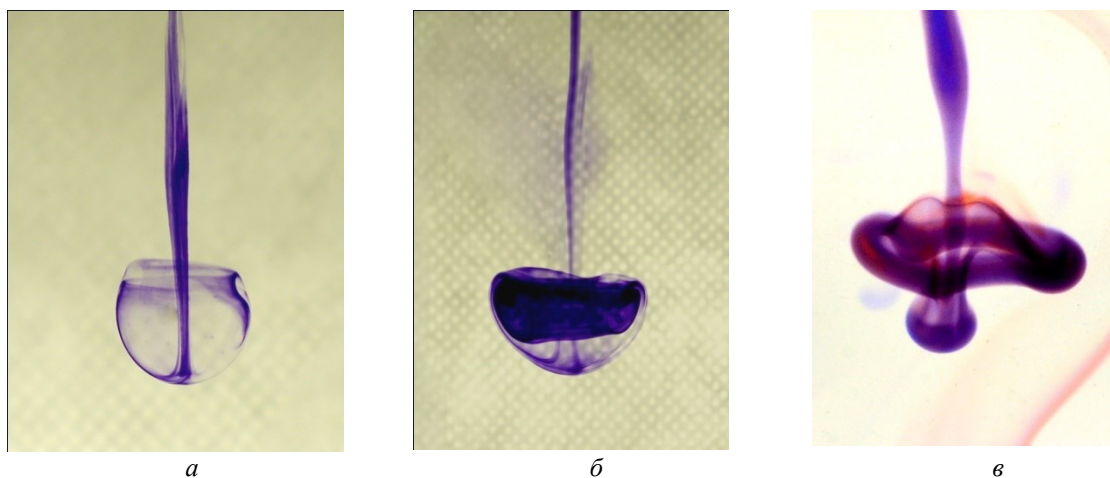


Рис. 1. Типичный вид некоторых фаз погружения с поверхности соленой воды.

Количественные оценки течений в лотке не проводились. Однако в процессе экспериментов удалось получить все ранее наблюдаемые фазы трансформации первоначального пятна соленой воды в объем грибовидной формы с тонкой длинной ножкой, затем фазу неустойчивости и последующего формирования вихревого кольца. Все эти формы отмечались в ранее выполненных лабораторных экспериментах.

#### Модель.

Исходя из очевидно вихревого характера неоднородных по плотности течений (см. рис. 1) для моделирования процесса погружения с поверхности малого объема воды с отрицательной плавучестью была использована адекватная этим требованиям нелинейная двумерная модель [7]. Незначительные скорости погружения соленой воды позволили предположить слаботурбулентный характер перемешивания, который был учтен при помощи простой схемы эффективной вязкости [7]. Система уравнений модели, кроме традиционных уравнений для завихренности, избыточной плотности и функции тока, включила в себя еще два уравнения для трассеров, позволивших визуализировать перемещения выделенных по смыслу задачи объемов воды: В начальный момент времени пресная вода в модельном пространстве предполагалась неподвижной. Отрицательная плавучесть пятна в расчетах обеспечивалась «добавкой» соли. Геометрически пятно соленой воды задавалось в виде горизонтально протяженного прямоугольника размерами 31 x 16 узлов расчетной сетки. Все модельные поля задавались на сетке размерностью 601 x 801.

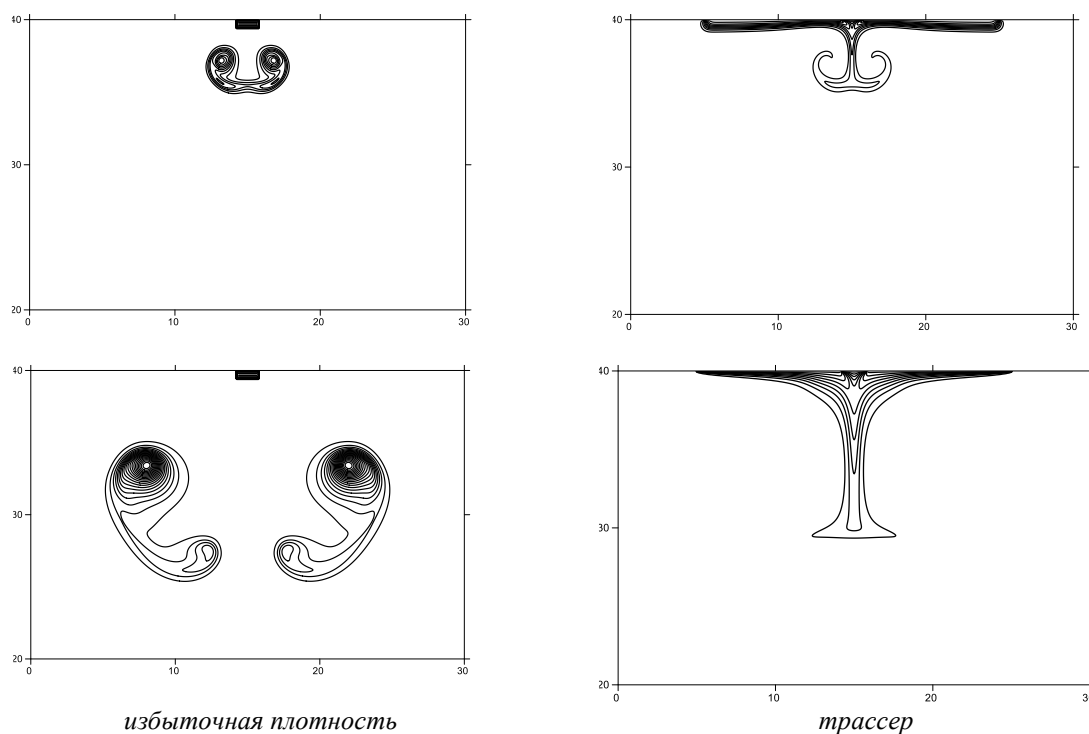


Рис. 2. Близкие к начальной (верхний ряд графиков) и финальной (нижний ряд графиков) фазы расчетного течения, порожденного при погружении с поверхности конечного объема соленой

воды: левый ряд изображений – избыточная безразмерная плотность воды  $(\rho - \Delta\rho_0) / \Delta\rho_0$ , правый – трассера приповерхностного слоя воды. Характерные масштабы течения:  $u_0 = 2$  см/с,  $h_0 = 8$  см,  $\Delta\rho_0 = 0.0005$  г/см<sup>3</sup>. Черный прямоугольник у верхней границы на графиках левого ряда обозначает начальное положение пятна соленой воды в модельном пространстве.

#### Расчеты.

При проведении численных экспериментов величины характерных масштабов были следующими:  $h_0 = 1-10$  см,  $\Delta\rho_0 = 0.00025-0.001$  г/см<sup>3</sup>,  $u_0 = 1-3$  см/с. Величина эффективной вязкости составляла  $\nu_{эф} = 0.1-0.3$  см<sup>2</sup>/с [1,4,6]. На рис. 2 приведён типичный вид распределений

плотности и трассера приповерхностных вод двух последовательных фаз модельного течения, иллюстрирующих процесс погружения конечного объема воды с отрицательной плавучестью. На рисунке приводится только верхняя половина модельного пространства, в котором сосредоточены детали течения.

Отметим, что общая картина эволюции основных расчётных полей вполне соответствует имеющимся представлениям о конвективных процессах в приповерхностном слое воды [1,4-6]. Визуально картина течения качественно близка к обычно наблюдаемым особенностям течений в такого рода ситуациях [8]. Отсутствие длинной тонкой ножки в поле плотности на первой фазе погружения пятна соленой воды с поверхности объясняется спецификой задания поля солёности воды в расчетах – ненулевая солёность задавалась на первом расчетном слое под поверхностью воды, т.е. на предпоследнем, внутреннем слое расчетной сетки. Это позволило не заниматься конструированием расчетного условия для солёности на верхней границе модельного пространства. Полученные в расчетах распределения избыточной плотности (солёности), собственно и определяющей отрицательную плавучесть воды, удовлетворительно воспроизвели, на качественном уровне, все наблюдаемые этапы поведения пятна соленой воды в лабораторных экспериментах.

Полученные в расчетах распределения функции тока и завихренности (см. рис. 3) обнаруживают отчетливо вихревой характер течения, хорошо заметный и лабораторных экспериментах (см. рис. 1).

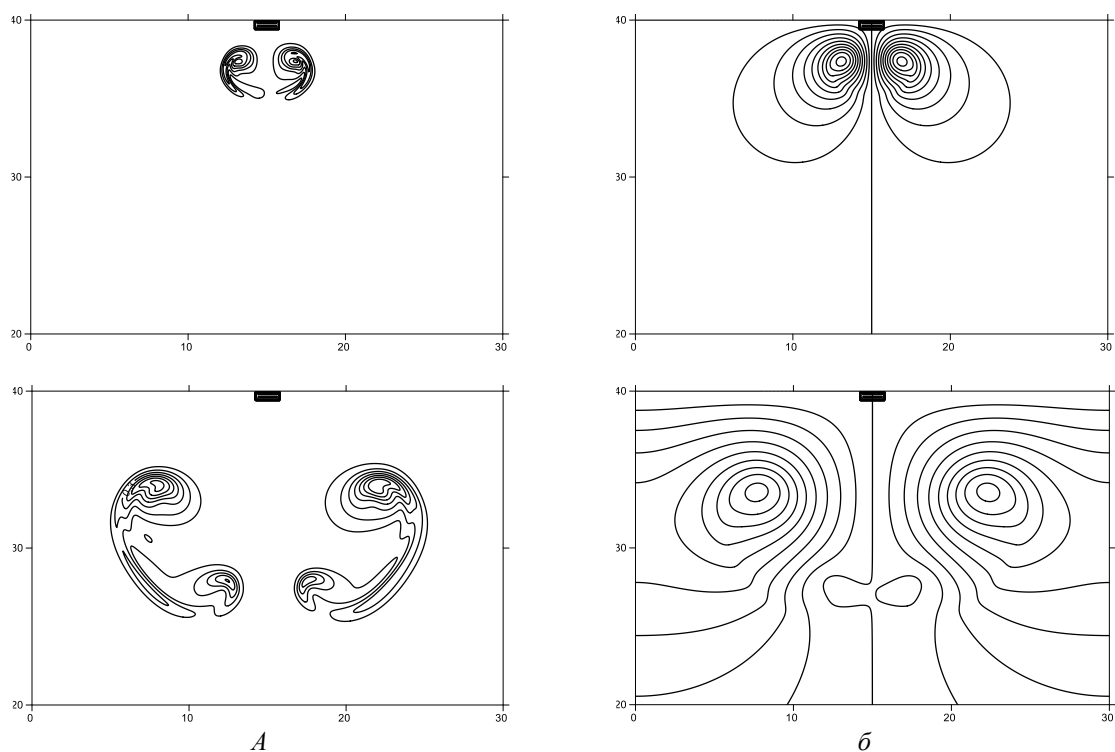


Рис. 3. Распределения функции тока (а) и завихренности (б) для тех же моментов времени выше описываемого расчетного течения. Черный прямоугольник у верхней границы обозначает начальное положение пятна соленой воды.

Полученные графики распределений завихренности и функции тока хорошо иллюстрируют динамическую природу процесса «распада» вихревого кольца, обусловленного, по-видимому, взаимодействием сил плавучести и вязких на фоне смешения соленых и пресных вод. Анализ всей совокупности расчетных течений показал устойчивый характер геометрии исследуемого типа приповерхностных течений неоднородной по плотности воды. В дальнейшем предполагается выполнить необходимые количественные оценки глубины погружения соленых вод и объемов вовлекаемых с поверхности пресных вод в зависимости от значений характерных параметров задачи.

### **Выводы.**

При помощи качественных лабораторных экспериментов и расчетов на нелинейной численной 2d-модели выполнено исследование особенностей динамики приповерхностного слоя воды, возникающей при погружении с поверхности конечного объема воды с отрицательной плавучестью. Анализ полей расчетных течений показал появление короткоживущего вихревого течения, локализованного в приповерхностном слое воды и порождающего погружение некоторого объема поверхностных вод. Характерный масштаб вертикального движения определяется величиной отрицательно плавучести и толщиной приповерхностного слоя вод с отрицательной плавучестью. Использование двух трассеров для идентификации соленых вод пятна и части пресных вод из приповерхностного слоя позволило визуализировать факт вовлечение в движение пресных вод и их погружение с поверхности.

### **Литература**

1. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. М.МИР. 1977. 431 с.
2. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. М.: МИР. 1980. 549 с.
3. Монин А.С., Красицкий В.П. Явления на поверхности океана. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 376с.
4. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Непомнящий А.А. Устойчивость конвективных течений. М.: Наука, 1989. 492 с.
5. Мелешко В.В., Константинов М.Ю. Динамика вихревых структур. Киев: Наукова Думка. 1993. 279 с.
6. Чубаренко И.П. Горизонтальный конвективный водообмен над подводными склонами. Калининград: Терра Балтика. 2010. 256 с.
7. Гриценко В.А., Юрова А.А. О распространении придонного гравитационного течения по крутому склону дна // Океанология. 1997. Т. 37. № 1. С. 44–49.
8. Альбом течений жидкости газа / Сост М.Ван-Дайк. М.:МИР. 1986. 184 с.

*Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта 17-05-41029 РФФИ-РГО\_a (модельные расчеты) и в рамках выполнения государственного задания ФАНО России, тема № 0149-2018-0012 (лабораторные эксперименты).*

*This work was supported by grant 17-05-41029 of the Russian Foundation for Basic Research (RFI) -RGO\_a (model calculations) and in the framework of the state assignment of the FANO of Russia, topic No. 0149-2018-0012 (laboratory experiments).*

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕДОВОГО ОСТРОВА

К.С. Воскресенский<sup>1</sup>, Ю.П. Гудошников<sup>1</sup>, О.М. Андреев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## ESTIMATION OF THE LIFETIME OF THE ARTIFICIAL ICE ISLAND

K.S. Voskresenskii<sup>1</sup>, Y.P. Gudoshnikov<sup>1</sup>, O.M. Andreev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic research institute, St. Petersburg, Russia

*Доклад посвящен определению и оценке факторов, влияющих на продолжительность жизненного цикла искусственного ледового острова с момента его строительства до полного разрушения.*

*The report is devoted to the identification and assessment of factors affecting the lifetime of an artificial ice island from the time of its construction until complete destruction.*

Освоение полезных ископаемых в мелководной части арктического шельфа России затруднено как климатическими факторами, так и слаборазвитой инфраструктурой регионов. Поэтому на мелководных акваториях в связи с ограниченным сроком летней навигации имеет смысл в качестве опорного основания для поисково-разведочного бурения использовать ледовые острова, образуемые путем послойного утолщения естественного ледового покрова до толщины, достаточной, чтобы выдержать вес технологического оборудования.

По способу удержания ледовые острова подразделяются на:

- плавучие;
- опирающиеся на грунт.

Использование льда в качестве вспомогательного материала для нужд морской разведки нефти и газа началось в 1973 году на разведочной скважине Неcla в канадском секторе Арктики. Плавучий ледовый остров был создан на основе припайного льда путем послойного налива морской воды. В период с 1973 по 1986 год в канадском секторе Арктики было успешно пробурено 38 скважин с плавучих ледовых островов на глубинах до 500 м [1].

Брызговой лед начал использоваться для строительства плавучих ледовых островов в 1984-85 г. на острове Cape Alison и в 1985-86 г. на острове North Cornwall (рис. 1.) [1].

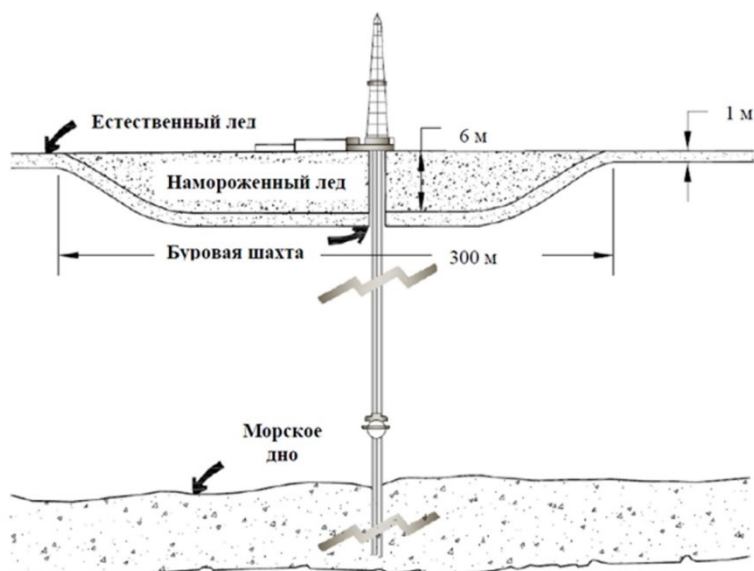


Рис. 1. Схема плавучего ледового острова Cape Alison.

В российской практике можно отметить использование схожих технологий:

- полярные станции «Северный полюс»;
- ледовые дамбы для отстоя судов в зимний период;

- ледовые дороги и выгрузки на припай;
- ледовые мосты через сибирские реки (к примеру – переправа через р. Амур в 1930-40 гг.);
- ледовые причалы (м. Шмидта).

Однако при наличии многочисленных результатов исследований ледовые острова не нашли применения в нефтегазовой отрасли.

Последний эксперимент по строительству ледового острова для целей поисково-разведочного бурения проводился в районе мыса Харасавэй в начале 1981-83 гг. [2].

Ледовые острова обладают рядом преимуществ по сравнению с искусственными гравийными островами, особенно в отношении экологических и экономических аспектов. Главным преимуществом является использование морской воды как основного конструкционного материала, её доступность в неограниченном количестве. Ликвидация гравийного острова зачастую обходится дороже, чем его строительство. В свою очередь ликвидация ледового острова происходит естественным путем и оказывает меньшее негативное влияние на окружающую среду при учете попадания в акваторию регламентированного предельного количества механических добавок, использованных при строительстве [3].

Несмотря на значительные преимущества, использование ледовых островов ограничивается малыми глубинами и зимним периодом работ, скорости намораживания ограничиваются условиями окружающей среды. В основном, продолжительность жизненного цикла ледового острова ограничивается одним сезоном.

Целью данного исследования является выявление групп факторов, влияющих на продолжительность жизненного цикла ледового острова, выявление их взаимосвязей.

Жизненный цикл ледового острова можно разделить на следующие этапы:

- Строительство ледяного массива на припайном льду;
- Эксплуатация;
- Ликвидация острова.

На протяжении всего жизненного цикла на ледовый остров влияют такие климатические факторы, как термическое и радиационное разрушение [4], волновая, ветровая эрозия, воздействие дрейфующих полей, колебания уровня воды, вызванные приливно-отливными и стонно-нагонными явлениями, придонные течения [5].

На этапе строительства наиболее важным является выбор технологии намораживания, от которой зависит продолжительность строительства, физико-механические свойства искусственного льда [6,7]. Необходимы расчет поперечной устойчивости сдвигу, сопротивления всплытию, поперечным нагрузкам от дрейфующих полей, расчет несущей способности ядра острова, расчет физико-механических свойств искусственного льда выше и ниже ватерлинии [8,9,10].

Технологии создания ледяного массива: [1,8,9,10,11,14]

- метод послойного намораживания;
- метод распыления;
- блочный метод;
- метод объемного намораживания;
- комбинированный метод.

В процессе эксплуатации бурового оборудования следует учитывать тепловое влияние и вибрацию буровой шахты на ядро острова [1,8,10].

На этапе демонтажа технологического оборудования следует учитывать снижение прочности, трещинообразование, усталость [1,8,10].

К дополнительным способам увеличения срока службы ледового острова следует отнести армирование, гидро- и теплоизоляцию, создание ледозащитных сооружений, защиту основания острова от размыва грунта.

Армирование ледяного массива позволяет повысить его прочностные характеристики путем добавления механических добавок в процессе намораживания. Таким образом, создается искусственный ледяной композитный материал. В качестве добавок используются песок, древесные опилки и стружки, бумага, синтетические волокна и другие материалы. Армирование также выполняется путем вмораживания секций стальных, капроновых или пеньковых канатов [9].

Гидро- и теплоизоляция по верхней и боковым поверхностям ледяного массива снижает воздействие термического разрушения и волновой эрозии [9]. Для бурения скважины необходимо тщательно проанализировать перенос тепла на лед во время бурения. Невнимание к этому вопросу раньше приводило к значительному таянию льда под буровой установкой и почти к полной потере устойчивости. Изолирование (пассивное или активное) должно применяться в случае, если длительность буровой программы больше недели. Пассивные системы используют изоляцию, а активные системы используют раствор соли, постоянно нагнетающийся через отверстие между обсадной трубой и технической колонной [10].

На акваториях с тяжелой ледовой обстановкой для предотвращения навалов льда на вспомогательную площадку острова, а также для сохранения целостности кромки применяется создание ледозащитных сооружений по периметру острова. Также производится защита основания острова от размыва грунта. [10]

Снижение продолжительности строительства возможно достичь при вмораживании блоков полиуретановой пены, обладающей низкой плотностью. Такая мера позволяет существенно снизить объем намороженного льда [1].

#### **Заключение.**

Искусственные ледовые острова применяются в нефтегазовой отрасли с 1970х г. для проведения поисково-разведочного бурения на мелководных акваториях замерзающих морей. Они имеют несколько очевидных преимуществ по сравнению с альтернативными видами арктических буровых платформ.

На продолжительность жизненного цикла ледового острова влияет множество природных и антропогенных факторов, комплексно изучив которые, уже на этапе проектирования возможно заложить ряд мер, защищающих сооружение различными способами от тех или иных негативных факторов, что позволит увеличить долговечность острова на более чем один сезон.

#### **Литература**

1. Ice Island Study. Final Report. MMS Project #468. Canada.:2005.
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. Гидрометеиздат.: СПб.:2001.
3. Мирзоев Д.А. Гидротехнические сооружения для освоения нефтегазовых ресурсов мелководного шельфа замерзающих морей: М.:1995.
4. Лебедев Г.А., Сухоруков К.К., Ковалев С.М. Термическое разрушение морского льда. СПб.: Гидрометеиздат, 2003.
5. Изученность гидрометеорологических и ледовых условий шельфа юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского морей. Том 444. Под ред. д-ра геогр. наук Зубакина Г.К. Гидрометеиздат.: СПб.: 2001.
6. Гаврило В.П., Ковалев С.М., Недошивин О.А. Расчетные среднесезонные характеристики механических свойств однолетнего льда Баренцева и Карского морей.
7. Доронин Ю.П., Хейсин Д.Е. Морской лед,- Л.: Гидрометеиздат, 1975. 320 с.
8. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения
9. РД 31.31.52-89. Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации ледяных причальных сооружений. Л.:1989.
10. ГОСТ Р ИСО 19906. Нефтяная и газовая промышленность. сооружения арктического шельфа. М.:2011.
11. Макеенко В.И. Серебрякова А.А. Шибакин С.И. Ледяные острова, как основания для бурения разведочных скважин в мелководной зоне северных морей // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. «Лед 87». Л. Энергоатомиздат. 1989. стр. 197-199
12. Симаков, Г.В., Шхинек, К.Н., Смелов, В.А. Морские Гидротехнические Сооружения на континентальном шельфе Ленинград.:1989.
13. Степанюк И.А. Технологии испытаний и моделирования морского льда. Гидрометеиздат.: СПб.:2001.
14. Умеренное намораживание льда методом дальнеструйного дождевания (временная инструкция) Якутск.:1982.

## МЕЖГОДОВОЕ КОЛЕБАНИЕ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО РЕЧНОГО СТОКА ВЕРХОВЬЯ Р. УФА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А.И. Второва<sup>1</sup>, Н.В. Мякишева<sup>2</sup>, д-р г-ф. наук, А.А. Горбатенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## THE INTERANNUAL FLUCTUATION OF THE REGULATED RIVER FLOW OF THE UPPER REACHES OF THE RIVER UFA IN MODERN CONDITIONS

A.I. Vtorova<sup>1</sup>, N.V. Myakisheva<sup>2</sup>, Dr.Sc., G. N. Gorbatenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup>Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Проведен вероятностный анализ межгодовой изменчивости зарегулированного речного стока верховья р. Уфа с применением теории случайных процессов. Результаты анализа обобщены в терминах вероятностной модели. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений.*

*The probabilistic analysis of interannual variability of regulated river flow in the upper reaches of the Ufa river using the theory of random processes is carried out. The results of the analysis are generalized in terms of the probabilistic model. The regulatory capacity of the catchment area and man-made structures is estimated*

### **Введение.**

Интенсивное развитие экономики и роста городов напрямую зависит от увеличения потребления водных ресурсов. Для зарегулированных верховьев рек изменение режима водных объектов в современных условиях является закономерностью. Также наблюдается изменение климатических условий – факторов формирования гидрологического режима. Выявление его особенностей с учетом изменений климата и определение характерных отличий, возникших при антропогенном вмешательстве, в данных условиях особенно актуально.

### **Материалы и методы.**

Речной сток рассматривался как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующих многолетним и внутригодовым колебаниям.

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для всех месяцев года, которые рассматривались как случайные процессы. Привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [7].

В работе использовались ряды среднемесячных и среднегодовых расходов воды по данным наблюдения на гидропосту Росгидромета: р. Уфа-г. Нязепетровск за период с 1929 – 2017 гг. [1-5]. База данных о среднемесячных и среднегодовых расходах воды (притоки) к водохранилищам: Нязепетровское и Долгобродское была сформирована из информационного ресурса АИС ГМВО (автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов).

Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и среднемесячной и среднегодовой температуре воздуха по наблюдениям на метеостанции Нязепетровск, за период с 1926– 2006 гг. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеоиздат, «НЕДРА» и информационного ресурса meteo.ru.

### **Многолетние колебания водности реки.**

Река Уфа является одной из крупных рек Среднего и Южного Урала. В границах Челябинской области верховье реки Уфа зарегулировано водохранилищами. Долгобродское водохранилище расположено на 864 км от ее устья. Ведено в эксплуатацию в 1990 г., с объемом при нормальном подпорном уровне ( $W_{\text{НПУ}} - 333 \text{ млн. м}^3$ ). Коэффициент регулирования стока в год 95 % – 0,84. Нязепетровское водохранилище расположено на 792 км от ее устья. Ведено в



эксплуатацию 1979 г., с ( $W_{\text{НПУ}} - 153,44 \text{ млн.м}^3$ ). Коэффициент регулирования стока в год 95 % – 0,51.

Долгобродское водохранилище предназначено для переброски части стока р. Уфа в реку Миасс посредством насосной станции в Кыштымское водохранилище для восполнения дефицита в водохозяйственном балансе г. Челябинска и Челябинского промрайона.

Нязепетровское водохранилище предназначено для обеспечения объектов экономики в водоснабжении Свердловского промрайона, а также городов Нязепетровска и Верхнего Уфалея Челябинской области. Нязепетровское водохранилище является нижним в каскаде с Долгобродским на р. Уфе.

Увязка водохозяйственного баланса с различными режимами работы водохранилищ, включая Челябинскую водохозяйственную систему (Долгобродское, Кыштымское и Аргазинское водохранилища), не производилась.

По характеру питания р. Уфа относится к смешанному типу с преобладанием снегового питания. Водный режим реки характеризуется высоким весенним половодьем, неустойчивой летне-осенней и устойчивой зимней меженью.

Для оценки водности рек производился расчет квантилей: каждый временной ряд рассматривался как реализация случайного процесса  $x(t)$ , за основную вероятностную характеристику которого принималась функция распределения  $F(x_p)$  и ее квантили  $X_p$ . На основе пяти квантилей  $X_{\min}$ ,  $X_{0.25}$ ,  $X_{0.5}$ ,  $X_{0.75}$ ,  $X_{\max}$  оценивались  $R$  – размах,  $Q$  – интерквантильное расстояние,  $T^*$  - трехсреднее значение, а также  $X_B$  и  $X_H$  – верхняя и нижняя границы распределения данных в ряду.

Результаты квантильного анализа позволили определить, что многоводные и маловодные года в период с 1929 по 2017 гг. группируются в фазы водности продолжительностью 3-4 года. Многоводные и маловодные периоды составляют от 19 до 33 лет. В последние 10 лет наблюдается асинхронность колебаний: высокая водность сопровождается периодом низкой водности на реке до и после каскада водохранилищ многолетнего регулирования (рис. 1).

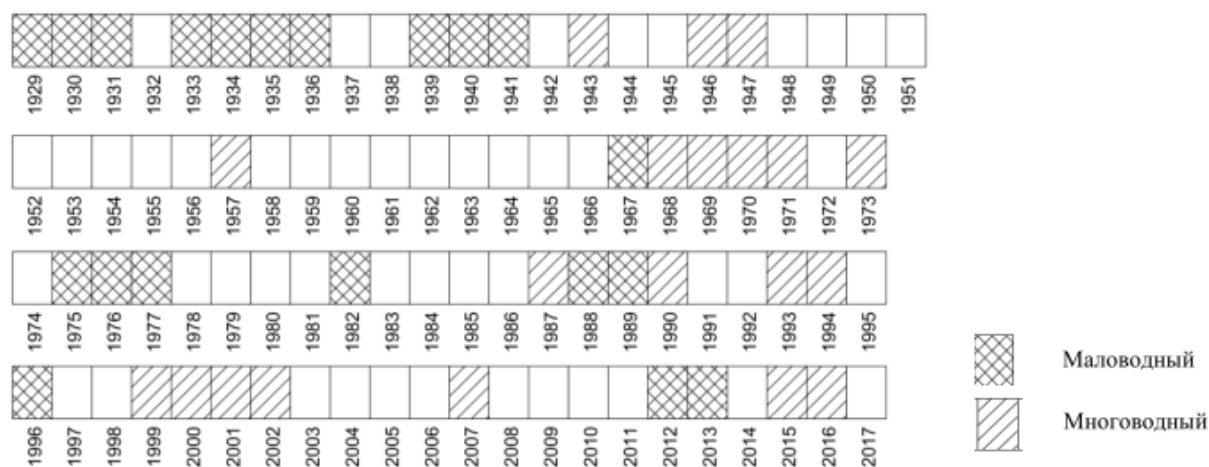


Рис. 1. Матрица водности в пункте после каскада водохранилищ р. Уфа – г. Нязепетровск

Для определения тенденции или тренда повышения или понижения значений временных рядов использовалась цифровая тангенсная низкочастотная фильтрация Баттерворта. Для расходов воды в пункте г/п после каскада водохранилищ характерен тренд на увеличение стока, который согласуется с трендом сумм осадков. Также согласуются квазициклы, которые выделяются низкочастотной фильтрацией. При детальном анализе выявлено, что проследить тенденцию к увеличению стока на г/п не представляется возможным, по причине глубокой зарегулированности реки. Тенденция по увеличению стока на г/п свойственна периоду с августа по декабрь, для осадков данный тренд прослеживается в эти же месяцы.

При анализе притоков воды к Долгобродскому водохранилищу выявлен значимый тренд на снижение стока. При детальном анализе выявлено, что тенденция снижения стока от года к году

наблюдается в период с мая по сентябрь. Однако квазициклы при анализе притоков воды к Нязепетровскому водохранилищу согласуются с квазициклами притоков к Долгобродскому водохранилищу. Их продолжительность составляет 10-12 лет и они проявляются как периоды локальной нестационарности - повышения и понижения расходов воды в течение 5-6 лет и обусловлено колебаниями сумм осадков. Для температуры воздуха теплого и холодного периодов характерен тренд на повышение. Тренд температуры воздуха на повышение имеет обратный тренду слоя стока ход, что логично: чем выше температура, тем больше испарение и меньше доля стока. Тренд снижения стока главным образом сформирован в рядах ежегодных данных за март и июль.

Фактором, формирующим квазицикличность процессов, являются атмосферные осадки. Внутригодовое распределение характеристик отражает свойства рек восточно-европейского типа.

Реализация рассматриваемых гидрометеорологических характеристик представлены на рис. 2.

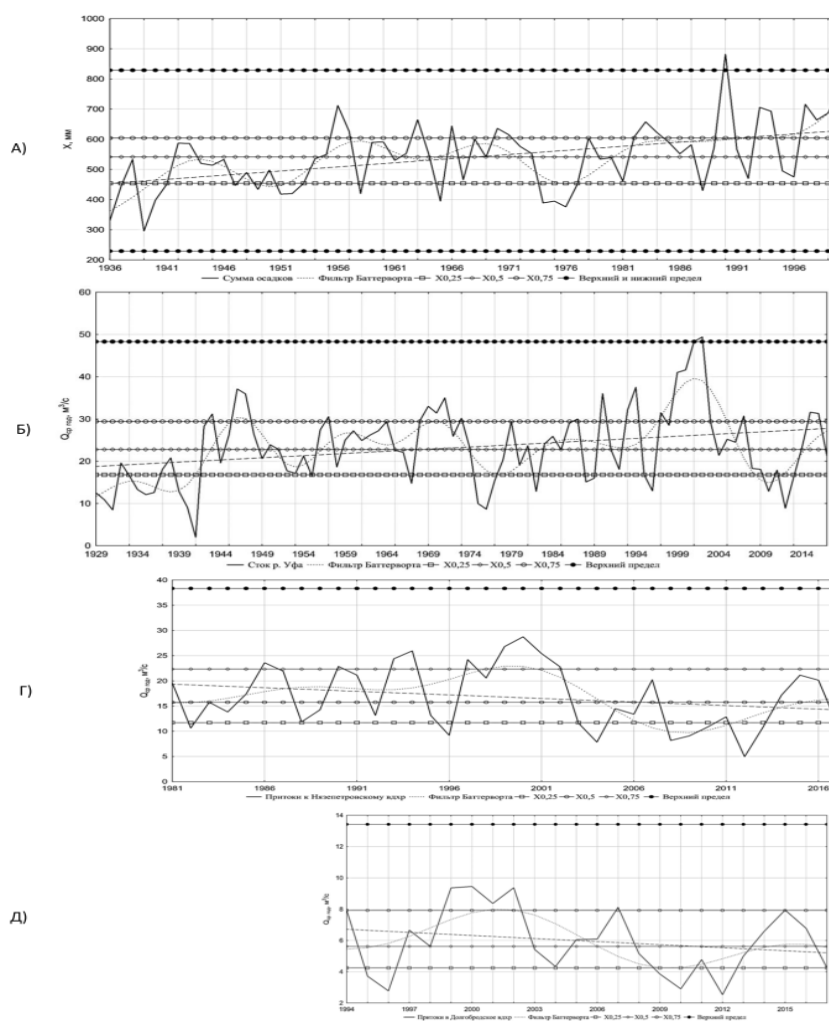


Рис. 2. Реализации гидрометеорологических характеристик , А) сток р. Уфа, Б) годовые суммы осадков МС Нязепетровск, Г) приток к Нязепетровскому водохранилищу, Д) Долгобродскому водохранилищу

Сопоставление расчетов доверительных параметров  $A_s$ , вычисленных по смоделированным нормальным рядам, показали, что по притокам к Долгобродскому водохранилищу прослеживается правая асимметрия, находящаяся в пределах  $A_s > 0,25$ . Статистические

характеристики многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик

Наименование	А	Б	В	Г	Д
$\chi_{\min}$	296	-2	2,00	4,90	2,53
$\chi_{0.25}$	461	0,6	16,80	11,70	4,25
$\chi_{0.5}$	550	1,1	22,80	15,76	5,62
$\chi_{0.75}$	618	1,9	29,40	22,35	7,92
$\chi_{\max}$	882	5,7	49,40	28,74	9,45
R	586	7,7	47,40	23,84	6,92
P, мм	157	1,3	12,6	10,65	3,67
T*	545	1,2	22,95	16,39	5,85
$\chi_B$	854	3,85	48,3	38,33	13,43
$\chi_H$	226	-1,4	-2,1	-4,38	-1,26
0.74P	116	1,0	9,45	7,99	2,75
As	-0,07	0,08	0,02	0,12	0,49

А- осадки за год в мм, (МС Нязепетровск) (1926-2006г)

Б-среднегодовая температура(МС Нязепетровск) (1926-2000г)

В– среднегодовые расходы р. Уфа-г. Нязепетровск (1929-2017гг)

Г- среднегодовые притоки к Нязепетровскому водохранилищу на р. Уфа-г. (1981-2017гг)

Д- среднегодовые притоки к Долгобродскому водохранилищу на р. Уфа-г. (1993-2017гг)

Выборку по всем гидрометеорологическим характеристикам кроме притоков к Долгобродскому водохранилищу целесообразно считать симметричной, так как показатели стоковых характеристик находятся в пределах  $0,31 < A_s < 0,25$ .

Антропогенная нагрузка проявляется в разнице параметров, характеризующих внутригодовую коррелированность расходов в пункте г/п до и после каскада водохранилищ.

#### Выводы.

1. Сочетание естественных и антропогенных факторов при формировании водного режима реки проявляется по-разному. Тренды в изменении речного стока, в общем, соответствуют изменениям климата в бассейне. Также наблюдается согласованность циклов водности и осадков, но при этом прослеживается тренд на понижение стока в притоках к Долгобродскому водохранилищу, отсутствующий в осадках, но присутствует тренд на повышение в температуре. Антропогенное воздействие возможно отнести к сведению лесов.

2. В настоящее время в реальной водохозяйственной обстановке водные ресурсы р. Уфы в створе Долгобродского гидроузла для переброски части стока в бассейн р. Миасс до завершения ввода в эксплуатацию всего тракта подачи в Челябинский промрайон практически не используются, что приводит к значительному увеличению полезной отдачи Нязепетровского водохранилища (более  $7 \text{ м}^3/\text{с}$ ). В современных условиях Нязепетровское водохранилище и после ввода в эксплуатацию Долгобродского гидроузла осуществляет сезонное регулирование стока р. Уфы с  $F=2890 \text{ км}^2$ .

#### Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11, Средний Урал и Приуралье [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1973 – 848 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 11. Средний Урал и Приуралье, Выпуск 1, Кама – Л.: Гидрометеиздат, Л., 1967, 1975, 1979.

3. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 1, РСФСР, Выпуск 25, Бассейн реки Камы [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1988 – 706 с.
4. Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Том 4. Выпуск 5-7, 1936-80 г.г.; Том 1 Выпуск 25, 1981-1999 г.г. Л., Свердловск, Обнинск.
5. Мякишева Н.В., Речной сток [Текст]// Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – Т.Ш.Вып.1. – С.196-214
6. Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря [Текст]//Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С.16-34
7. Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Ай//Естественные и технические науки, №2, 2018. - С.108-114
8. Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Юрюзань//Естественные и технические науки, №8, 2018. - С.102-108
9. Правила эксплуатации Нязепетровского водохранилища. Правила использования водных ресурсов. Эксплуатация водохранилища и гидротехнических сооружений. Отчет о гидрологических и водохозяйственных расчетах для проекта «Правил эксплуатации Нязепетровского водохранилища на р. Уфе у г. Нязепетровска». ОАО «Ур. ВКП», Екатеринбург, 2005.
10. Долгобродское водохранилище. Правила эксплуатации. Восточно-Сибирское отделение «Гидропроекта», Красноярск, 1989

## ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ РЕК ЮЖНОГО УРАЛА В ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А.И. Второва<sup>1</sup>, А.А. Горбатенко<sup>2</sup>, Н.В. Мьякишева<sup>2</sup>, д-р г-ф. наук

<sup>1</sup>Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## THE INTERANNUAL FLUCTUATION OF THE REGULATED RIVER FLOW OF THE UPPER REACHES OF THE RIVER UFA IN MODERN CONDITIONS

A.I. Vtorova<sup>1</sup>, A.A. Gorbatenko<sup>2</sup>, N.V. Myakisheva<sup>2</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup>Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Проведен вероятностный анализ межгодовой изменчивости зарегулированного речного стока р. Ай и р. Юрюзань с применением теории случайных процессов. Результаты анализа обобщены в терминах вероятностной модели. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений.*

*The probabilistic analysis of interannual variability of regulated river flow Yuryuzan river and Ay river using the theory of random processes is carried out. The results of the analysis are generalized in terms of the probabilistic model. The regulatory capacity of the catchment area and man-made structures is estimated.*

### **Введение.**

В условиях развития экономики и роста городов в современной России изменение режима водных объектов очевидно. Также наблюдается изменение климатических условий – факторов формирования гидрологического режима. Выявление его особенностей с учетом изменений климата и определение характерных отличий, возникших при антропогенном вмешательстве в данных условиях особенно актуально.

Бассейны рек Ай и Юрюзань, протекающих по западному и восточному склонам Южного Урала и впадающих в реку Уфу, расположены в горно-лесной зоне со сложными гидрогеологическими условиями (наличие карста) на территории Челябинской области и Республики Башкортостан. Эти субъекты являются ведущими в Российской Федерации по уровню промышленного развития, что в существенной мере определяется их мощной минерально-сырьевой базой. Водоснабжение объектов экономики и населения городов производится преимущественно за счет поверхностных вод, естественный режим которых существенно изменен под воздействием водохранилищ сезонного регулирования [8], прудов и шахт бывших месторождений.

### **Материалы и методы.**

Речной сток рассматривался как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующих многолетним и внутригодовым колебаниям.

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для всех месяцев года, которые рассматривались как случайные процессы. Привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [7].

В работе использовались ряды среднемесячных и среднегодовых расходов воды по данным наблюдения на гидропостах Росгидромета: р. Ай (с. Лаклы, с. Веселовка, г. Златоуст, д. Новая Пристань) р. Юрюзань (с. Екатериновка, с. Вязовая), р. Тюлюк – с. Тюлюк, р. Катав – г. Катав-Ивановск, р. Уфа - г. Нязепетровск за период с 1929 – 2017 гг. [1-5].

Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и температуре воздуха по наблюдениям на метеостанциях Таганай Гора, Златоуст (бассейн р. Ай), Вязовая, Тюлюк, (бассейн р. Юрюзань), Нязепетровск по 2017 г. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеоиздат, «НЕДРА» и информационного ресурса meteo.ru.

### Многолетние колебания водности рек.

Сочетание естественных и антропогенных факторов формирует специфический режим рек. Временной ход слоя стока р. Ай за период после строительства водохранилищ практически повторяет все особенности временного ряда сумм осадков как по долгопериодной изменчивости, так и по чередованию выделенных циклов. По данным среднегодовых значений имеются согласованные тренды на понижение слоя стока и годовых сумм осадков. Тренд температуры воздуха на повышение имеет обратный тренду слоя стока ход, что логично: чем выше температура, тем больше испарение и меньше доля стока. Тренд снижения стока главным образом сформирован в рядах ежегодных данных за март и июль.

При анализе расходов воды р. Юрюзань в пункте после Юрюзанского водохранилища наблюдается значимый тренд на снижение стока. При детальном анализе выявлено, что тенденция снижения стока от года к году наблюдается в период с мая по сентябрь. Однако квазициклы в расходах воды в пункте после пруда согласуются с квазициклами атмосферных осадков и расходов естественных притоков. Их продолжительность составляет 10-12 лет, и они проявляются как периоды локальной нестационарности, повышения и понижения расходов воды в течение 5-6 лет, и обусловлен он колебаниями сумм осадков. Для температуры воздуха теплого и холодного периодов характерен тренд на повышение (рис. 1).

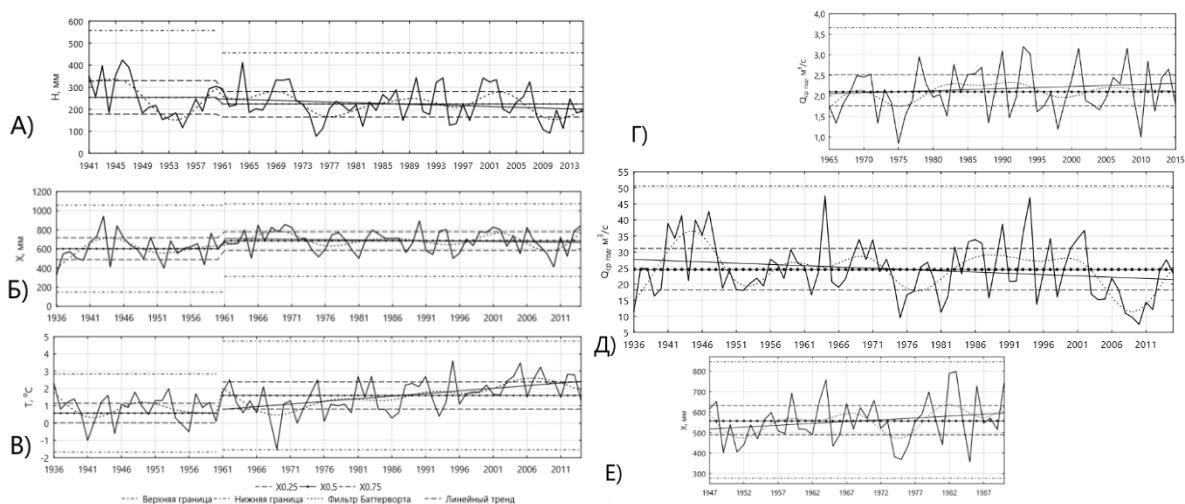


Рис. 1. Реализации гидрометеорологических характеристик: А) Среднегодовой слой стока р. Ай – Златоуст, Б) Суммы осадков за год МС Златоуст, В) Среднегодовые температуры воздуха МС Златоуст, Г) Среднегодовые расходы воды р. Тюлюк – с. Тюлюк и Д) р. Юрюзань – пгт Вязовая, Е) Суммы осадков за год МС Вязовая.

### Внутригодовые колебания речного стока.

Набор основных фаз водного режима и время их наступления отражают свойства рек восточно-европейского типа в соответствии с классификацией Б.Д. Зайкова. Графики оценок вероятностных характеристик ПКСП (математического ожидания и дисперсии) внутригодового стока рассматриваемых рек представлены на рис. 2.

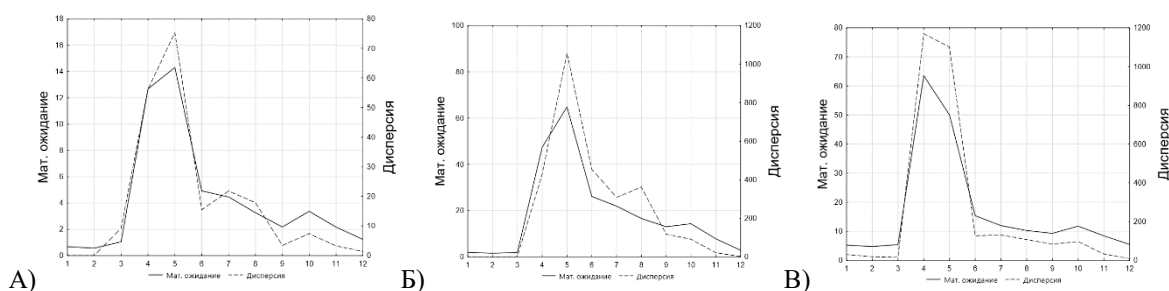


Рис. 2. Графики оценок математического ожидания и дисперсии внутригодового стока  
 А) р. Ай – с. Веселовка, Б) р. Юрюзань – с. Екатериновка, В) р. Уфа – г. Нязепетровск

Обобщение результатов анализа временной изменчивости речного стока в терминах вероятностной модели вида

$$\beta_{it} = \varphi_{i,1}\beta_{i,t-1} + \varphi_{i,2}\beta_{i+1,t-1} + \varepsilon_{it} + m_i, \quad i=1, \dots, 12, t=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $\beta_t = \{\beta_{1,t}, \dots, \beta_{12,t}\}$ ;  $\varphi_{t-1} = \{\varphi_1\beta_{i,t-1}, \dots, \varphi_{12}\beta_{12,t-1}\}$ ;  $\varepsilon_t = \{\varepsilon_{1,t}, \dots, \varepsilon_{12,t}\}$  – вектор белого шума с нулевым средним и дисперсией  $\delta^2 = \{\delta^2_1, \dots, \delta^2_{12}\}$ ;  $m = \{m_1, \dots, m_{12}\}$  – вектор математического ожидания;  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$  – параметры модели, позволило детализировать особенности зарегулированности стока для отдельных месяцев года. Параметры  $\varphi_{i1}$  определяются через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости, а параметры  $\varphi_{i2}$  – через компоненты матрицы межгодовой изменчивости и характеризуют трансформацию стока в зависимости как от антропогенных, так и естественных факторов (рис. 3).

Таблица 1. Численные значения оценок математического ожидания расходов воды  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , параметров авторегрессии  $\varphi_1$  внутригодового и  $\varphi_2$  многолетнего хода стока

Характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Ай – п. Веселовка												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	0.7	0.6	1.0	12.7	14.3	4.9	4.5	3.3	2.2	3.4	2.2	1.2
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	0.1	0.1	9.2	56.3	75.3	15.5	21.8	17.9	3.4	7.4	3.3	1.4
$\varphi_1$	0.8	0.1	-0.2	0.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.6	0.6	0.7	0.3
$\varphi_2$	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0
р. Ай – г. Златоуст												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	1.8	1.6	2.0	24.7	26.4	9.1	8.4	6.8	4.9	6.1	3.8	2.4
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	0.3	0.3	0.6	169	258	51.8	66	62.8	15.7	18.8	2.7	0.7
$\varphi_1$	0.8	0.6	0.2	-0.2	0.2	0.6	0.5	0.4	0.7	0.7	0.7	0.8
$\varphi_2$	0.3	0.3	0.4	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
р. Ай – с. Лаклы												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	10.6	9.7	12.0	149	133	49.8	44.3	36.7	29.1	35.6	22.8	13.6
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	11.8	9.2	33.3	5115	7614	1176	1449	1732	586	709	140	28.2
$\varphi_1$	0.8	0.7	0.2	-0.2	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8
$\varphi_2$	0.5	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1
Осадки МС Златоуст												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	30	24	30	37	60	79	109	80	67	61	47	38
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	259	195	333	413	915	1722	2778	1586	1143	928	419	311
$\varphi_1$	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
$\varphi_2$	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0

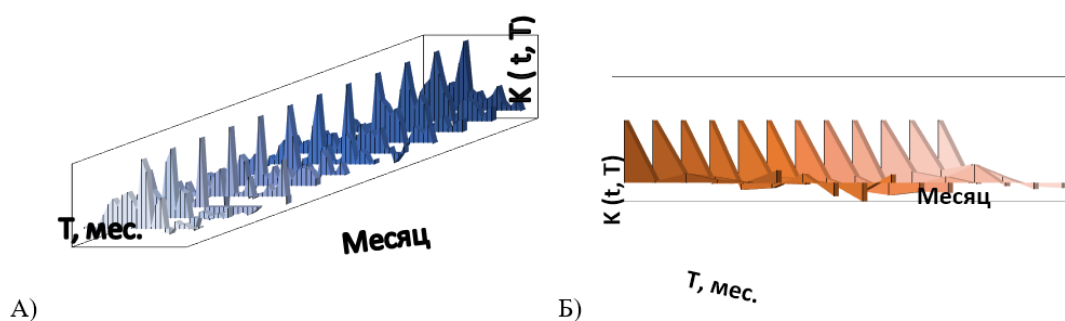


Рис. 3. Графики оценок корреляционных зависимостей А) внутригодовой и Б) межгодовой изменчивости стока р. Ай – с. Веселовка

Сравнение параметров  $\varphi_{11}$  для атмосферных осадков и расходов воды позволяет оценить регулирующую роль водосбора, обусловленную в период летней и зимней межени действием подземных вод, а также неоднородностью гидрогеологических условий бассейна (наличие карста (рис. 4)).



Рис. 4. Схема распространения закарстованных пород на территории рассматриваемых бассейнов

Сопоставление результатов анализа речного стока в пунктах, находящихся в естественных условиях и подверженных влиянию техногенных сооружений (например, с. Веселовка – естественный режим, г. Златоуст - зарегулированный), позволяет оценить по разности параметров  $\varphi_{11}$  регулирующую роль антропогенных факторов.

#### Выводы.

1. Сочетание естественных и антропогенных факторов при формировании водного режима рассматриваемых рек проявляется по-разному. Так, на р. Ай тренды в изменении речного стока в общем соответствуют изменениям климата в бассейне. На р. Юрюзань наблюдается согласованность циклов водности и осадков, но при этом прослеживается тренд на понижение стока, отсутствующий в осадках, что, по-видимому, свидетельствует об антропогенном воздействии.

2. Для уточнения особенностей режима рек и влияния на него факторов естественного и антропогенного характера в закарстованных районах необходима дополнительная информация о гидрогеологических условиях.

#### Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11, Средний Урал и Приуралье [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1973 – 848 с.



2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 11. Средний Урал и Приуралье, Выпуск 1, Кама – Л.: Гидрометеоздат, Л., 1967, 1975, 1979.
3. Министерство геологии СССР. Гидрогеология СССР, Том 14, Урал [Текст] – М.: Издательство «НЕДРА», 1972 – 648 с.
4. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 1, РСФСР, Выпуск 25, Бассейн реки Камы [Текст] – Л.: Гидрометеоздат, 1988 – 706 с.
5. Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Том 4. Выпуск 5-7, 1936-80 г.г.; Том 1 Выпуск 25, 1981-1999 г.г. Л., Свердловск, Обнинск.
6. Мякишева Н.В., Речной сток [Текст]// Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоздат, 1994. – Т.Ш.Вып.1. – С.196-214
7. Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря [Текст]//Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – С.16-34
8. Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Ай//Естественные и технические науки, №2, 2018. - С.108-114
9. Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Юрюзань//Естественные и технические науки, №8, 2018. - С.102-108

## ВЛИЯНИЕ ЛЕТНИХ ПОТЕПЛЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРЕСНЫХ ВОД В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

А.Е. Вязилова<sup>1</sup>, Г.В. Алексеев<sup>1</sup>, А.В. Смирнов<sup>1</sup>, А.В. Пнюшков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## IMPACT OF SUMMER WARMINGS ON FRESH WATER CONTENT IN ARCTIC OCEAN

A.E. Vyazilova<sup>1</sup>, A.E. Alekseev<sup>1</sup>, A.V. Smirnov<sup>1</sup>, A.V. Pnyushkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Представлены результаты исследования содержания пресной воды в Арктическом бассейне, а также в субарктической зоне Северной Атлантики. Показана зависимость термохалинных характеристик водных масс в субарктических морях Северной Атлантики от потоков пресной воды и морских льдов из Арктики.*

*Results of research on fresh water content in Arctic basin and subarctic North Atlantic are presented. Impact of fresh water and sea ice fluxes from Arctic on water masses thermohaline parameters in subarctic North Atlantic is explored.*

Северный Ледовитый океан (СЛО) и его верхний слой с морским льдом на поверхности составляют главное звено в формировании арктического воздействия на глобальный климат. Здесь аккумулируется и трансформируется пресная вода, поступающая в Арктику с полярной ветвью глобального гидрологического цикла, и отсюда она поступает в жидкой и твердой (морской лед) фазах в Северную Атлантику. Основными путями выноса распресненных вод из Арктики являются пролив Фрама, проливы Канадского Арктического архипелага и Дэвисов пролив.

В связи со значительными колебаниями от года к году содержания пресной воды в верхнем слое СЛО возникает вопрос об их причине. Многолетние ряды составляющих внешних притоков пресной воды в СЛО показывают увеличение осадков и стока рек в первой половине 1960-х годов. Однако связь этих изменений с колебаниями солености воды в различных районах Арктического океана и Северных морей слабы. По-видимому, существуют и другие источники распреснения, и главным из них может быть увеличение притока пресной воды в летний период в результате аномального таяния льда и снега. Изменения условий летнего таяния и, в меньшей степени, зимнего ледообразования могут приводить к нарушению баланса в цикле «замерзание-таяние» и, соответственно, к распреснению или осолонению верхнего слоя в отдельные годы [1].

В морской Арктике наблюдались периоды повышения летней температуры воздуха в 1950-е – начале 1960-х гг., в 1980-е, в 1990-е и 2000-е годы (рис. 1).

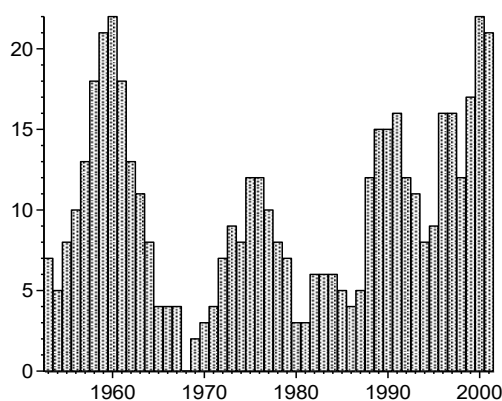


Рис. 1. Летние потепления в морской Арктике: число выходов суммы  $T > 0$  за 95% уровень, осредненное в 5-летних интервалах

За летними потеплениями следовали отрицательные аномалии солености в Северной Атлантике. Наиболее известная из них, названная «Великой соленостной аномалией (ВСА)» [2],

наблюдалась в 1970-х гг. Другие соленостные аномалии были отмечены в 1980-х гг. [3] и в 1990-х гг. [4]. Аномалии, наблюдавшиеся в 1968–70 и 1980–82 гг., связывались, в основном, с увеличением экспорта морского льда через пролив Фрама [5]. Выносу морского льда через проливы Канадского Арктического Архипелага придается меньшее значение в формировании аномалий солености, за исключением аномалии 1990-х гг. [6].

В последние десятилетия произошло перераспределение запаса пресных вод, количество которых увеличилось в районах вдоль Канадского Арктического Архипелага. Анализ изменений содержания пресных вод (СПВ) в разных районах Арктического бассейна в слое выше залегания изохалины 34,8 ‰ за период с 1973 г. показывает уменьшение СПВ вдоль берегов Евразии и увеличение СПВ вдоль Канадского Арктического архипелага (рис. 2).

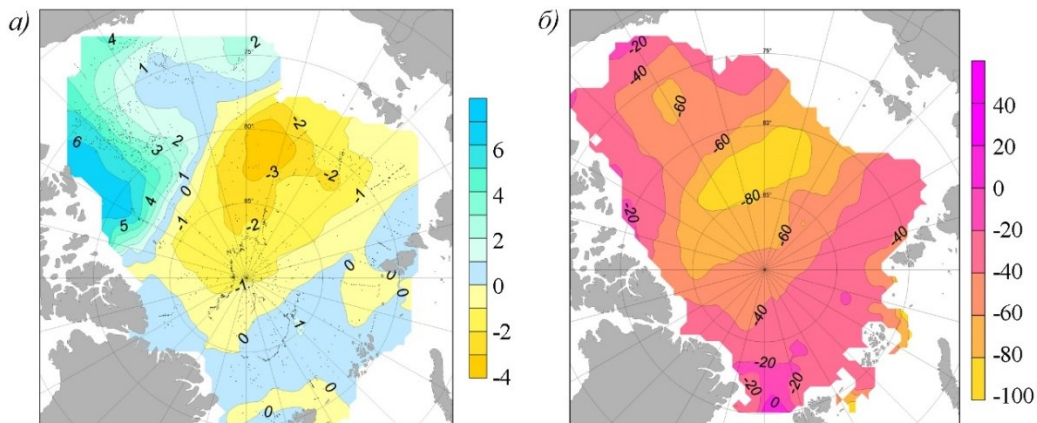


Рис. 2. Влияние на СПВ увеличения притока атлантической воды (АВ) в 2000-е годы в Арктический бассейн: (а) – разность между СПВ в 2000-е и в 1970-е годы; (б) – разность между глубиной верхней границы АВ в 2000-е и в 1970-е годы

Причиной перераспределения запаса пресных вод в Арктическом бассейне считают рост притока воды из Северной Атлантики в Арктический бассейн [7,8], преобладание циклонической циркуляции в атмосфере над Арктическим бассейном [9], которое способствует оттоку пресных вод, поступивших с Евразийским речным стоком, в круговорот моря Бофорта, увеличение поступления тихоокеанских вод [10, 11], соленость которых меньше 34,8 ‰, и вклад вариаций объема вод вследствие таяния льдов и вариаций речного стока.

В проливе Фрама в последнее десятилетие выделяется оппозиция отрицательных аномалий СПВ в восточной части и положительных аномалий СПВ в западной части. В западной части пролива проходит поток распресненных вод из Арктического бассейна, а в восточной части — поток теплых и соленых атлантических вод в Арктику. Увеличение запаса пресных вод в Канадском бассейне влияет на интенсификацию экспорта морского льда и распресненных вод через проливы Канадского Арктического архипелага [12, 13], также как и экспорта морского льда через пролив Фрама [14, 15]. Сокращение морского ледяного покрова, наблюдаемое в настоящее время в Арктике, сопровождается не только перераспределением содержания пресной воды в верхнем слое [16], но и влияет на их объем и пути выноса из Арктики.

Причиной роста притока распресненной воды в субарктическую Атлантику в 1950-е и в начале 1960-х гг. является летнее потепление в Арктике. В 1990–2000-е гг. также наблюдается увеличение содержания пресных вод в море Баффина, проливе Дэвиса и в западной части пролива Фрама, что связано с новым более сильным летним потеплением в Арктике. В восточной части пролива Фрама (рис. 3) наблюдаются значительные положительные аномалии температуры и солености вследствие увеличенного потока атлантических вод, который приводит к подъему верхней границы слоя атлантических вод [7] в Евразийском бассейне и к смещению распресненных вод в Канадский бассейн.

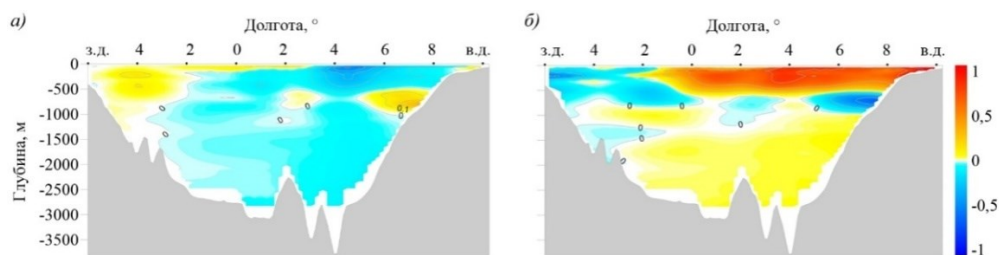


Рис. 3. Аномалии температуры в проливе Фрама ( $79,5^\circ$  с. ш.) а) — 1950–1990-е гг., б) — 2000–2013 гг.

Одновременно с наблюдающимся ростом выноса морского льда заметно уменьшается площадь морского льда в Гренландском море и в море Баффина, что связано с общим повышением приземной температуры воздуха в регионе. Вынос морского льда и распресненных вод из Арктики влияет на формирование аномального распределения в субполярной Атлантике. Среднегодовой вынос распресненных вод в субполярную Атлантику увеличился в последние два десятилетия. Вынос морского льда через пролив Фрама также увеличился, однако распределения на всей акватории Северной Атлантики, как в 1970-х гг., не наблюдается в связи с увеличенным притоком теплых и соленых вод из низких широт.

Подобие в формировании аномалий солености океана в 1960-х и 2000-х гг. в проливе Фрама и в море Баффина (рис. 4) можно рассматривать в качестве предвестника новой соленостной аномалии в Северной Атлантике, индикатором которого может считаться возрастание выноса пресных вод и морского льда через пролив Фрама. В то же время, с 2000 г. по настоящее время сохраняются тенденции роста температуры воздуха и повышения солености поверхностного слоя в рассматриваемом районе Северной Атлантики за счет увеличения притока из низких широт. Но в последние несколько лет наблюдается распространение отрицательных аномалий температуры и солености в Лабрадорском море (рис. 5), что подтверждает прохождение распресненных вод из Арктики с последующим поступлением в Лабрадорское море и дальнейшим распространением по акватории Атлантики. Продолжающаяся аккумуляция пресных вод в Канадском бассейне СЛО пока препятствует развитию значительной соленостной аномалии на всей акватории Северной Атлантики.

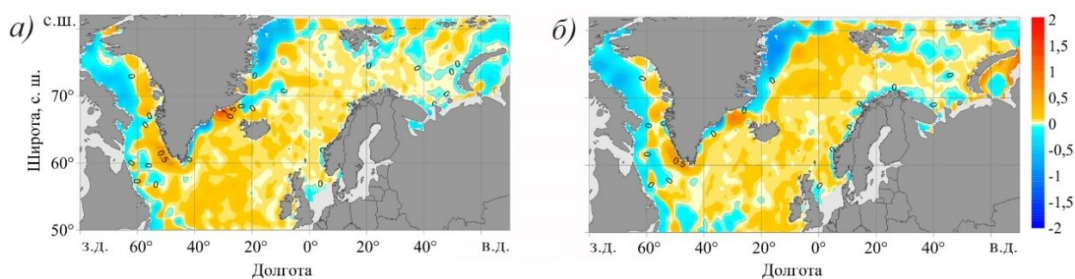


Рис. 4. Аномалии солености в 1950–1969 гг. (а) и 2001–2013 гг. (б) относительно 1970-х гг. на горизонте 50 м

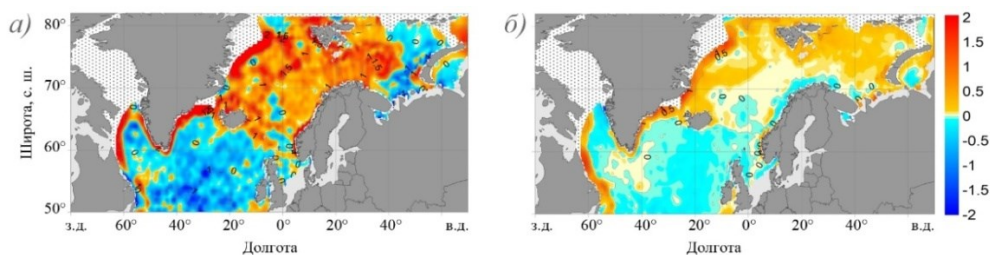


Рис. 5. Аномалии среднегодовой температуры (а) и солености (б) в 2013–2016 гг. на горизонте 50 м

## **Выводы.**

Рассмотрено влияние летних потеплений на распределение и распространение распресненных вод Арктического бассейна, пути выноса распресненных вод из Арктики, влияние потоков пресной воды на термохалинную структуру субарктических морей Северной Атлантики.

Важным фактором увеличения потока пресных вод Арктического бассейна и дальнейшего их поступления в Северную Атлантику через пролив Фрама и проливы Канадского Арктического архипелага являются летние потепления в Арктике.

За период наблюдений с 1980 г. произошло перераспределение запаса пресных вод в Арктическом бассейне, количество которых увеличилось в районах Канадского бассейна, прилегающих к Канадскому Арктическому Архипелагу, и уменьшилось в центральном секторе Арктики и вдоль берегов Евразии вследствие длительного роста температур воздуха и увеличенного притока атлантических вод в Северный Ледовитый океан.

Согласованность в формировании аномалий солености в 1960-х и 2000-х годах в проливе Фрама и в море Баффина может быть предвестником новой соленостной аномалии, подобной наблюдавшейся в акватории Северной Атлантики в 1970-е годы и названной «Великой Соленостной Аномалией».

## **Литература**

1. Alekseev G.V., Bulatov L.V., Zakharov V.F. 2000: Freshwater freezing/melting cycle in the Arctic Ocean. In: E.L. Lewis et al. (eds.) The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Kluwer Academic Publishers, 589-608.
2. Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J. The «Great Salinity Anomaly» in the Northern North Atlantic 1968-1982 // Prog. Oceanogr. 1988. Т. 20. С. 103–151.
3. Belkin I.M., Levitus S., Antonov J.I., Malmberg S.A. «Great Salinity Anomalies» in the North Atlantic // Prog. Oceanogr. 1998. Т. 41. С. 1–68.
4. Belkin I.M. Propagation of the «Great Salinity Anomaly» of the 1990s around the northern North Atlantic // Geophys. Res. Lett. 2004. Т. 31. № L08306. С. 1–4.
5. Zhang R., Vallis G.K. Impact of Great Salinity Anomalies on the Low-Frequency Variability of the North Atlantic Climate // J. Clim. 2006. Т. 19. С. 470–482.
6. Naak H., Jungclaus J., Mikolajewicz U., Latif M. Formation and propagation of great salinity anomalies // Geophys. Res. Lett. 2003. Т. 30. № 9. С. 1–4.
7. Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Балакина А.А. Изменения климата в морской Арктике в начале XXI века // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (86). С. 22–34.
8. Hakkinen S., Proshutinsky A. Freshwater content variability in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2004. Т. 109. С. doi:10.1029/2003JC001940.
9. Morison J.H., Kwok R., Peralta-Ferriz C., Alkire M., Rigor I.G., Andersen R., Steele M. Changing Arctic Ocean freshwater pathways // Nature. 2012. Т. 481. № 7379. С. 66–70.
10. Тимохов Л.А., Поляков И.В., Фролов И.Е., Кассенс Х., Карпий В.Ю., Лебедев Н.В. Климатические изменения содержания пресных вод в Северном Ледовитом океане и их причины // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. Т. 4. № 106. С. 63–75.
11. Тимохов Л.А., Фролов И.Е., Кассенс Х., Карпий В.Ю., Лебедев Н.В., Малиновский С.Ю., Поляков И.В., Хелеманн Е. Изменения термохалинных характеристик трансполярной системы Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. Т. 2. С. 34–49.
12. Proshutinsky A., Dukhovskoy D., Timmermans M., Krishfield R., Bamber J.L. Arctic circulation regimes // Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A. 2015. Т. 373. С. 1–18.
13. Yang Q., Dixon T.H., Myers P.G., Bonin J., Chambers D., Broeke M.R. van den. Recent increases in Arctic freshwater flux affects Labrador Sea convection and Atlantic overturning circulation // Nat. Commun. 2016. Т. 7:10525. С. 1–7.
14. Smedsrud L.H., Sirevaag A., Kloster K., Sorteberg A., Sandven S. Recent wind driven high sea ice area export in the Fram Strait contributes to Arctic sea ice decline // Cryosph. Discuss. 2011. Т. 5. С. 821–829.
15. Spreen G., Hansen E., Kwok R., Gerland S. Fram Strait Sea Ice Volume Export 1992-2012 from Combined ULS and Satellite Data // American Geophysical Union, Fall Meeting. 2013.
16. Kwok R., Rothrock D.A. Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958-2008 // Geophys. Res. Lett. 2009. Т. 36. № L15501. С. 1–5.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 18-05-60107.*

*The study was supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research 18-05-60107.*

## УСЛОВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Г.Г. Гавриленко<sup>1</sup>, Г.Э. Здорovenнова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Р.Э. Здорovenнов<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, С.Ю. Волков<sup>1</sup>, Т.В. Ефремова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Н.И. Пальшин<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, С.Р. Богданов<sup>1,2</sup>, д-р физ.-мат. наук, А.Ю. Тержевик, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

## SPATIAL INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE FIELD IN ICE-COVERED LAKES

G.G. Gavrilenko<sup>1</sup>, G.E. Zdorovennova<sup>1</sup>, Cand.Sc., R.E. Zdorovennov<sup>1</sup>, Cand.Sc., S.Yu. Volkov<sup>1</sup>, T.V. Efremova<sup>1</sup>, Cand.Sc., N.I. Palshin<sup>1</sup>, Cand.Sc., S.R. Bogdanov<sup>1,2</sup>, Dr.Sc., A.Yu. Terzhevnik<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Northern water problems Institute Karelian Research Center, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>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 км<sup>2</sup>, объем вод ~5.5·10<sup>7</sup> м<sup>3</sup>) и мелководное (средняя глубина 5.3, максимальная – 13.4 м). Площадь его водосборного бассейна составляет 82.8 км<sup>2</sup>. 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]:

$$S_T = \frac{g}{A_s} \int_0^{z_D} (z - z_v) \rho_z A_z dz, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $A_s$  – площадь поверхности озера,  $A_z$  – площадь озера под изобатой  $z$ ,  $\rho_z$  – 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]:

$$L_N = \frac{S_T(z_e + z_h)}{2\rho_h u_*^2 A_s^{0.5} z_v}, \quad (2)$$

где  $z_e$  и  $z_h$  – глубины верхней и нижней границ металимниона, соответственно,  $\rho_h$  – 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 [pr5.ru](http://pr5.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. 1А).

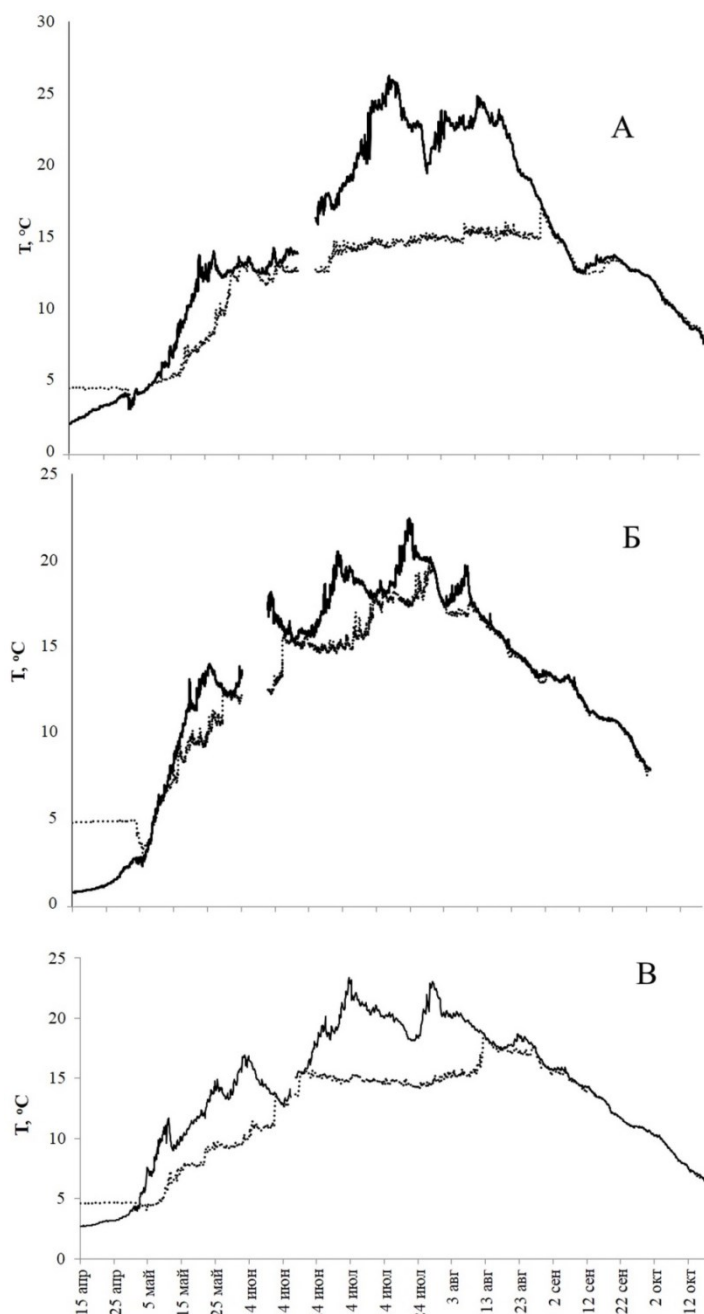


Рис. 1. Температура поверхностных (сплошная линия) и придонных (пунктирная линия) горизонтов водной толщи в центральной глубоководной части озера Вендюрского в период открытой воды в разные по погодным условиям годы, А – 2010 г., Б – 2012 г., В – 2016 г.

В условиях маловетреной 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. 1Б). Данные натуральных 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. 1В). 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/м<sup>2</sup> в холодные летние месяцы 2015 г. до 128 Дж/м<sup>2</sup> в жаркие месяцы 2010 г. При этом средние за период стратификации значения  $St$  изменялись от 5 до 28 Дж/м<sup>2</sup> 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.

#### **Литература**

1. Зайков Б.Д. Очерки по озероведению. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1955. 271 с.
2. Mammarella I., Gavrylenko G., Zdrovennova G., Ojala A., Erkkilä K.-M., Zdrovennov 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., Здровеннова Г. Э., Здровеннов Р. Э., Пальшин Н. И., Тержевик 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., Здровеннов Р.Э., Здровеннова 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.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-00436\_a).*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-05-00436\_a).*

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

В.Ю. Георгиевский<sup>1</sup>, д-р геогр.наук

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## WATER RESOURCES OF THE RUSSIAN FEDERATION UNDER CHANGING CLIMATE

V.Yu. Georgievsky<sup>1</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Приводятся данные о ежегодно возобновляемых водных ресурсах Российской Федерации, особенностях их многолетней динамики и условий формирования стока рек при современном потеплении климата.*

*Data on annually renewable water resources of the Russian Federation are presented, including peculiarities of their long-term dynamics and conditions of river runoff formation under the current climate warming.*

В последние десятилетия формирование речного стока происходит в условиях изменяющегося климата. Согласно оценкам Росгидромета [1], за период 1976-2017 гг. коэффициент линейного тренда осредненный по территории России среднегодовой приземной температуры воздуха составил 0,45°C/10 лет, что в 2,5 раза превышает скорость в целом для земного шара. Среднегодовые температуры растут во всех физико-географических регионах страны.

Для рассматриваемого современного периода потепления преобладали положительные тенденции годовых осадков. В среднем для территории России линейный тренд годовых осадков за 1976-2017 гг. составил 2,2 %/10 лет [1].

В оценочном докладе Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации [2], а также в пленарном докладе на VII Всероссийском гидрологическом съезде [3] было показано, что в период, характеризующийся интенсивным ростом приземной температуры воздуха и изменением режима увлажнения, суммарный годовой сток рек (водных ресурсов) России был выше, чем в предыдущий многолетний период. Основной особенностью изменений сезонного стока рек в этот период было значительное увеличение их водности в зимний сезон практически на всей территории страны.

В докладе представлены результаты исследований реакции водных ресурсов и водного режима рек на происходящие климатические изменения с учетом данных гидрометрических наблюдений по 2015-2017 гг. включительно.

На рисунке 1 показаны изменения водных ресурсов Российской Федерации за период с 1936 по 2017 гг. Общее увеличение водных ресурсов за 1981-2017 гг. по сравнению с предшествующим многолетним периодом составило в среднем 227 км<sup>3</sup>/год или 5,3%. Наибольшее абсолютное увеличение водных ресурсов произошло в Дальневосточном (77 км<sup>3</sup>/год), Северо-Западном (45,0 км<sup>3</sup>/год) и Сибирском (43,0 км<sup>3</sup>/год) федеральных округах. Столь значительное увеличение водных ресурсов Дальневосточного федерального округа объясняется ростом годового стока рек бассейна Лены, а также крупнейших рек северо-восточной части региона.

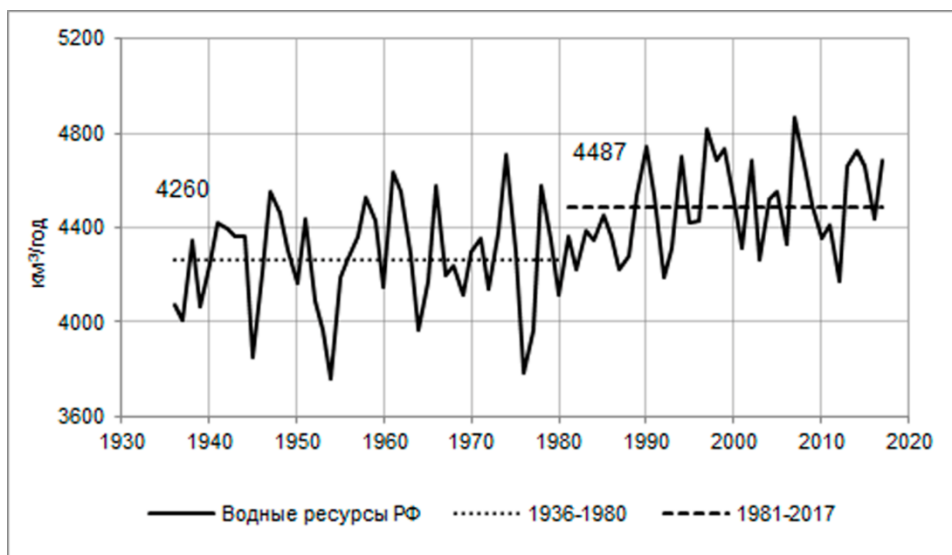


Рис. 1. Многолетняя динамика водных ресурсов Российской Федерации

Вместе с тем, в конце прошлого - начале текущего столетия на ряде рек южных регионов страны наблюдалось длительное маловодье. Так, в бассейне р. Дон в течение последних 10 лет годовой сток под воздействием природных и антропогенных факторов был ниже нормы, а в 2015-2017 гг. снизился до значений, близких к минимальным за весь период наблюдений (1891-2017 гг.). В результате водохранилище Цимлянской ГЭС не наполнилось до необходимых отметок, что привело к резкому снижению объёмов грузопассажирских перевозок на Нижнем Дону, ухудшению экологического состояния реки и ограничению водопотребления всех категорий пользователей.

Экстремальное по длительности маловодье наблюдается на реках бассейна озера Байкал. Годовой сток р. Селенга (рис. 2), дающий около 60 % притока речных вод в озеро в период с 1999 по 2016 гг., был меньше нормы, что привело к снижению уровня Байкала и сокращению стока р. Ангары. Это маловодная фаза явилась причиной возникновения целого комплекса водохозяйственных и экологических проблем, что потребовало приостановления действия постановления Правительства Российской Федерации от 26 марта 2001 г. № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности».

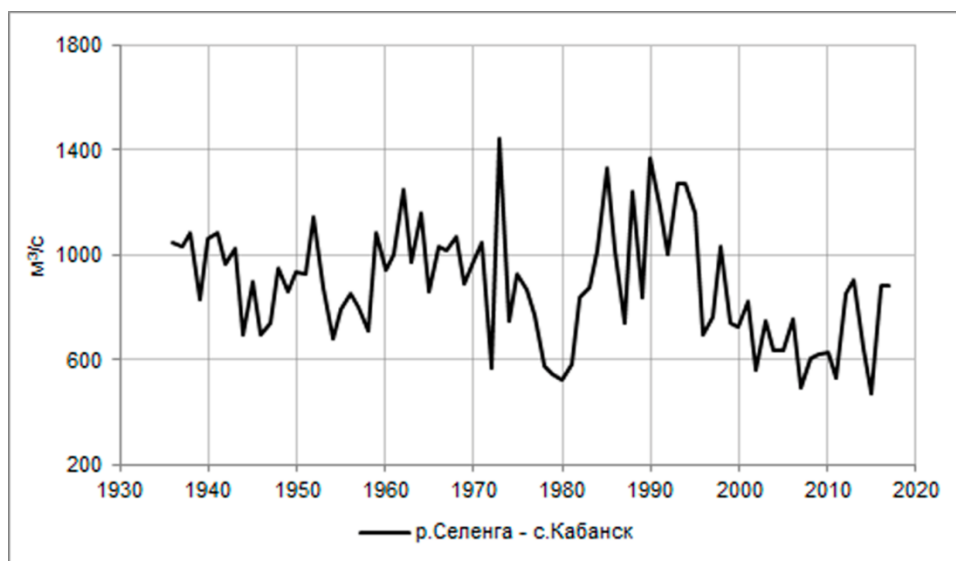


Рис. 2. Многолетняя динамика годового стока р. Селенга

Определённые проблемы с гарантированным водообеспечением отдельных отраслей экономики возникли в бассейне Волги, особенно в его верхней части, в маловодные 2014 и 2015 гг. Однако анализ данных по гидрометрическим постам, имеющим наиболее продолжительные ряды наблюдений (137 лет), указывает на отсутствие каких-либо направленных тенденций в многолетних изменениях водных ресурсов рек бассейна Волги.

Следует отметить факт формирования в последние годы экстремальных (максимальных и минимальных) за многолетний период водных ресурсов в бассейнах ряда крупнейших рек, что может свидетельствовать об увеличении их изменчивости. Например, годовой сток Енисея в 2011 г. был наибольшим (732 км<sup>3</sup>), а в 2016 г. самым низким за период инструментальных наблюдений (483 км<sup>3</sup>), а Амура соответственно в 2013 (464 км<sup>3</sup>) и 2008 (184 км<sup>3</sup>) годах. При этом межгодовая амплитуда годовых объемов стока составила для Енисея 249 км<sup>3</sup>, а для Амура - 300 км<sup>3</sup>.

Климатические изменения оказывают очень значительное влияние на внутригодовое распределение стока. В течение последних 40 лет на реках страны отмечается увеличение стока в зимний период года. При этом, что крайне важно, самые большие изменения происходят на той части ЕЧР, которая наименее обеспечена водными ресурсами, где увеличение водности рек в холодный сезон достигает 50-150%. Здесь выявлены значимые положительные тренды зимнего стока, при этом существенно увеличилась его изменчивость. Столь значительное повышение стока, наблюдающееся в течение нескольких десятилетий, свидетельствует о том, что условия его формирования существенно изменились под воздействием климата. Этот вывод подтверждается результатами анализа данных наблюдений на специализированной сети Росгидромета (воднобалансовые и болотные станции). Установлено, что сток рек в течение зимнего периода возрастает, а запасы воды в снежном покрове к началу весны уменьшаются, что создает условия для снижения стока весеннего половодья. Так, на реках южной части Европейской территории страны в последние десятилетия весенний сток уменьшился на 30-60%.

Увеличение летне-осеннего стока отмечается также на значительной части территории России, причем наиболее отчетливо этот процесс проявился на реках южной части лесной зоны и в лесостепной и степной зонах ЕЧР.

Происходящие изменения водного режима рек необходимо учитывать при планировании водохозяйственных мероприятий, направленных на гарантированное обеспечение водой населения, отраслей экономики и защищённости от негативного воздействия вод.

## Литература

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2017 году. — М., 2018, 69 с; <http://www.meteorf.ru/product/climat/>.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — М., Росгидромет, 2014, 30 с.
3. Георгиевский В. Ю., Коронкевич Н. И., Алексеевский Н. И. Водные ресурсы и гидрологический режим рек РФ в условиях изменения климата. /В сб.: Пленарные доклады VII Всероссийского гидрологического съезда, 19—21 ноября 2013 г. — СПб, ГГИ, 2014, С. 79—102.

## МЕТОД ПРОГНОЗА ЛЕДОВИТОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ОТ НЕСКОЛЬКИХ МЕСЯЦЕВ ДО НЕСКОЛЬКИХ ЛЕТ

Н.И. Глок<sup>1</sup>, Г.В. Алексеев<sup>1</sup>, А.Е. Вязилова<sup>1</sup>, А.В. Смирнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE FORECAST METHOD FOR BARENTS SEA ICE FROM MULTIPLE MONTHS TO SEVERAL YEARS

N.I. Glok<sup>1</sup>, G.V. Alekseev<sup>1</sup>, A.E. Vyasilova<sup>1</sup>, A.V. Smirnov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*На основе выявленной зависимости от изменчивости температуры воды в Северной Атлантике предложен метод прогноза ледовитости Баренцева моря с января по июнь с заблаговременностью 9-14 месяцев.*

*Based on the revealed dependence on the variability of water temperature in the North Atlantic, a method for predicting the ice cover of the Barents Sea from January to June with a lead time of 9-14 months is proposed.*

### **Введение.**

На данный момент применение глобальных моделей климата в баренцевоморском регионе не позволяет получить точные оценки, что проявляется в значительных расхождениях с наблюдаемым климатом, которые остаются одними из самых значительных в Арктике [1, 2]. Также в виду своих особенностей в глобальных моделях межгодовые колебания климата считаются случайным непредсказуемым шумом, что не дает возможности применять их для климатического прогнозирования на срок от нескольких месяцев до десяти лет.

Альтернативный подход к климатическим прогнозам в регионе основан на статистических моделях, построенных по данным наблюдений [3], что также требует понимания основных механизмов и нахождения определяющих факторов.

В качестве основной причины изменчивости климата рассматривается влияние атмосферы и океана. Расположенное в Арктическом бассейне Баренцево море граничит с Атлантическим океаном, откуда атлантическая вода поступает через Фареро-Шетландский пролив, Норвежское и Гренландское моря, оказывая на него тепляющее воздействие. Указания на значительную роль океана приведены в работах [4, 5], где показано, что сокращение площади морского льда (ПМЛ) и потепление Арктики в 1930-е годы было связано с увеличением поступления атлантической воды (АВ) в Баренцево море. В работе [6] показано влияние Гольфстрима на изменение морского льда Баренцева моря. На тесную связь между притоком АВ и распространением морского льда в конце зимы в Гренландском и Баренцевом морях указано и в работах В.Ф. Захарова [7,8]. Сокращение ледообразования при увеличении поступления АВ в Баренцево море, приводящее к уменьшению морского льда, подтверждается и результатами экспериментов [9], где подчеркивается преобладающее влияние океана на изменения массы льда, как на среднее значение, так и на изменчивость.

### **Результаты.**

В качестве показателя притока АВ в баренцевоморский регион в исследовании были рассмотрены многолетние ряды среднегодовой и среднемесячной температуры воды в слое 0-200м на разрезе по Кольскому меридиану (КМ). В таблице 1 приведены результаты корреляционного анализа для площади льда в Баренцевом море и температуры воды на КМ. Наиболее тесная связь между изменениями температуры воды и ПМЛ приходится на период с января по июнь, когда воздействия атмосферной циркуляции и летнего прогрева воды солнечной радиацией минимальны.

Применение скользящего осреднения по 3 года позволяет отделить климатическую низкочастотную составляющую изменчивости характеристик баренцевоморского региона [10], при этом значения корреляции для климатических оценок возрастают между температурой воды на разрезе по Кольскому меридиану и площадью морского льда (таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между среднемесячными значениями температуры воды на Кольском разрезе в слое 50–200 м и площади льда в Баренцевом море за 1979–2014 гг.

	месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ПМЛ и Т <sub>км</sub>	<b>-0,83</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,87</b>	<b>-0,83</b>	-0,67	-0,48	-0,26	-0,28	-0,44	-0,70
ПМЛ и Т <sub>км</sub> сгл по 3 года	<b>-0,93</b>	<b>-0,89</b>	<b>-0,79</b>	<b>-0,88</b>	<b>-0,95</b>	<b>-0,90</b>	-0,79	-0,63	-0,52	-0,45	-0,63	-0,8

Высокие значения корреляции, полученные в первой половине года, дают возможность построения прогностической модели МПЛ на основе зависимости от температуры АВ.

Определяющее влияние АВ, поступающей в Баренцево море, на изменчивость ПМЛ позволяет предположить связь этой изменчивости с аномалиями характеристик АВ в областях их формирования в умеренных и низких широтах Северной Атлантики. Для выделения этих областей выполнен многомерный корреляционный анализ полей среднемесячной ТПО по данным массива HadISST за период с 1978 по 2016 гг. Анализ статистических связей ТПО Северной Атлантики и осредненной температуры воды за период с января по июнь в слое 50–200 м на Кольском меридиане позволил выделить область Северной Атлантики (5° – 25° с.ш. и 60° – 20° з.д.), которая оказывает влияние на температуру КМ. Максимальный отклик температуры в указанной области с температурой на КМ наблюдается в сентябре и октябре при запаздывании последних на три года.

Для выделения предсказуемой климатической составляющей сезонной изменчивости площади морского льда в 1–6 месяцы использован метод разложения по естественным ортогональным функциям (ЕОФ). Первая главная компонента описывает 83,3 % дисперсии изменчивости ПМЛ Баренцева моря с января по июнь для периода 1978–2013 гг., что позволяет рассматривать ее в качестве климатического изменения ПМЛ.

Метод прогноза площади льда в Баренцевом море основан на построении линейной регрессии для первой главной компоненты разложения ПМЛ, где в качестве предиктора принята температура воды на поверхности приэкваториального района Атлантического океана в октябре, опережающая изменчивость площади льда на 3 года. Для улучшения качества прогноза был введен второй предиктор – аномалий ТПО в Норвежском море в апреле предыдущего года, где также обнаружена неплохая связь. Корреляция между выбранными предикторами невысока, что позволило добавить его в модель. При этом качество модели улучшилось, но заблаговременность прогноза сократилась до 9–4 месяцев. Прогностическая модель на основе линейной регрессии с двумя предикторами имеет вид:

$$\hat{X}_{1g} = -439 T'_{1(g-3,10)} - 589 T'_{2(g-1,4)} + 14637, \quad (1)$$

где  $\hat{X}_{1g}$  – прогнозное значение коэффициентов главной компоненты ЕОФ-разложения площади льда в Баренцевом море с января по июнь,  $g$  – год,  $T'_1$  – температура в экваториальной области в октябре (10),  $T'_2$  – температура в восточной части Норвежского моря в апреле (4). Коэффициент детерминации модели составил 0,61. Прогностические значения климатической составляющей площади льда получаются на основе рассчитанного значения  $\hat{X}_{1g}$  и первой собственной функции  $\varphi_{1m}$  с добавлением среднего значения площади льда  $S_m$ :

$$\hat{S}_{1gm} = \hat{X}_{1g} \times \varphi_{1m} + S_m, \quad (2)$$

где  $\hat{S}_{1gm}$  – прогнозное значение климатической составляющей площади льда в  $g$  – году,  $m$  – месяце,  $\hat{X}_{1g}$  – прогнозное значение первого коэффициента ЕОФ-разложения,  $\varphi_{1m}$  – первый вектор ЕОФ-разложения,  $S_m$  – среднее значение площади льда в  $m$  месяце.

Коэффициенты корреляции между прогнозными и фактическими значениями площади льда за исключением марта находятся в пределах 0,71–0,77. Ошибки модели для всех месяцев меньше стандартного отклонения исходной выборки.

Сравнение результатов смоделированных оценок ПМЛ Баренцева моря с января по июнь с фактическими данными представлено на рис. 1.

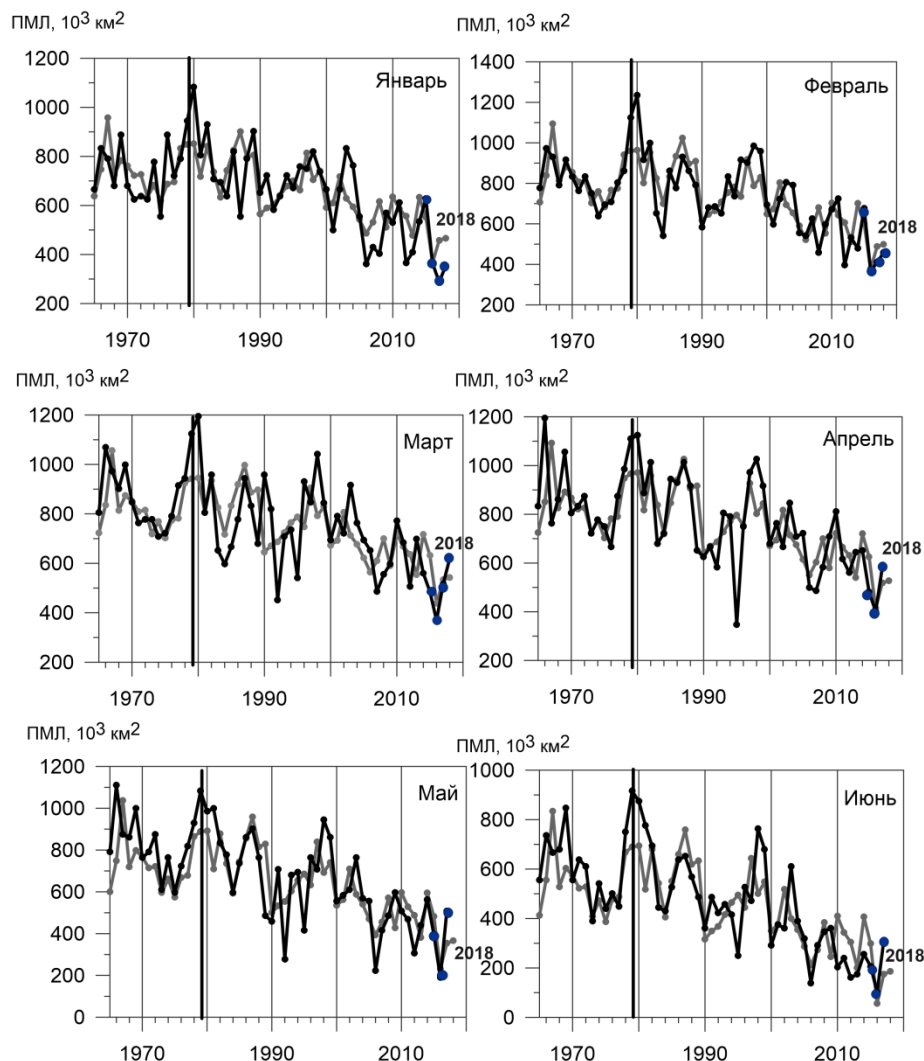


Рис. 1. Площадь льда Баренцева моря с января по июнь. Черным цветом показаны фактические данные, серым – модельные. Зависимый период построения модели 1978–2014 гг.

При проверке качества модели применялся метод отложенной выборки. В качестве независимых данных рассматривался период с 1965 по 1978 гг. Оценки качества прогнозов, выполненные по ретроспективным данным при допустимой ошибке  $\pm \delta$  (допустимая ошибка прогноза определена в соответствии с «Наставлением по службе прогнозов»), показали оправдываемость прогнозов в пределах 64–93 % (таблица 2).

Таблица 2. Оправдываемость прогноза ПМЛ за период 1965–1978 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI
Оправдываемость	86	93	93	79	71	64
Эффективность	21	7	21	7	7	0

При проверке модели на независимом периоде с 2015–2017 гг. не оправдались прогнозы в январе и июне 2017 г., т.е. средняя оправдываемость составила 89%.

#### **Выводы.**

В ходе исследования установлена определяющая роль океанического влияния на изменчивость характеристик Баренцева моря, а также оценена связь температуры воды в Баренцевом море с региональными и удаленными ТПО Атлантического океана при различных запаздываниях. Наибольшее воздействие на характеристики климата БМ оказывает температура низких широт Атлантического океана ( $5 - 25^{\circ}$  с.ш. и  $20 - 60^{\circ}$  з.д) в октябре при опережении в три года. Влияние притока атлантической воды на изменчивость ПМЛ проявляется с января по июнь, что дает возможность построения моделей сезонных изменений климатической составляющей ПМЛ.

Для оценки и выделения предсказуемой климатической составляющей в сезонной изменчивости ПМЛ применен метод разложения по естественным ортогональным функциям. Первой главной компонента описывает 83,3% дисперсии 6-ти месячной реализации ПМЛ и представляет собой климатическую составляющую ее изменчивости. Для построения модели применялся метод линейной регрессии. Модель включает в себя два предиктора – ТПО экваториальной области в октябре с опережением в три года и ТПО Норвежского моря в апреле предшествующего года. Введение второго предиктора позволило улучшить качество модели, однако при этом заблаговременность сократилась до 9–14 месяцев.

Оценка качества модели показала, что коэффициенты корреляции между прогнозными и фактическими значениями площади льда 0,71–0,77, ошибки модели за 1979–2014 гг. меньше стандартного отклонения исходной выборки.

Для оценки качества модели использован метод отложенной выборки. Оправдываемость прогнозов на независимых данных 1965–1978 гг. при допустимой ошибке, равной среднеквадратическому отклонению, составила 64–93 %. С 2015–2017 гг. не оправдались прогнозы в январе и июне 2017 г., т.е. средняя оправдываемость составила 89%.

#### **Литература**

1. Павлова Т.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. и др. Новое поколение климатических моделей // Труды ГГО. 2014. Вып. 575. С.5–64.
2. Semenov V.A., Martin T., Behrens L.K., and Latif M. Arctic sea ice area in CMIP3 and CMIP5 climate model ensembles – variability and change // The Cryosphere Discuss. 2015. V. 9. P. 1077–1131; doi:10.5194/tcd-9-1077-2015
3. Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. СПб: ААНИИ, 2004. 320 с.
4. Smedsrud L.H. et al. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Rev. Geophys. 2013. Vol. 51. P. 415–449. doi: 10.1002/rog.20017.
5. Визе В.Ю. Причины потепления Арктики // Советская Арктика. 1937. Т. 1. С. 1–7.
6. Sato K., Inoue J., Watanabe M. Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness during early winter // Environ. Res. 2014. Lett. 9084009.
7. Захаров В.Ф. Мировой океан и ледниковые эпохи плейстоцена. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 64 с.
8. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 213 с.
9. Sandø A.B., Gao Y., Langehaug H.R. Poleward ocean heat transports, sea ice processes, and Arctic sea ice variability in NorESM1-M simulations // J. Geophys. Res. Ocean. 2014. Т. 19. № 3. P. 2095–2108; doi: 10.1002/2013JC009435.
10. Алексеев Г.В., Глок Н.И., Смирнов А.В., Вязилова А.Е. Влияние Северной Атлантики на колебания климата в Баренцевом море и их предсказуемость // Метеорология и гидрология. 2016. № 8. С. 38–56.

*Исследование выполнялось в рамках ЦНТП Росгидромета при поддержке гранта РФФИ 18-05-00334.*

*The study was carried out in the framework of the Central Hydrotechnical Plant of Roshydromet with the support of the RFBR grant 18-05-00334.*



## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МОРЕХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЙОННОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ УРОВНЕ УПРАВЛЕНИЯ

Г.Г. Гогоберидзе<sup>1</sup>, д-р.эконом.наук, Е.А. Румянцева<sup>1</sup>, канд.физ.-мат.наук, Ю.А. Малахова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

## ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT IN THE MODEL OF STRATEGIC SPATIAL PLANNING OF MARITIME ACTIVITIES AT DISTRICT SPATIAL LEVEL

G.G. Gogoberidze<sup>1</sup>, Dr.Sc., E.A. Rumiantceva<sup>1</sup>, Cand.Sc., Yu.A. Malakhova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

*В работе сформулирован метод оценки экологических рисков антропогенного воздействия на основе индикаторного подхода для районного пространственного уровня управления, как составная часть модели стратегического пространственного планирования морехозяйственной деятельности.*

*The paper formulates a method for assessing the environmental risks of anthropogenic impact based on the indicator approach for the regional spatial level, as integral part of the model of strategic spatial planning of maritime activities.*

На основе российского и международного опыта в области оценки устойчивости береговых систем и береговой инфраструктуры, в применении к задачам территориального планирования, следует принять во внимание необходимость использования многоуровневой системы оценки устойчивости с использованием предупреждающего и останавливающего пороговых уровней неблагоприятного воздействия [1-8].

Использование методологии оценки и анализа составляющих факторов устойчивости береговых систем и береговой инфраструктуры для различных пространственных уровней может позволить [1, 2, 4, 9, 10]:

- 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.

Для районного пространственного уровня управления при учете средне- и долгосрочных изменений в модели стратегического пространственного планирования морехозяйственной деятельности в качестве одной из важнейших составляющих необходимо рассмотреть природно-экологических факторов устойчивости. Неотъемлемость этих факторов обусловлена тем, что географическая природная среда, являясь сложным образованием, качественно своеобразным, отличающимся от других компонентов природы, оказывает сильнейшее воздействие на развитие и сохранение среды. При этом для рассматриваемого пространственного уровня учет этих факторов можно свести к оценке экологических рисков антропогенного воздействия на береговую систему и береговую инфраструктуру.

В работах и исследованиях по изучению береговых систем широкое признание получил индикаторный подход, который объединяет иные подходы к оценке устойчивости береговых систем и береговой инфраструктуры. Индикаторный подход подразумевает использование различных систем индикаторов для анализа и оценки состояния устойчивости и тенденции развития береговых систем [9-11].

В соответствии с Докладом «О состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2016 году» было отмечено, что прибрежные территории являются зонами повышенного экологического риска. Эта полоса насыщена промышленным и военным потенциалом, и основным источником загрязнения является вынос загрязняющих веществ антропогенного происхождения с речным стоком, в который осуществляется сброс сточных вод предприятиями и организациями Мурманской области, в том числе сброс производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод флотами и береговыми предприятиями различных ведомств, расположенными на его берегах [12].

При этом необходимо отметить высокую степень неравномерности антропогенного воздействия на береговую систему, связанную в первую очередь с неравномерностью распределения объектов проживания и хозяйственной деятельности по берегам Мурманской области. По суммарному показателю антропогенного воздействия на природные среды по качеству окружающей среды, ситуация в районе Кольского залива Баренцева моря в 2016 году оценивается как умеренно-напряженная, а в районе г. Кандалакша – как стабильная.

Все приморские районные муниципальные образования имеют особенности своего экономического развития и экологического состояния, обусловленные различными физико-географическими, историческими и экономическими аспектами, что определяет текущее состояние качества окружающей среды. Ввиду данных аспектов территориальное планирование нуждается в поддержке современных географических информационных систем с заложенным алгоритмом вычисления эколого-экономических параметров, которые путем визуализации текущей ситуации и возможностями прогнозирования по различным сценариям облегчат и сделают более обоснованным процесс принятия решений.

К районному пространственному уровню относятся приморские районные муниципальные образования в пределах их административных границ. Приоритетными являются границы административно-территориального деления, как образующие районы, по которым имеются открытые официальные данные по прямым и косвенным факторам воздействия на окружающую среду, таких как антропогенная деятельность, плотность населения, площади особо охраняемых территорий и иные сопоставимые данные.

При выборе факторов и параметров оценки воздействия на окружающую среду учитывались два основных принципа:

- воздействия, которые прямо или косвенно влияют на состояние окружающей среды;
- наличие статистической, находящейся в открытом доступе официальной информации тех параметров, по которым прямо или косвенно можно оценить состояние окружающей среды.

Все факторы воздействия на окружающую среду можно подразделить на прямые и косвенные. К прямым факторам воздействия относятся те, которые непосредственно воздействуют на окружающую среду и не имеют необходимости подразделяться на составные части, такие как выбросы в атмосферу, наличие и площадь охраняемых территорий и другие. Косвенными параметрами являются такие параметры оценки, через которые можно выразить давление на окружающую среду, которые напрямую не будут показывать состояние окружающей среды, но иметь физические обоснования для этого, например, плотность прибрежного населения, экономические расходы, выделенные на охрану окружающей среды и другие.

Оценить качество окружающей среды в приморских районных муниципальных образованиях возможно опираясь на такие данные, как:

- величина денежных средств, выделенных на природоохранные меры районным муниципальным образованием. Этот параметр отображает экономическую составляющую воздействия на окружающую среду и ее сохранение;

- количество предприятий из общего числа предприятий муниципалитета, имеющих стационарные источники выбросов в атмосферу. Данный параметр показывает общую степень нагрузки на атмосферу муниципалитета. Однако следует иметь в виду наличие ветров и соответственно переносов вещества из одного района в другой, что необходимо отмечать при использовании данного параметра;

- параметр выбросов в атмосферу, выраженный в единицах стоимости, как показатель, уже учитывающий выбросы различных типов веществ, нормированные в соответствии со

стандартами и выплачиваемые всеми предприятиями, загрязняющие атмосферный воздух муниципалитета;

– фактор наличия особо охраняемых природных территорий и занимаемых ими территорий. Данный фактор способствует не только сохранению природы, но и частично может компенсировать отрицательные воздействия на окружающую среду, сохраняя первозданную природу в удаленных от промышленно развитых поселений районах;

– параметр плотности прибрежного населения показывает, какое количество жителей проживает в прибрежной полосе. Данный параметр определяет общую нагрузку на окружающую среду, связанную с жизнедеятельностью человека и поддержание приемлемого уровня по отношению к качеству воды, воздуха, почв и т.д.;

– параметр морской инфраструктуры важен для тех районов, где наблюдается развитие портовых комплексов и развитая система навигации морского транспорта в пределах прибрежной зоны. Оба этих составляющих влияют на качество окружающей среды в приморской полосе суши, например, увеличивая концентрацию нефтепродуктов.

Учет указанных параметров и факторов будет способствовать упрощению оценки текущего качества окружающей среды, как включающих в себя не только покомпонентные, но уже и интегральные комплексные показатели, с экономической составляющей.

Использование индикаторного метода оценки воздействия на окружающую среду для приморских районных муниципальных образований позволяет оценить характер их экологического состояния, давая возможность показать иерархию районов и оценить воздействие на окружающую среду и ее уязвимость [9-11, 13].

Индикаторный подход может быть использован также для оценки факторов воздействия на окружающую среду. При разработке системы и методов показателей расчета были сделаны следующие предположения для всех разработанных индикаторов:

– значение индикатора должно быть безразмерным и принимать значения в диапазоне от -1 до +1;

– требуется отказ от использования весовых функций при расчете интегральных показателей, так как это приведет к неоднозначности и противоречиям в оценке важности каждого показателя.

Перечень факторов оценки экологического состояния приморских локальных муниципалитетов оценивается по 6 основным показателям:

- индикатор расходов по охране окружающей среды;
- индикатор общего воздействия предприятий;
- индикатор выбросов в атмосферу;
- индикатор охраняемых территорий;
- индикатор плотности прибрежного населения;
- индикатор морской инфраструктуры.

Интегральный показатель оценки экологических рисков антропогенного воздействия на береговую систему и береговую инфраструктуру рассчитывается как среднее из 6 показателей. Такой интегральный индикатор, который рассчитывается для каждого приморского районного муниципального образования, показывает состояние экологической ситуации на территории данного муниципалитета.

Согласно проведенным исследованиям выявлено неоднородное распределение антропогенной нагрузки по приморским районным муниципальным образованиям Мурманской области. Наличие муниципальных образований с принципиально разными типами производимых товаров и оказываемых услуг требует особого внимания. Снижение негативных последствий антропогенного воздействия предприятий, в частности, морских портов в акватории Баренцева и Белого морей, возможно путем реализации компенсационных мер в отношении окружающей среды, таких как увеличение количества и площадей охраняемых природных территорий с ограниченным видом пользования, учет природных составляющих мест развития существующих и строительства новых предприятий и других мер.

## Литература

1. A Reference Guide on the Use of Indicators for Integrated Coastal Management. ICAM Dossier I, IOC Manuals and Guides N 45. UNESCO IOC. 2003.
2. 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. Volume 46. Number 3-4. 2003. P. 225-234.
3. 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. Volume 46. Number 3-4. 2003. P. 299-312.
4. 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.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. М.: МГОФ "Знание", тт.1-48, 1998-2015.
6. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. М.: Академия, 2007.
7. 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.
8. Плинк Н.Л., Гогоберидзе Г.Г. Политика действий в прибрежной зоне. СПб.: изд. РГГМУ, 2003.
9. Gogoberidze G., Lednova J., etc. Coastal Ecosystems. Types, Sustainable Management and Conservation Strategies. Nova Science Publishers, Inc., 2014.
10. 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), P. 251-260.
11. Гогоберидзе Г.Г. Индикаторные методы как инструмент комплексного анализа и оценки приморских территорий // Вестник ИНЖЕКОНА. Серия: Экономика. № 3. 2008. С. 142-151.
12. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2016 году». Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области. Мурманск, 2017.
13. 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. Marmaris, Turkey. P. 373-381.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках реализации научного проекта № 16-05-00724 «а».*

*The study was carried out with the support of the RFBR in the framework of the implementation of the scientific project No. 16-05-00724 “a”.*

## ИХТИОФАУНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ: ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМАТИКИ

О.В. Голованева<sup>1</sup>, М.А. Суботьялов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

## FISH FAUNA OF NOVOSIBIRSK REGION: SYSTEMATIC ISSUES

O.V. Golovaneva<sup>1</sup>, M.A. Subotyalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk state pedagogical university, Novosibirsk, Russia

*В данной работе представлены проблемные вопросы систематики ихтиофауны Новосибирской области, касающиеся классификации 8 отрядов. Также отражены противоречия в распределении более мелких таксонов.*

*In this work systematic issues of 8 class of fish fauna of Novosibirsk region are presented. Also reflected contradictions in smaller taxonomic units.*

Вопросы систематики органического мира входили в сферу науки с самых ранних этапов ее становления [1]. При этом систематика находится в более шатком положении, чем другие сферы науки, так как она ориентирована на фиксацию стабильного состояния, а эволюция живых организмов — это динамичный процесс. Помимо определенного набора для выявления и определения таксона существует также ряд факторов, который может поставить все это под сомнение. Само эволюционное развитие усложняет отнесение образцов к определенной таксономической единице. Помимо эволюционного фактора организм претерпевает изменения под влиянием экологических и/или абиотических факторов среды [2]. Нами были рассмотрены и представлены проблемные вопросы систематики рыб Новосибирской области.

По данным, выложенным на популярном сайте, который ссылается на файлы Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области [3], вся ихтиофауна данного региона состоит из 6 отрядов: осетрообразные (Acipenseriformes), лососеобразные (Salmoniformes), карпообразные (Cypriniformes), окунеобразные (Perciformes), скорпенообразные (Scorpaeniformes). В процессе сбора информации по систематике данного региона были найдены все эти отряды, однако с некоторыми изменениями. Помимо этого, большинство авторов выделяют в самостоятельные отряды шукообразных (Esociformes) и колюшкообразных (Gasterosteiformes), и таким образом на территории Новосибирской области насчитывается 8 отрядов. В данной работе представлены изменения положения таксонов у разных авторов.

### **Отряд шукообразные (Esociformes).**

Одним из самых спорных является отряд шукообразных (Esociformes). У Н.Г. Богуцкой [4], В.И. Романова [5] и Джозефа С. Нельсона [6] шукообразные выделены в самостоятельный отряд. Н.Г. Богуцкая выделяет в нем два семейства: шуковые (Esocidae) и умбровые (Umbridae) [4]. Ю.С. Решетников выделяет данный таксон как подотряд шуковидных (Esocoidei), входящий в состав отряда лососеобразных (Salmoniformes) [7]. Подотряд шуковидных (Esocoidei) включает в себя также как у Н.П. Богуцкой 2 семейства, однако семейства неодинаковы: шуковые (Esocidae) и даллиевые (Dalliidae). Е.Д. Васильева выделяет рыб данного таксона в семейство шукообразных (Esocidae) в составе отряда лососеобразных (Salmoniformes) [9].

### **Отряд лососеобразные (Salmoniformes).**

Отряд лососеобразных (Salmoniformes) включает в себя некоторые таксономические изменения внутри себя. Н.Г. Богуцкая выделяет в нем три семейства: сиговые (Coregonidae), хариусовые (Thymallidae) и лососевые (Salmonidae) [4]. М.И. Меньшиков не выделяет семейство сиговых (Coregonidae) отдельно, и рыбы из данного таксона он включает в семейство лососевых (Salmonidae) [10]. У Ю.С. Решетникова отряд лососеобразные разделен на 3 подотряда: лососевидные (Salmonoidei), включает семейства лососевых (Salmonoidei), сиговых (Coregonidae) и хариусовых (Thymallidae), корюшковидные (Osmeroidei), включает семейство корюшковых (Osmeridae) (на территории Новосибирской области не встречается), и шуковидные (Esocoidei), который состоит из шуковых (Esocidae) и даллиевых (Dalliidae) семейств [7]. У Джозефа С. Нельсона [6] и В.И. Романова [5] данный отряд идет без изменений.

**Отряд трескообразные (Gadiformes).**

В отряде трескообразных (Gadiformes) расхождение идет в семействах. Н.Г. Богуцкая выделяет два семейства: тресковые (Gadidae) и налимовые (Lotidae)[4]. Однако у Ю. С. Решетникова данный отряд включает в себя только одно семейство налимовых (Lotidae) [8].

Таблица 1. Сопоставление таксонов ихтиофауны НСО в публикациях исследователей

Название таксона	Таксон	Авторы	Расхождения в подотрядах/семействах	Авторы
Щукообразные (Esociformes)	отряд	Н.П. Богуцкая, Дж.С. Нельсон, В.И. Романов	Щуковые и умбровые/ щуковые и дальневые	Н.П. Богуцкая, Ю.С. Решетников
	подотряд	Ю.С. Решетников		
	семейство	Е.Д. Васильева, на сайте		
Лососеобразные (Salmoniformes)	отряд	У всех авторов	Сем. сиговые, хариусовые, лососевые/ подотр. Лососевидные (сем. Лососевые, сиговые, хариусовые), корюшковидные (сем. корюшковые), щуковидные (сем. щуковые, дальневые)/ лососевые, хариусовые	Н.П. Богуцкая, Ю.С. Решетников, Е.Д. Васильева, М.И. Меньшиков
Трескообразные (Gadiformes)	отряд	У всех авторов	Сем. Тресковые, налимовые/ налимовые	Н.П. Богуцкая, Ю.С. Решетников
Колюшкообразные (Gasterosteiformes)	отряд	У всех авторов	Сем. Колюшковые, игловые/колюшковые	Н.П. Богуцкая, Ю.С. Решетников, Е.Д. Васильева
	семейство	На сайте		
Скорпенообразные (Scorpaeniformes)	отряд	У всех авторов	Подотр. Рогатковые, сем. Керчаковые, голомянковые, глубоководные широколобки/ сем. рогатковые	Ю.С. Решетников, Н.П. Богуцкая
Окунеобразные (Perciformes)	отряд	У всех авторов	Подотр. Окунеvidные (сем. Перцихтовые, центрарховые, окуневые, цихловые), бычковидные (головешковые, бычковые), змееголовые (змееголовые)/ сем. мороновые, перцихтовые, центрарховые, окуневые, бельдюговые, цихловые, головешковые, бычковые, гурамиевые, змееголовые	Ю.С. Решетников, Н.П. Богуцкая
Осетрообразные (Acipenciformes)	отряд	У всех авторов		
Карпообразные (Cypriniformes)	отряд	У всех авторов		

**Отряд колюшкообразные (Gasterosteiformes).**

Отряд колюшкообразных (Gasterosteiformes) выносится в самостоятельный отряд у Н.Г. Богуцкой[4], Ю.С. Решетникова[8], Е.Д. Васильевой[9], Джозефа С. Нельсона[6] и В.И.

Романова[5]. Н.Г. Богуцкая выделяет в нем два семейства: колюшковые (Gasterosteidae) и игловые (Syngnathidae)[4]. Ю.С. Решетников[8] и Е.Д. Васильева[9] выделяют лишь одно семейство колюшковых (Gasterosteidae).

**Отряд скорпенообразные (Scorpaeniformes).**

В отряде скорпенообразных (Scorpaeniformes) Н.Г. Богуцкая выделяет одно семейство рогатковых (Cottidae)[4]. Ю.С. Решетников выделяет в данном отряде подотряд рогатковых (Cottoidei), который включает в себя три семейства: керчаковые (Cottidae), голомянковые (Comerphoridae) и глубоководные широколобки (Abyssocottidae)[8].

**Отряде окунеобразные (Perciformes).**

В отряде окунеобразных (Perciformes) сложностью являются семейства. Н.Г. Богуцкая выделяет в данном отряде 10 семейств на территории России: мороновые (Mogonidae), перцихтовые (Percichthyidae), центрарховые (Centrarchidae), окуневые (Percidae), бельдюговые (Zoarcidae), цихловые (Cichlidae), головешковые (Odontobutidae), бычковые (Gobiidae), гурамиевые (Osphronemidae), змееголовые (Channidae) [4]. Ю.С. Решетников выделяет три подотряда: окуневидные (Percoidei), включает семейства перцихтовые (Percichthyidae), центрарховые (Centrarchidae), окуневые (Percidae), цихловые (Cichlidae), подотряд бычковидные (Gobioidei), включает семейства головешковые (Eleotrididae), бычковые (Gobiidae), и подотряд змееголовые (Channoidei), которое включает одно семейство змееголовых (Channidae)[8]. Помимо разногласия в самой классификации окунеобразных, у Ю.С. Решетникова [8] семейство головешковых имеет латинское название Eleotridae в то время, как у других авторов[4, 11] это семейство Odontobutidae.

**Отряды осетрообразные (Acipenciformes) и карпообразные (Cypriniformes).**

В классификациях данных отрядов противоречия не наблюдаются. Отряды осетрообразные (Acipenciformes) и карпообразные (Cypriniformes) остаются неизменными у всех авторов.

К сожалению, не каждый автор пишет о причинах отнесения того или иного отряда к семейству, или выделения семейства в отдельный отряд. Из-за этого возникает сложность в определении причин, почему данный отряд или семейство выделено именно в данный таксон.

**Литература**

1. Панова А. С., Суботьялов М. А. Основные этапы становления и развития филогенетической систематики // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2016. – № 6 (34). – стр. 61-68.
2. Майр Э. Систематика и происхождение видов с точки зрения зоолога. – М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1947. – 500 с.
3. URL:www.balatsky.ru
4. Богуцкая Н. Г., Насека А. М. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. –389 с.
5. Романов В. И. Ихтиофауна России в системе рыб мировой фауны. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2015. – 410 с.
6. Нельсон Джозеф С. Рыбы мировой фауны. – М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2009. – 880 с.
7. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю. С. Решетникова. – М.: Наука, 2003. Т.1. – 379 с.
8. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю. С. Решетникова. – М.: Наука, 2003. Т.2. – 253 с.
9. Васильева Е. Д. Природа России: Жизнь животных. Рыбы. – М.: Изд-во АСТ, 1999. –640 с.
10. Меньшиков М. И. Рыбы бассейна реки Оби. –Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2011. – 216 с.
11. Петлина А. П., Романов В. И. Изучение молоди пресноводных рыб Сибири. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 246 с.

## АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБСКОЙ ГУБЫ ПО СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Н.В. Головин<sup>1</sup>, Н.В. Кубышкин<sup>2</sup>, В.В. Рудаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО «Арктик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург, Россия

## ANALYSIS OF ICE CONDITIONS OF THE NORTHERN PART OF THE GULF OF OB BY REMOTE SENSING INFORMATION

N.V. Golovin<sup>1</sup>, N.V. Kubyshkin<sup>2</sup>, V.V. Rudakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>«Arctic Shelf Consulting» LLC, St. Petersburg, Russia

*Выполнен обзор ледовых условий в северной части Обской губы на основании данных дистанционного зондирования, применения ГИС и методов статистической обработки. Проанализирован массив космических снимков и ледовых карт с 1998 – 2015 гг.*

*Ice conditions in the Northern part of the Ob Bay are reviewed on the basis of remote sensing data, GIS application and statistical processing methods. Analyzed an array of satellite imagery and ice maps from 1998 - 2015.*

Повышение интенсивности судоходства в акватории Обской губы обусловливается развитием нефтегазовой инфраструктуры Ямала и Гыдана. В круглогодичном режиме выполняется навигация в район мыса Каменный и в порт Сабетта. В ближайшие годы планируется начало транспортировки сжиженного природного газа (СПГ) из порта Сабетта крупнотоннажными СПГ-газовозами, специально для которых сооружён морской канал через мелководье в северной части губы. Возникает необходимость в надёжных ледовых прогнозах по локальным участкам Обской губы, через которые пройдут пути следования СПГ-газовозов, особенно в районе канала, который находится у крайне изменчивой границы припая и полыньи с дрейфующим льдом.

Банк исходных данных по ледовым условиям был сформирован на основе спутниковой информации с ИСЗ NOAA (AVHRR), RADARSAT-1, 2, Suomi NPP (VIIRS), TERRA (MODIS) за период с 1998 по 2015 г.

Для пространственного анализа ледовой обстановки с использованием геоинформационных методов интересующая акватория Обской губы от 70° до 73° с.ш. была разбита на участки в 10' по широте и 15' по долготе. Это позволило сформировать регулярную сетку из 135 квадратов (участков). Каждому квадрату присваивался идентификационный номер, а затем вводились атрибутивные данные о ледяном покрове (сплочённость, раздробленность, виды льда) на дату выполнения спутниковой съёмки. Информация заносилась ежемесячно для разных лет. В дальнейшем материалы статистически обрабатывались, и для каждого квадрата производилось определение средних значений в баллах различных видов льда, его сплочённости, наличии чистой воды и припая. Особый интерес результаты данной работы представляют в акватории расположения морского канала.

Материалы обработки позволили определить положение средней кромки припая по месяцам, максимальное и минимальное положения кромки в северной части Обской губы. Определена изменчивость положения северной кромки припая за 18-летний период, начиная с 1998 г. Установлено, что положение кромки припая имеет циклический характер и тенденцию к смещению на юг. Привлечение данных дистанционного зондирования и использование ГИС-инструментов позволяют выполнить расчёты по определению размеров ледяных полей в весенне-летний период после взлома припая. Проанализированы размеры 478 наиболее крупных ледяных полей. Максимальное по площади ледяное поле наблюдалось в марте 2012 г. (668 км<sup>2</sup>), а средний размер ледяных полей составил 63 км<sup>2</sup>.



## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ЛЕНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Н.И. Горошкова<sup>1</sup>, канд.техн.наук, А.В. Стриженок<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF ICE PHENOMENA ON RIVERS IN THE MIDDLE LENA BASIN UNDER CLIMATE CHANGE

N.I. Goroshkova<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.V. Strizhenok<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Объект исследования-заторы льда, обусловленные ими наводнения на реках бассейна Средней Лены. Анализ изменения вкладов затороформирующих факторов в условиях происходящего изменения климата. Результаты исследований предназначены для использования в оперативной работе региональных центров Росгидромета Восточной Сибири.*

*The object of the study is ice-jams on rivers in the Middle Lena basin and floods caused by them. Variability of contribution of different ice-jams formation factors under the current climate change was analyzed. The study results are for use in operating activities at regional centers of Roshydromet in the Eastern Siberia.*

Зимой на реках России наблюдается ледяной покров, а сопровождающие его образование и разрушение процессы и явления достаточно часто обуславливают чрезвычайные ситуации - осенние зажоры и возникающие при прохождении весеннего половодья заторы, когда при большей водности реки в ней скапливаются массы льда, в результате чего резко уменьшается водопрпускная способность русла. Заторы приводят к резким подъемам уровня воды и затоплению обширных территорий. Почти на половине речных гидрологических постов наивысшие уровни воды отмечены при заторах льда. Убытки от заторных наводнений нередко составляют десятки миллиардов рублей [1,2].

Реки, являясь продуктом климата, обладают инерционностью и не сразу реагируют на происходящие в их бассейнах изменения, в том числе климатические. Исследования влияния потепления климата на такие характеристики ледового режима рек, как наибольшая толщина льда, продолжительность периода ледостава, даты начала и окончания ледостава, максимальные уровни начала ледостава, ледоходов, заторов льда, а также максимальные годовые уровни необходимы для разработки и усовершенствования методик прогноза заторных наводнений, оценки зон затопления в период затора и прохождения весеннего половодья, воздействия ледяных полей на гидротехнические сооружения.

Во втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [3] показано, что характеристики криосферы уже откликаются на потепление климата, и это проявляется в сокращении площади снежного покрова, уменьшении толщины морского льда на 23% [1]. Вечная мерзлота также начинает оттаивать за счет увеличения температуры почвы в слое до 3 м [4].

Исследуемый район - центральная и южная части Якутии, где отмечается наиболее значительное повышение температуры, особенно в холодный период [5]. На рис.1 представлен хронологический график хода средней зимней температуры воздуха по м.ст Якутск, из которого видно, что температура растет, особенно, с конца 1980х годов. Аналогичная закономерность роста зимних температур имеет место и на большинстве метеостанций республики Саха (Якутия) [6].

Для исследования влияния изменений климата на характеристики ледового режима были использованы данные по 11 гидрологическим постам в бассейне Средней Лены (таблица 1). Наблюдения за толщиной ледяного покрова начаты с 1950 года, поэтому их продолжительность, в основном, составляет 67 лет с началом наблюдений в 1950 г. и окончанием в 2016-17 гг.

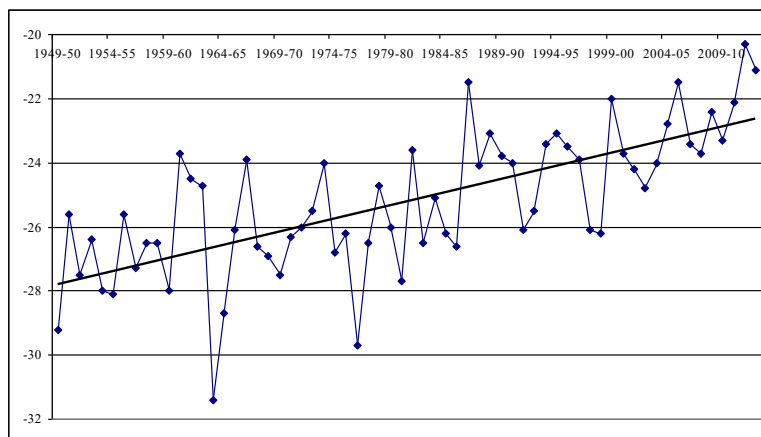


Рис. 1. Хронологический график хода средней зимней температуры воздуха на метеостанции Якутск

Таблица 1. Характеристики пунктов и периоды наблюдений

Код поста	Река-пункт	Широта	Долгота	Период	Число лет набл.	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>
3035	Лена - Олекминск	60,36	120,4248	1950-2017	68	560000
3045	Лена - Якутск	62,0127	129,8554	1962-2016	55	904000
3047	Лена - Кангаласцы	62,3478	130,0346	1950-2016	67	912000
3168	Олекма - Джекимдэ	59,031	121,7665	1955-2016	62	109000
3169	Олекма - Куду-Кёль	59,455	121,3242	1950-2016	67	115000
3172	Нюкжа - Лопча	55,7582	122,7238	1963-2016	54	20500
3180	Чара - Токко	59,9923	119,8437	1950-2016	67	62500
3219	Алдан - Томмот	58,9617	126,2749	1950-2016	67	49500
3225	Алдан – Охот.Перевоз	61,868	135,4879	1950-2016	67	514000
3248	Тимптон - Усть-Тимптон	58,6704	121,0342	1953-2016	64	43700
3264	Учур - Чюльбю	57,8615	131,1177	1954-2017	64	108000

Методика оценки изменений основана на применении статистических критериев оценки стационарности дисперсий (критерий Фишера) и средних значений (критерий Стьюдента) для двух частей временного ряда [7]. Рассматривались такие основные характеристики ледового режима рек как: наибольшая толщина льда за период ледостава ( $h_{\text{макс}}$ ), продолжительность периода ледостава в днях ( $T_{\text{лед}}$ ), даты начала ( $T_{\text{нач}}$ ) и окончания ( $T_{\text{кон}}$ ) ледостава. Результаты оценки стационарности дисперсий и средних значений за два полупериода по критериям Фишера и Стьюдента соответственно приведены в таблице 2, где знаком “+” отмечено принятие гипотезы стационарности при уровне значимости  $\alpha=5\%$ , знаком “-” – отклонение гипотезы при  $\alpha=1\%$ , а “(+)” – область условного принятия гипотезы стационарности при уровне значимости, соответствующем расчетному значению статистики критерия в диапазоне  $3\% \leq \alpha < 5\%$  и “(-)” – область условного отклонения гипотезы стационарности при уровне значимости, соответствующем расчетному значению статистики критерия в диапазоне  $1\% \leq \alpha < 3\%$ . В случае условного принятия или отклонения гипотезы стационарности в таблице 2 приводится также и уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия.

Из таблицы 2 следует, что стационарными можно считать только многолетние ряды наибольшей толщины льда на реках. Для рядов остальных характеристик ледового режима гипотеза стационарности средних значений отклоняется при  $\alpha=5\%$  в 4 случаях из 11-ти для продолжительности ледостава (рис. 2), в 4 случаях для даты начала и в 5 случаях для даты окончания ледостава. Рядов нестационарных по дисперсиям при  $\alpha=5\%$  всего 5, а если считать, что гипотезу стационарности можно условно принять в 3 случаях из 5, то для оставшихся двух

случаев нестационарность дисперсий обусловлена влиянием отдельных аномальных экстремумов.

Таблица 2. Результаты оценки стационарности по критериям Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) многолетних рядов характеристик ледового режима

Код поста	h <sub>макс</sub>		T <sub>ледст</sub>		T <sub>нач.ледст</sub>		T <sub>кон.ледст</sub>	
	Ф	Ст	Ф	Ст	Ф	Ст	Ф	Ст
Лена - Олекминск	+	+	(+) 4,6	(-)2,4	+	(-)1,6	(+)4,4	+
Лена - Якутск	+	+	+	-	+	(-)2,8	+	+
Лена-Кангаласцы	+	+	+	+	(-)2,1	+	+	(+)3,6
Олекма - Джекимдэ	+	+	+	-	+	-	+	-
Олекма - Куду-Кёль	+	+	+	+	+	+	+	(+)3,4
Нюкжа - Лопча	+	+	+	(-)2,9	+	-	+	+
Чара - Токко	+	+	+	+	+	+	+	(-)2,6
Алдан-Томмот	+	+	+	+	+	+	+	(-)2,1
Алдан-Охот. Перевоз	+	+	+	+	(-)1,7	+	+	+
Тимптон-У.Тимптон	(+)4,3	+	+	+	+	+	+	(+)4,3
Учур - Чюльбю	+	+	+	+	+	+	+	+

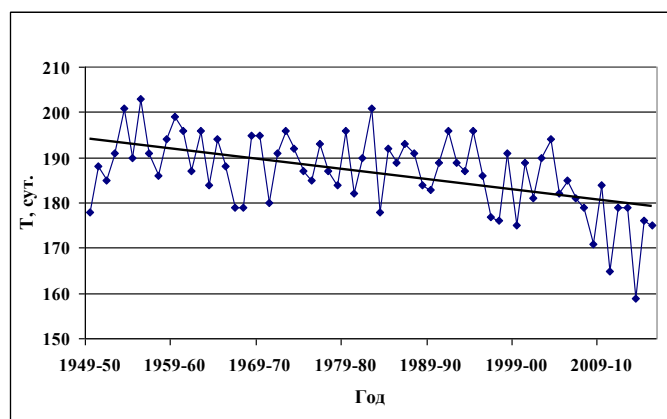


Рис. 2. Хронологический график продолжительности ледостава на р. Лена – г. Олекминск (1950-2017 гг.)

В результате анализа максимальных уровней: начала ледостава ( $H_{\text{ледст}}$ ), ледохода ( $H_{\text{лдох}}$ ), заторные уровни ( $H_{\text{зат}}$ ), а также для сравнения с ними максимальных в году уровней воды ( $H_{\text{год}}$ ), которые обычно имеют место в период весеннего половодья установлено, что нестационарными являются многолетние ряды максимальных уровней начала ледостава в створах Лена-Кангаласцы, Олекма-Джекимдэ, Нюкжа-Лопча, Алдан-Томмот, Чара-Токко и Тимптон-Усть-Тимптон. Значения этих уровней с началом климатических изменений растут (рис. 3). Ряды других максимальных уровней (ледохода и максимальных в году) – стационарны, тренды зависимостей незначимы, как для всего периода наблюдений, так и для периода климатических изменений.

Увеличение максимальных уровней начала ледостава является следствием изменения характера образования льда в осенний период. Смещение дат начала образования ледяного покрова на более поздние приводит к увеличению продолжительности шугоходов и объема шуги. Русло реки к этому времени уже оказывается частично заполнено шугой. Эти процессы приводят к увеличению вероятности возникновения заторов льда в период весеннего половодья, максимальные уровни которых часто являются причиной мощных наводнений и затопления огромных территорий, как например, было в г. Якутска в 1998, 1999 гг. и в г. Ленске в 2001 г. [8,9]. Наиболее затороопасным является участок р. Лены у поста 3047 Лена – Кангаласцы, где с

конца 1980х годов частота максимальных уровней заторного происхождения увеличилась в 2 раза: с 9 до 19 случаев. В ряду максимальных уровней по посту 3169 более 50% значений (47 из 67) относится к уровням заторного генезиса. По другим створам района максимальных заторных уровней в рядах от 4–5 (пункт 3225) до 23 (пункт 3168) – 28 (пункт 3047) случаев. Возрастающее влияние осенних ледоставных уровней отразилось на изменении соотношения вкладов аргументов зависимостей для прогноза максимальных заторных уровней (таблица 3).

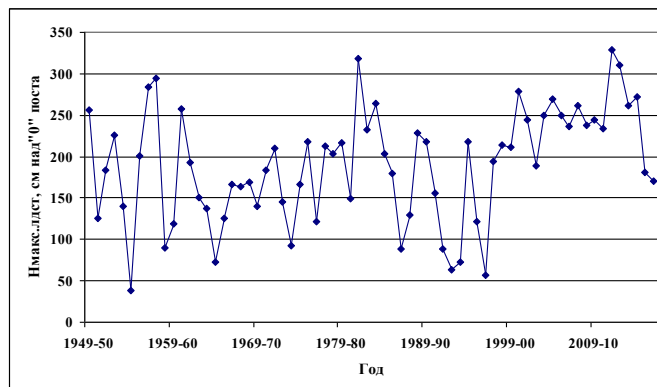


Рис. 3. Хронологический график максимальных уровней вначале ледостава (Нмакс.лдст) р. Лена – пос. Кангаласцы (1950-2017 гг.)

Таблица 3. Детерминированные вклады аргументов прогнозной зависимости для г. Якутска

Период, по которому установлена зависимость для р.Лена-г. Якутск	Аргументы прогнозной зависимости			
	характеризующие осень-зиму		характеризующие весну	
	Ледоставный уровень воды, см	Максимальная толщина ледяного покрова, см	Расход (уровень) воды при вскрытии реки	Температура воздуха при вскрытии реки
1951-74 гг.	0,01	0,03	0,71	0,25
1975-2012 гг.	0,11	0,07	0,52	0,30

И хотя наводнения заторного характера наблюдаются не ежегодно, однако наносимый ими материальный ущерб достигает многих миллионов рублей. Поэтому исследование причин их формирования, методики прогноза максимальных уровней, основанные на учете осенних и весенних факторов, включающих максимальные уровни начала ледостава, максимальную толщину льда, температуры зимнего периода, а также оценка потенциального риска затопления хозяйственно освоенных территорий являются актуальными [8].

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Зимняя температура воздуха растет (интенсивнее с середины 1980х годов).
2. Максимальная толщина льда практически стационарна.
3. Продолжительность ледостава уменьшилась на 1-2 недели, в основном, за счет более ранней (на 6-8 дней) даты окончания, начало ледостава в среднем наступает на 3-4 дня позже.
4. Из характерных максимальных уровней нестационарными являются только ряды максимальных уровней начала ледостава – они увеличиваются, что повышает значимость осенних факторов в прогнозных зависимостях для максимальных заторных уровней.

### Литература

1. Алексеев Г.В., Данилов А.И., Кацов В.М., Кузьмина С.И., Иванов Н.Е. Морские льды Северного полушария в связи с изменением климата в XX и XXI веках по данным наблюдений и моделирования. Изв. РАН, сер.ФАО, т.45,№6, 2009, с.723-735.

2. Бузин В.А., Горошкова Н.И., Стриженов А.В. Многолетние изменения максимальных заторных уровней воды на затороопасных участках Сухоны, Малой Северной Двины, Томи и Лены. (Доклад на VII Всероссийском гидрологическом съезде, 2013 г. СПб.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Изд-во ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», М.: 2015. - 1008 с.
4. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н. Тепловое состояние верхних горизонтов криолитозоны Центральной Якутии. Труды 10-ой междунар. Конф. По мерзлотоведению, Т.3, 2012, с.47-52
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Ожидаемые и наблюдаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 194 с.
6. К.С. Кириллина, В.А.Лобанов Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия). Ученые записки РГГМУ, 2015, № 38, с.137-151.
7. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб: изд. РГГМУ, 2008. 408с.
8. Горошкова Н.И., Стриженов А.В. Происхождение и потенциальный риск заторных наводнений на реках восточной Сибири. Доклад на IV Всероссийской науч. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» ВКА им. А.Ф.Можайского, СПб 2016)
9. Рождественский А.В., Бузин В.А., Лобанов В.А. Исследование условий формирования и расчеты максимальных уровней воды на р. Лене у г. Ленска. Метеорология и гидрология, № 2, 2003, с.68-76.

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НЕФТЕПРОДУКТАМИ И АНИОНАКТИВНЫМИ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

О.М. Горшкова<sup>1</sup>, К.А. Чевель<sup>1</sup>, Д.Д. Бадюков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

## CONTAMINATION OF THE MOZHAISK RESERVOIR OF OIL PRODUCT AND ANION-ACTIVE SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES

O. M. Gorshkova<sup>1</sup>, K.A. Chevel<sup>1</sup>, D.D. Badyukov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*В работе представлены данные исследования загрязнения Можайского водохранилища нефтепродуктами и анионноактивными поверхностно активными веществами в период 2016 – 2018 гг. Изучена вертикальная стратификация распределения загрязняющих веществ по глубинам. Выявлены наиболее загрязненные участки акватории.*

*The results of a study of contamination of the Mozhaisk reservoir of oil-and anion-active surface-active substances in 2016 – 2018 are presents. The vertical stratification by depths was studied. The water area of the most contamination were identified.*

Загрязнение нефтепродуктами (НП) и анионноактивными веществами (АПВ) изучали во время студенческих практик на Можайском водохранилище [1,2]. В данной работе проанализированы результаты, полученные в 2016-2018 гг. как наиболее репрезентативные. Нефтепродукты представляют собой смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти и нефтяных газов. Основными источниками нефтепродуктов в водоёмах являются транспортные объекты, расположенные вдоль берега, такие как автодороги, автозаправочные станции, стоянки автомобилей, селитебные территории и водный транспорт. Нефтепродукты могут приноситься с ветровым аэрозольным переносом и выпадать вместе с атмосферными осадками, однако основная масса поступает вместе с поверхностным стоком [1,2].

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические соединения, которые концентрируются в зонах пограничных геохимическим барьерам, могут вызывать снижение поверхностного натяжения на границе раздела вода-воздух. Поверхностноактивные вещества (ПАВ) имеют амфифильное строение, то есть молекулы ПАВ имеют в своём составе полярную часть, гидрофильный компонент, и неполярную (углеводородную) часть, гидрофобный компонент. Анионноактивные поверхностно-активные вещества (АПВ), являются основной составной частью синтетических моющих средств. АПВ составляют примерно три четверти общего производства СПВ в мире. АПВ повышают растворимость других загрязняющих веществ, влияют на кожные покровы гидробионтов и могут приводить к разрыву клетки, кроме того могут быть токсичны, если содержат в своём составе бензольную группу [5].

Пробы воды отбирали в эпилимнионе (0,5 м), металимнионе (зона термоклина) и гипolimнионе (придонный слой) батометром Рутнера, в 5 - 13 точках. Затем в лаборатории флуориметрическим методом измеряли концентрации нефтепродуктов и АПВ, на анализаторе жидкости «Флюорат-02-3М» [3,4]. За период с 2016-2018 гг. средние концентрации НП и АПВ составляли 0,003 мг/л для нефтепродуктов и 0,1 мг/л для АПВ. В целом, наблюдалась для АПВ в термоклине в металимнионе и для НП в эпилимнионе с минимумом в термоклине. Глубинное распределение НП (рис. 1) и АПВ (рис. 2) представлено на рисунках. Наибольшая концентрация этих антропогенных компонентов растворенного органического вещества наблюдается для НП в эпилимнионе и для АПВ в металимнионе. Как правило, максимальные концентрации этих загрязняющих веществ характерны для вод рядом с населенными пунктами.

Превышение ПДК<sub>рх</sub> в этом случае характерно для АПВ. НП воды Можайского водохранилища не загрязнены. Наиболее характерное Пространственное распределение АПВ в акватории Можайского водохранилища представлено на рис. 3.

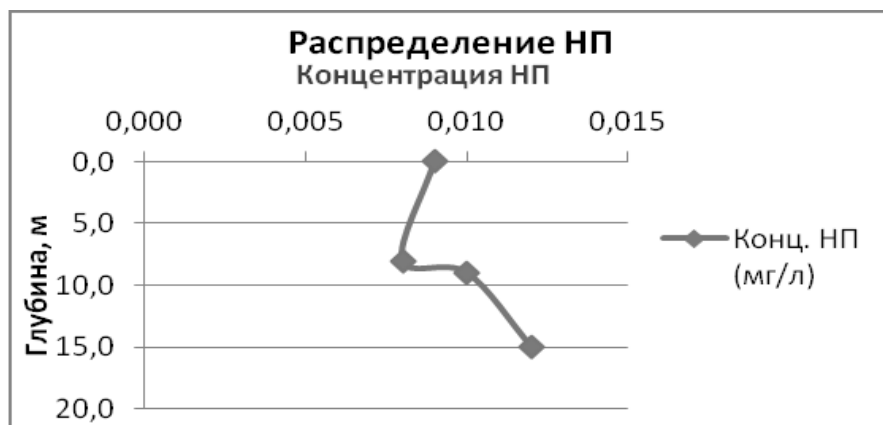


Рис. 1. Глубинное распределение нефтепродуктов в Можайском водохранилище

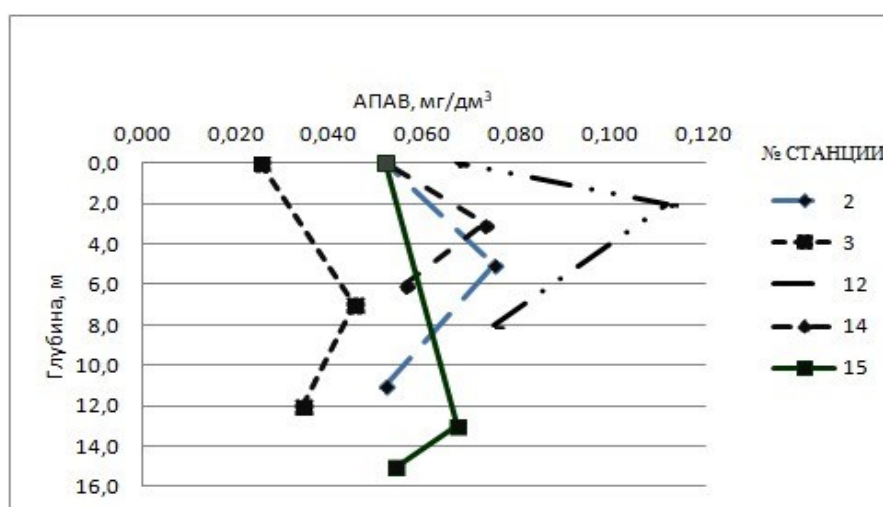


Рис. 2. Глубинное распределение АПАВ в Можайском водохранилище

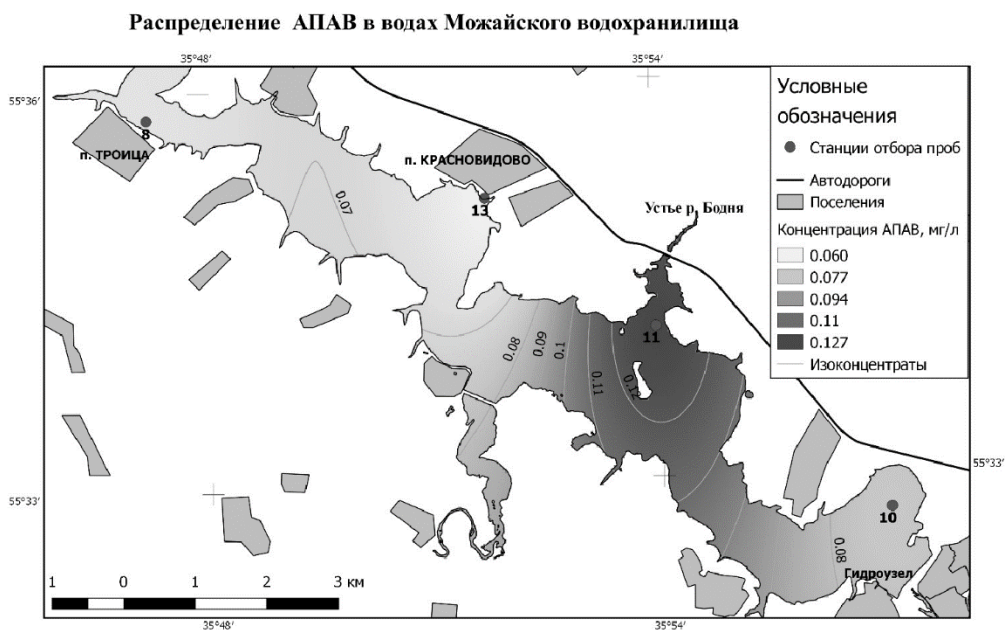


Рис. 3. Карта-схема загрязнения Можайского водохранилища в 2028 г.

Можайское питьевое водохранилище в настоящее время относится к водоёмам культурно-бытового и хозяйственного назначения. Большое количество коттеджных посёлков и близость автодорог, а также развитие организованного и неорганизованного туризма в районе Можайского водохранилища, являются источниками загрязнения водоёма нефтепродуктами и АПАВ. Постоянное поступление НП с поверхностным стоком и АПАВ с бытовыми сточными водами, а также высокая чувствительность методов анализа делают их интегральным показателем загрязнения водоёмов сточными водами, что и обуславливает значимость проводимого исследования.

### Литература

1. Бадюков Д. Д., Горшкова О. М., Чевель К. А. Оценка качества вод Можайского водохранилища по результатам летней практики студентов // Материалы всероссийской научно-практической конференции "Трёхниковские чтения - 2017: Современная географическая картина мира и технологии географического образования" / ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск / 2017г. — ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, 2017. — С. 93–94.
2. Горшкова О.М., Пацаева С.В., Чевель К.А., Бадюков Д.Д., Белова С.Л., Жильцова А.А. Растворенное органическое вещество вод Можайского водохранилища.// Изучение биосферы и окружающей среды / серия: Ecological Studies, Hazards, Solutions. Volume 24. М.: МАКС Пресс, 2017. — МАКС Пресс Москва, 2017. — С. 57–66.
3. Измерение массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ флуориметрическим методом в пресной воде. 2011 г. МУК 4.1.070-2011 разработаны: НПФ "Люмэкс", Санкт-Петербург (Гладилович Д.Б., Волосникова Е.А., Илюхин А.В., Клиндухов В.И., Крашенинников А.А., Фирюлина В.В., Папков К.Б.); Московским НИИ Гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана (Юдина Т.В., Егорова М.В., Федорова Н.Е.)
4. Методы лабораторных и полевых исследований / О. М. Горшкова, А. Г. Горещкая, Т. Н. Корешкова и др. — Географический факультет МГУ Москва, 2015. — 220 с.
5. Остроумов, С. А., Ворожун, И. М., Горшкова, О. М., Ермаков, В. В., Зубкова, Е. И., Камнев, А. Н., Капица, А. П., Колесов, Г. М., Краснушкин, А. В., Крупина, М. В., Лазарева, Е. В., Поклонов, В. А., Соломонова, Е. А., Смуров, А. В., Тодераш, И. К., Шелейковский, В. Л., and Шестакова, Т. В. Вопросы экологической безопасности источников водоснабжения: изучение наночастиц, мембранотропных и генотоксичных веществ и их взаимодействий с гидробионтами. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический 114, 3 (2009), 171–173.



## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ pH ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ С СЕРЕДИНЫ XX СТОЛЕТИЯ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Е.А. Гребнева<sup>1</sup>, А.Б. Полонский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

## ASSESSMENT OF THE SURFACE WATER pH CHANGE OF THE BLACK SEA FROM THE MIDDLE OF THE XX CENTURY TO THE PRESENT

E.A. Grebneva<sup>1</sup>, A.B. Polonsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

*На основе архивных данных Института природно-технических систем за период с 1955 до 2010 гг. проводится оценка долговременной изменчивости величины pH в верхнем слое глубоководной части Черного моря. Району исследования свойственна пониженная пространственно-временная изменчивость поля pH, относительно прибрежных и шельфовых районов, что позволило выделить долговременный антропогенно-обусловленный тренд в изменчивости величины pH на значимом уровне.*

*Research of the long-term variability of the water pH in the upper layer of the deep-water part of the Black Sea over the period from 1955 to 2010 on the basis of the archival data of the Institute of Natural and Technical Systems was performed. The area of research was characterized by decreasing of spatio-temporal variability of the water pH in comparison with coastal and shelf regions, which determined the long-term anthropogenically-conditioned trend in the variability of the water pH at the significant level.*

### **Введение.**

Одним из важнейших показателей гидрохимического состава вод является величина pH. Крупномасштабная структура поля pH и климатические тенденции его изменений в верхнем слое морских вод зависят от изменения парциального давления углекислого газа в атмосфере, свойств поступающих в море речных вод и атмосферных осадков, растворимости CO<sub>2</sub> в воде, биогеохимических процессов в морской среде и других факторов [1]. Моря и океаны играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, в основном поглощая CO<sub>2</sub>. В современный период происходит изменение кислотно-основного равновесия в морской среде в сторону понижения pH. Опубликованные оценки показали, что за последние 60 лет концентрация CO<sub>2</sub> в приземном слое атмосферы увеличилась приблизительно с 280 до 400 р.р.м. (т. е. возросло более чем в 1,4 раза) и продолжает увеличиваться. Необходимо отметить, что около 30% углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу в результате хозяйственной деятельности, поглощается Мировым океаном, что и приводит к уменьшению величины pH верхнего слоя вод [2–5]. Даже при сокращении количества выбросов парниковых газов в атмосферу, кислотность морской воды будет продолжать расти еще долгое время, поскольку CO<sub>2</sub> – долгоживущий атмосферный газ. Увеличение кислотности вод, вызванное таким образом, может существенно влиять на морские экосистемы. Именно поэтому исследованию тенденций изменений величины pH в океанических водах в настоящее время уделяется большое внимание [2,7,8].

### **Материалы и метод их обработки.**

В работе использовались данные банка Института природно-технических систем (ИПТС), который содержит 169646 измерений величины pH на 29086 станциях [9]. Пространственно-временное распределение станций не равномерно. Наиболее обеспечены измерениями северо-западный шельф и южные районы Черного моря, а также период после 1955 г. и до 2010 гг. С глубиной и в холодный период года количество данных существенно уменьшается.

Для анализа многолетней изменчивости pH использовались данные, полученные в слое 0–100 м глубоководной части Черного моря, ограниченной изобатой 1000 м в период после 1955 и до 2010 гг. Исходные данные, прошедшие предварительный контроль качества [10], группировались по месяцам и сезонам. Среднесезонные поля, проинтерполированные в узлы регулярной сетки, использовались для построения климатического поля pH. Для расчета долговременного тренда ежеквартальные данные усреднялись по десятилетним периодам с пятилетним сдвигом: 1955–1964, 1960–1969 и так далее. Расчет средне-декадного значения pH для открытой части моря выполнялся на основе средних по акватории моря значений, полученных из восстановленных в узлах регулярной сетки климатических полей pH за каждые

три месяца. Это позволило избежать элиазинга и получить статистически достоверные результаты при расчете трендов [3].

#### **Пространственное распределение величины рН.**

На поверхности моря, исключая северо-западный шельф и мелководные участки моря, диапазон климатических изменений среднегодовой величины рН составляет 8,35–8,41 при среднем значении рН 8,38. Пониженные величины рН приурочены к восточной и западной частям моря, где расположены центры циклонических круговоротов, формируемых Основным Черноморским течением (ОЧТ). Для этих областей характерен подъем подповерхностных и промежуточных вод с пониженными значениями рН (рис. 1). На формирование минимальных значений рН в восточной части море влияет также наличие здесь квази-перманентной циклонической вихревой структуры, формирующейся на восточной периферии ОЧТ [11]. В центральной части моря находится область повышенных значений рН (диапазон изменений от 8,4 до 8,41). Между указанными областями располагается зона с повышенными горизонтальными градиентами рН. Она приблизительно совпадает с зоной температурного фронта, отделяющей холодные воды центров циклонических круговоротов от более теплых вод с нисходящими вертикальными движениями. Эта зона характеризуется также повышенным содержанием биогенных элементов. С глубиной величина рН уменьшается до 8,03 на горизонте 100 м [10].

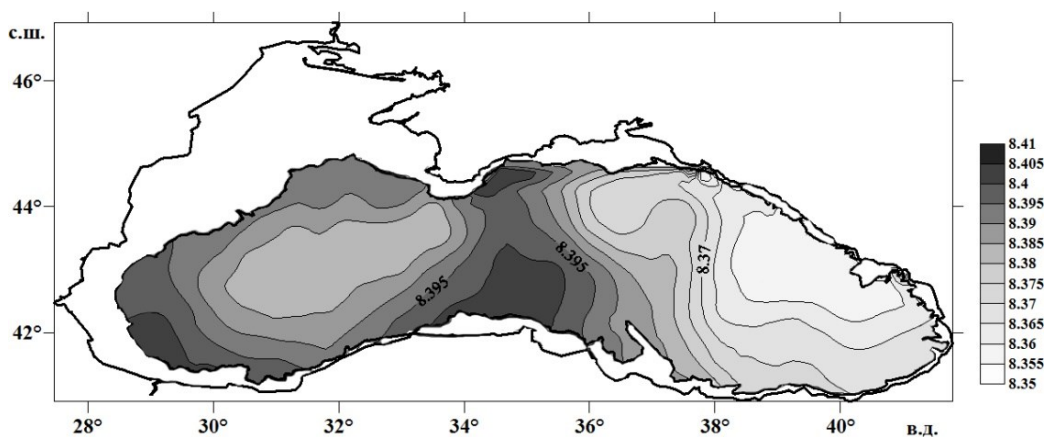


Рис.1. Климатическое распределение величины рН на поверхности в глубоководной части Черного моря, полученное по всем данным.

#### **Междесятилетняя изменчивость величины рН.**

По полученным данным выделяется значимый отрицательный линейный тренд рН, величина которого близка к -0,06 ед. рН за 50 лет (или -0.12 ед. рН за 100 лет, рис. 2). Полученный результат соответствует оценкам тенденций, увеличения кислотности поверхностных вод других регионов Мирового океана в эпоху наблюдаемой антропогенной нагрузки [2,12]. Отметим, что полученная оценка подтверждает ранее опубликованную одним из авторов настоящей работы оценку тренда рН в приповерхностных водах Черного моря [3]. Однако она не была статистически значима. Полученная нами оценка тренда значима на 95% - ом уровне.

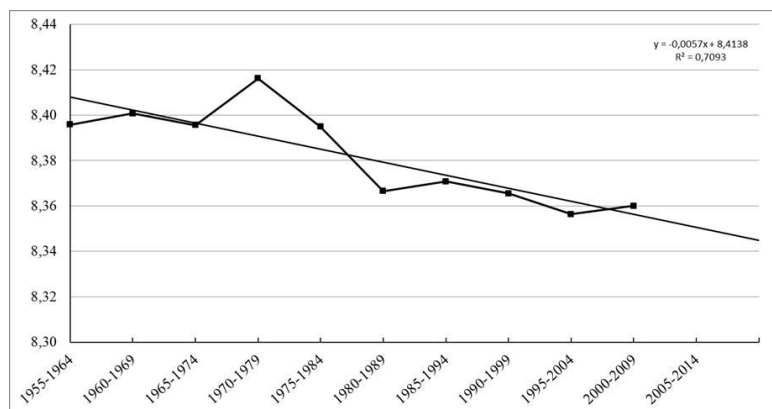


Рис. 2. Междесятилетняя изменчивость осредненной по глубоководной части Черного моря и по десятилетним временным отрезкам величины рН на поверхности.  
Прямая линия – линейный тренд, значимый на 95 % -ом уровне.

### Заключение.

Пространственные климатические неоднородности величины рН в приповерхностном слое открытой части Черного моря составляют около 0.1 ед. рН. В глубоководной части моря пониженные величины рН наблюдаются в окрестности центров циклонических круговоротов, где имеет место подъем более кислых вод, максимальные величины – в областях опускания вод. Наблюдается увеличение кислотности поверхностного слоя вод, величина которого обусловлена повышением содержания углекислого газа в нижней тропосфере и поглощением части избыточного  $\text{CO}_2$  морской водой. Это увеличение проявляется в уменьшении величины рН в водах приповерхностного слоя моря, которое составляет около -0.12 ед. рН за 100 лет, что близко к оценкам, полученным для других регионов Мирового океана. Подчеркнем, что статистически значимый тренд величины рН в приповерхностном слое за полувекковой период для всего Черного моря удалось получить впервые.

### Литература

1. Симонов А.И., Альтман Э.Н. Гершанович Д.Е. (ред.) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. СПб: Гидрометеоздат, 1992. Т. 4: Черное море, вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. 220 с.
2. Gattuso, J.-P., Hansson, L. Ocean acidification: background and history // Ocean Acidification. OxfordUniversityPress, Oxford, 2011. P. 1–20.
3. Polonsky A. Had been observing the acidification of the Black Sea upper layer in XX century? Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v.12, 2012, 391-396, DOI:10.4194 /1303-2712-v12\_2\_27.
4. IPCC5 Assessment (Chapter 3). 2013. P. 255–266.
5. Schulz K.G., Barcelos e Ramos J., Zeebe R.E. et al. CO2 perturbation experiments: similarities and differences between dissolved inorganic carbon and total alkalinity manipulations // Biogeosciences. 2009. No 6. P. 2145–2153. doi:10.5194/bg-6-2145-2009.
6. Polonsky A.B. Upwelling in the Northern Black Sea: Description, Mechanisms and Impact on the Chlorophyll-A Concentration // Upwelling: Mechanisms, Ecological Effects and Treats to Biodiversity / Ed. by W.E. Fischer and A.B. Green. N.Y.: Nova Science Publ. Inc., 2013. P. 59–76.
7. Andersson, A. J., Mackenzie F.T., Bates, N.R. Life on the margin: implications of ocean acidification on Mg-calcite, high latitude and cold-water marine calcifiers // Marine Ecology Progress Series. 2008. V.373. P. 265–273.
8. Ries, J.B. Skeletal mineralogy in a high-CO2 world // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2011. V. 403. P. 54–64.
9. В.В. Мельников, А.Б. Полонский, А.А. Котолупова и др. GIS Института природно-технических систем. // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2016. № 4 (24). С. 49–55.
10. Полонский А.Б., Гребнева Е.А. Климатическое распределение рН в глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2017. №10 (30). С. 88–95.
11. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Станичный С.В., Бурдюгов В.М. Бассейновая циркуляция и мезомасштабная динамика Черного моря под ветровым воздействием // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Москва, 2010. С. 347–368.

12. Zeebe R.E., Wolf-Gladrow D. CO<sub>2</sub> in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes / Elsevier Oceanogr. Ser, 2001. 346 p.

*Работа частично выполнена при поддержке РФФИ (грант №18-45-920014).*

*This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 18-45-920014).*

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДОЛИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ВНУТРИГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭМИССИИ МЕТАНА С ЕГО ПОВЕРХНОСТИ

М.Г. Гречушникова<sup>1,2</sup>, И.А. Репина<sup>1,3</sup>, В.С. Казанцев<sup>3</sup>, Л.А. Кривенок<sup>3,4</sup>, А.Ю. Артамонов<sup>3</sup>, В.А. Ломов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт лесоведения РАН, Успенское, Россия

## INFLUENCE OF VALLEY-TYPE RESERVOIR HYDROLOGICAL REGIME AT THE METHANE SURFACE FLUX SEASONAL CHANGE

M.G.Grechushnikova<sup>1,2</sup>, I.A.Repina<sup>1,3</sup>, V.S.Kazantsev<sup>3</sup>, L.A. Krivenok<sup>3,4</sup>, A.Yu. Artamonov<sup>3</sup>, V.A. Lomov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow state university, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Institute of water problems RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Institute of Forest Science RAS, Uspenskoe, Russia

*На основе данных полевых наблюдений выявлены сезонные изменения удельного потока метана в Можайском водохранилище. За период прямой стратификации поток метана увеличивался от 1 до 16 мгС/(м<sup>2</sup> час). Выявлены изменения удельного потока метана синоптического масштаба, связанные со вспышками "цветения" в фотическом слое.*

*On the basis of field observations in the Mozhaik reservoir seasonal changes of the specific methane flux were revealed. During the period of direct stratification the methane flux increased from 1 to 16 mg/(m<sup>2</sup> hour). Synoptic changes in the specific methane flux associated with outbreaks of "flowering" in the photic layer are revealed.*

### **Введение.**

Оценка выбросов парниковых газов и в частности метана различными антропогенными источниками, к которым относятся и водохранилища, является актуальной задачей. Величина потока метана с поверхности зависит от морфометрических параметров водохранилищ (метан в большем количестве попадает в атмосферу из мелководных частей акватории из-за меньшего окисления в менее глубоком столбе воды [1]), геоэкологических условий их размещения (природной зоны, ландшафтных условий на водосборе, гидрологического режима, их возраста и др.[2]). В водохранилищах метан образуется при анаэробном разложении органического вещества, поступающего с водосбора и продуцируемого в водоеме. Увеличение температуры воды интенсифицирует деятельность микроорганизмов, и эмиссия метана из водохранилищ зависит от этого показателя [3]. Но климат не является доминирующим фактором, хотя в низких широтах значения удельного потока метана существенно больше, чем в высоких. Цель работы – оценка пространственно-временной изменчивости удельного потока метана с поверхности слабопроточного долинного водохранилища в умеренном континентальном климате по данным измерений.

### **Объекты и методы.**

Объект исследования – небольшое морфометрически простое слабопроточное долинное Можайское водохранилище, расположенное в верховьях р. Москвы с отсутствием интенсивного динамического перемешивания и с коэффициентом водообмена 1,15 год<sup>-1</sup>. Летом и зимой в нем наблюдается термическая стратификация, часто формируются продолжительные бескислородные условия, особенно в летний период [4]. Их продолжительность определяется синоптическими условиями и уровнем режимом каждого года. Водоохранилище имеет асимметричный продольный профиль с увеличением максимальной глубины районов в затопленном русле р. Москвы от 5-7 м в верховьях до 20-23 м у плотины, а глубина затопленной поймы увеличивается от 2-3 до 10-12 м соответственно.

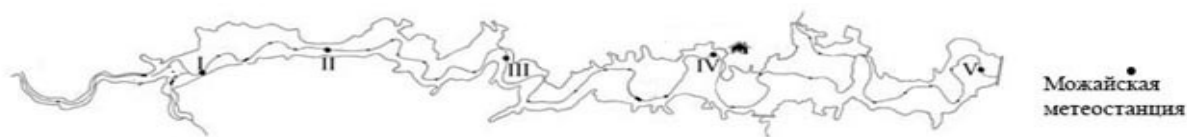


Рис. 1. Схема Можайского водохранилища и расположение станций гидрологической съемки над затопленным руслом р. Москвы (римские цифры).

Измерения удельного потока метана производились в 2015-2018 гг. методом плавучих камер в центральной части водоема в период открытой воды от 4 до 13 раз за сезон. Производился регулярный отбор проб воды из поверхностного и придонного горизонтов на рейдовой вертикали IV (рис. 1) и по продольной оси водохранилища [5]. Отбор проб производился на станциях, расположенных над затопленным руслом р. Москвы (рис. 1), отличающихся характером грунта и скоростью потребления кислорода [6]. В 2015 г. выполнялся также отбор проб над затопленной поймой в створе русловых станций. Методика определения содержания метана в пробах воды и воздуха описана в [7, 8, 9]. Расчет удельного диффузионного потока метана в атмосферу произведен методом тонкого поверхностного слоя TBL (Thin Boundary Layer, [10]) с использованием параметризации коэффициента обмена по [11].

#### **Результаты и обсуждение.**

Значения удельного диффузионного потока метана над русловыми и пойменными станциями по данным съемок в 2015 г. закономерно увеличивались за летний период от 0,14-0,31 до 0,55-1,74 мгС-СН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup>·час), причем наибольшие значения характерны для верховий водоема, а изменения в поперечном направлении практически отсутствуют. По данным 2015-2018 гг. при образовании прямой температурной стратификации удельная плотность диффузионного потока метана составляет в верховьях водоема 0,1 мгС-СН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup> час), у плотины 0,02 мгС-СН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup> час). За период летней прямой стратификации при образовании бескислородной зоны в придонных горизонтах удельный диффузионный поток метана по продольной оси водохранилища возрастает на порядок и увеличивается для всех районов водохранилища: в верховьях до 0,5-0,8 мгС-СН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup> час), у плотины - до 0,18 мгС-СН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup> час). Значения диффузионного потока метана от верховьев к плотине уменьшаются из-за увеличения толщины аэрированного слоя воды и уменьшения расстояния до донных отложений.

В центральном районе водохранилища на станции IV по данным «плавучих камер» выявлено значительное увеличение значений удельной плотности суммарного (диффузионного и пузырькового) метана к моменту окончания периода летней стратификации (до 18 мгС-СН<sub>4</sub>/м<sup>2</sup> час в 2017 г., рис. 2). В это время бескислородная зона в придонных горизонтах достигает наибольшего объема, а также уменьшается градиент температуры воды в водной толще. В начале периода осеннего перемешивания значения удельного потока метана уменьшаются на порядок (до 3 мгС-СН<sub>4</sub>/м<sup>2</sup> час в первую декаду сентября 2017 г.).

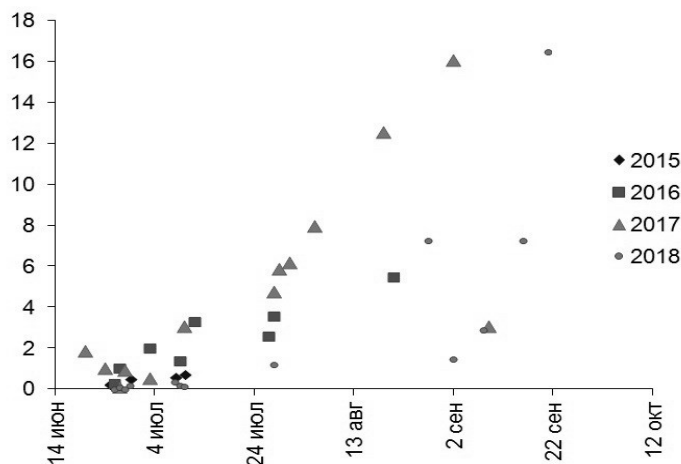


Рис. 2. Удельная плотность суммарного потока метана  $\text{mgC-CH}_4/(\text{m}^2 \text{ час})$ , полученная методом плавучих камер на станции IV.

В 2018 г. значения удельного потока метана за период стратификации меньше, чем в 2017 г., и достигают максимума в третьей декаде сентября (рис. 2), что связано с различием термического режима водоема в эти годы. В 2017 г. из-за погодных условий устойчивая стратификация образовалась поздно - в начале июля, и придонная температура воды в конце августа достигла  $16,5^\circ\text{C}$ . В 2018 г. устойчивая стратификация образовалась в начале июня, придонный горизонт был «изолирован» и к концу лета прогрелся всего до  $12^\circ\text{C}$ . Процессы метаногенеза при более низкой температуре протекали менее активно, в течение августа 2018 не наблюдались вспышки «цветения» (источника автохтонной органики), как в жаркую погоду в августе 2017 г. Интересной особенностью, зафиксированной в 2018 г. при регулярных еженедельных постановках «камер», является уменьшение удельного потока метана с  $7,3$  до  $1,5 \text{ mgC-CH}_4/\text{m}^2 \text{ час}$  в первой декаде сентября 2018 г. Она связана со вспышкой бурного «цветения» с увеличением содержания растворенного кислорода в поверхностном слое до  $15-16 \text{ mg/l}$ . При уменьшении содержания растворенного кислорода к концу сентября удельный поток метана опять возрос уже до  $16 \text{ mgC-CH}_4/\text{m}^2 \text{ час}$ . Более 90% общего удельного потока составляет пузырьковый поток, который определяется по разности общего и диффузионного потока.

Весной 2018 г. произведено дополнительное исследование весеннего выброса метана. В зимний период поверхность Можайского водохранилища покрывается льдом, продуцируемый бактериями метан не выходит в атмосферу, а аккумулируется в толще льда в виде пузырьков и растворенного газа в подледном слое воды. За период таяния льда накопленный за зиму метан высвобождается, и в водохранилище остаётся запас метана, который обеспечивается динамическим равновесием газообмена на границе поверхности воды и атмосферы. Оценка значения весеннего выброса метана из Можайского водохранилища рассчитывалась как разность запасов метана в водохранилище до и после таяния льда с учетом привноса метана, содержащегося в воде притоков, и его сток с водой, сбрасываемой через плотину. Согласно расчётам по описанной выше методике, оценка весеннего выброса метана на Можайском водохранилище в 2018 году составляет  $996 \text{ кг}$ .

При расчете суммарного потока метана за период открытой воды его значение в 2018 г. с наиболее частыми наблюдениями составило  $11146 \text{ кг}$  (без учета горизонтальной составляющей притока и сброса воды), т.е. доля весеннего выброса от общих потерь через поверхность за период с мая по октябрь составляет  $8,9\%$ . При расчете годовой эмиссии с поверхности водохранилищ необходимо непременно учитывать пространственно-временную неоднородность распределения удельного потока метана, которой отличаются водохранилища долинного типа (к которому относится большинство искусственных водоемов мира). Для более детальной оценки эмиссии метана с поверхности водохранилищ, особенно в случае неисследованных водоемов или при наличии нерегулярных экспедиционных данных, необходимо использовать математические модели, например [14].

### **Выводы.**

В слабопроточном долинном водохранилище наблюдается значительная пространственно-временная неоднородность удельного потока метана. Пространственные различия в продольном направлении на порядок больше, чем в поперечном. Содержание метана в водохранилище определяется синоптической ситуацией, особенностями плотностного расслоения, термического и кислородного режима. Наибольших значений удельный поток метана достигает перед разрушением прямой стратификации (порядка 16 мгС-СН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup> час). Удельный поток метана сокращается в периоды бурного развития фитопланктона.

### **Литература**

1. Goldenfum J.A. GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs//ИНА: УК. 2010. P. 36-91.
2. Гречушникова М.Г., Репина И.А., Степаненко В.М., Казанцев В.С., Артамонов А.Ю., Варенцов М.И., Ломова Д.В., Мольков А.А., Капустин И.А. Пространственно-временные изменения содержания и эмиссии метана в водохранилищах с различным коэффициентом водообмена//Изв. РГО. 2018. Т.150, вып. 5. С. 14-33.
3. Rosa L.P., Dos Santos M.A., Matvienko B., Dos Santos E.O., Sikar E. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions // Climatic change. 2004. V.66, No 1-2. P. 9-21.
4. 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.
5. Гречушникова М. Г., Бадюков Д.Д., Саввичев А.С., Казанцев В.С. Сезонные и пространственные изменения содержания метана в Можайском водохранилище в летний период//Метеорология и гидрология. 2017. №11. С.67-78.
6. Бреховских В. Ф., Вишневецкая 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.
7. Большаков А.М., Егоров А.В. Результаты газометрических исследований в Карском море // Океанология. 1995. Т. 35. № 3. С. 399-404.
8. Методические указания. Методика выполнения измерений концентрации метана в водах парофазным газохроматографическим методом. РД 52.24.512-2002.
9. 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.
10. UNESCO/The International Hydropower Association. GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs; Goldenfum, J.A., Ed.; London, UK, 2010.
11. Cole J.J., Caraco N.F. Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF<sub>6</sub> // Limnol. Oceanogr. 1998. V. 43. P. 647–656. Doi:10.4319/lo.1998.43.4.0647.
12. Stepanenko, V., Mammarella, I., Ojala, A., Miettinen, H., Lykosov, V., and Vesala, T.: LAKE 2.0: a model for temperature, methane, carbon dioxide and oxygen dynamics in lakes, Geosci. Model Dev., 9, 1977-2006. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1977-2016>, 2016

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РГО\_a 17-05-41095.*

*The work was done with the financial support of the RGO project a 17.05-41095.*



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Н.О. Григоров<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.А. Светачёва<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ERRORS OF TEMPERATURE SENSORS INVESTIGATION

N.O. Grigorov<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.A. Svetachova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*В докладе приводятся результаты расчетов инерционных и шкаловых погрешностей датчиков температуры, выполненных в форме шара или цилиндра. Показано, что существуют оптимальные размеры датчика, при которых суммарная погрешность становится минимальной. Приведены конкретные величины размеров датчиков. Результаты могут быть использованы при проектировании датчиков температуры.*

*In this report some results of calculations inertia and scale thermometer errors are shown. It is shown that there are most effective sizes of sensors when total error is minimal. The values of these sizes are calculated. The results can be used to construct thermometers with minimal errors.*

Погрешности датчиков температуры складываются из двух основных частей – шкаловая погрешность и инерционная погрешность [1-4]. Шкаловая погрешность связана с чувствительностью датчика и может быть найдена по формуле:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta h}{S}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – половина цены деления шкалы прибора,  $S$  – его чувствительность, величина которой связана с конструкцией термометра, причем в жидкостных термометрах – с объемом резервуара. Таким образом, при возрастании объема чувствительность возрастает, и погрешность уменьшается.

Инерционная погрешность связана с коэффициентом тепловой инерции датчика  $\lambda$ . По определению, это время, в течение которого разность температур термометра и окружающей среды уменьшается в  $e$  раз. Коэффициент тепловой инерции может быть найден по формуле [1-4]:

$$\lambda = \frac{m_1 C_1 + m_2 C_2}{\alpha S}, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса ртути, а  $m_2$  – масса стекла в резервуаре,  $C_1$  и  $C_2$  – удельная теплоемкость ртути и стекла соответственно,  $\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена системы «резервуар – окружающая среда»,  $S$  – внешняя поверхность резервуара.

Инерционная погрешность датчика выражается формулой:

$$\Delta t_2 = \gamma \lambda \quad (3)$$

Таким образом, при возрастании объема датчика его шкаловая погрешность уменьшается, а инерционная погрешность возрастает. Следовательно, существует некоторый размер датчика, отвечающий минимальной суммарной погрешности.

В данной работе выполнен расчет оптимальных размеров датчиков температуры шарообразной и цилиндрической формы на примере жидкостных термометров. Значение радиуса капилляра  $r$  взято равным 0,06 мм, значение  $\Delta h = 0,33$  мм, остальные константы взяты из справочника [5]. Кроме того, в расчетах варьировалась скорость ветра, с учетом изменения коэффициента тепловой инерции, а значит, инерционной погрешности датчика. Зависимость коэффициента конвективного теплообмена от скорости ветра взята из работы (4):

$$\alpha = 19,0 + 32,3 \cdot V^{0,54} \quad (4)$$

В результате были получены следующие выводы.

1. Для скорости ветра 0,8 м/с, принятой для термометров в психрометрической будке, суммарная погрешность шарообразного датчика минимальна и равна 0,09 градуса при радиусе резервуара, равном 0,004 м (4 мм). При значениях внешнего радиуса от 0,0032 до 0,0053 м погрешность не превышает 0,1 градуса.

2. При увеличении скорости ветра до 6 м/с минимальная погрешность не превышает 0,05 градуса и достигается при радиусе, равном 5 мм. Возможные значения радиуса резервуара, при которых погрешность не превышает 0,1 градуса, теперь расширяются и находятся в интервале от 0,0027 до 0,015 м. При еще большем значении скорости ветра минимальная суммарная погрешность становится еще меньше.

3. Существенное влияние на погрешность измерений оказывает скорость изменения температуры воздуха. Расчеты сделаны для двух значений скорости изменения температуры воздуха  $\gamma = 0,001$  и  $0,002$  К/с, что соответствует примерно от 3.6 до 7.2 градуса в час. Как ясно из формулы (3), при меньших значениях  $\gamma$  могут быть достигнуты еще меньшие значения погрешности.

4. Для цилиндрического датчика минимум погрешности наблюдается только при быстром изменении температуры воздуха ( $\gamma = 0.004$  К/с) и широком резервуаре термометра ( $R = 7$  мм). Эта минимальная погрешность равна 0,33 К и достигается при высоте резервуара около 5 мм.

5. При значениях радиуса цилиндрического датчика меньше 7 мм (что обычно для жидкостных термометров) и скорости ветра больше 0,8 м/с наблюдается плавная зависимость суммарной погрешности от высоты резервуара  $h$  с уменьшением погрешности при увеличении высоты резервуара. Это дает возможность практически сколь угодно снизить погрешность измерения. Например, при значении  $h = 3,2$  см погрешность не превышает 0,05 К.

### Литература

1. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. //Учебник по курсу//. - С-Пб.: РГГМУ, 2012.– 306 с.
2. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. Методы зондирования атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985.– 465 с.
3. Григоров Н.О., Восканян К.Л., Караваева М.С. О соотношении чувствительности и тепловой инерции различных типов термометров. Труды РГГМУ, №33, 2014 г., СПб, с. 69-77.
4. Тепловая инерция чувствительного элемента термометров и исследование его теплообмена с окружающей средой. Григоров Н.О., Савченко Г.А. Заочный доклад на III Международном молодежном научном форуме «Молодая наука - 2015», посвященным 70-летию Победы в Великой Отечественной войне. Туапсе, март 2015 г.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике. Перевод с немецкого под ред. Е.М. Лейкина. М.: Мир, 1983.– 520 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ПРЕПОДАВАНИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Н.О. Григоров<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## USING OF HARDWARE IN HYDROMETEOROLOGICAL SUBJECTS TRAINING

N.O. Grigorov<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Современная методика преподавания гидрометеорологических дисциплин требует обязательного применения технических средств, причем в это понятие входят как непосредственно измерительные приборы, так и средства компьютерного обеспечения учебного процесса. Для учебных лабораторий необходимо современное метеорологическое оборудование, лекционные аудитории должны быть оснащены компьютерной проекционной техникой, составлены презентации курсов. В некоторых случаях допустимо применение компьютерных моделей лабораторных установок. Автор делится опытом преподавания метеорологических дисциплин в РГГМУ.*

*Modern training system demands compulsory using of technical means. These are both measuring devices and means of computer training to provide educational process. Modern meteorological equipment is necessary for educational laboratories, lecture-halls must be rigged by projector computer equipment, and lecture presentations must be done. Sometimes computer models of laboratory devices can be used. Author imparts his experience of meteorological subjects training in RSHU.*

Бурное развитие цифровых технических средств в начавшемся столетии открывает новые горизонты для использования их в образовательных целях. В настоящее время учебный процесс немислим без применения компьютера и Интернета [1-3]. Перечислим основные возможности их применения.

Составление документации при подготовке занятий с помощью компьютера.

Чтение лекций с компьютерными презентациями. Презентации должны быть максимально наглядными, с применением анимаций, облегчающих понимание материала.

Компьютерные деловые игры во время практических занятий.

Применение компьютеров при проведении лабораторных занятий. Сопряжение лабораторной установки с компьютером или проведение виртуальных лабораторных работ, например, в оболочке LabVIEW.

Использование компьютеров и Интернета при проведении полевой практики.

Чтение лекций-вебинаров учащимся заочной формы обучения.

Контроль успеваемости студентов (в том числе заочной формы обучения) например, в оболочке Moodle.

Вывешивание в Интернете на специально созданных сайтах всех необходимых материалов – презентаций лекций, методических указаний и т.д.

Использование Интернета и социальных сетей для общения с учащимися во внеучебное время.

Использование Интернета и компьютера при подготовке выпускных квалификационных работ.

Использование обратной связи с выпускниками с помощью Интернета.

Указанные меры не исчерпывают всех возможностей цифровой электроники для учебного процесса. Непрерывно возникают новые возможности, которые необходимо широко использовать и пропагандировать.

### Литература

1. Руководящие указания для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания. ВМО № 1114 изд. 2013 г. 72 с.
2. Н.О. Григоров. Профессия – преподаватель. Литературно-художественное издание. С-Пб, РГГМУ, 2013. 47 с.

3. А.Г. Саенко, Т.Е. Симакина. Дистанционное изучение метеорологической техники на базе технологии виртуальных инструментов. Ученые записки Российского Государственного гидрометеорологического университета. № 47, 2017 г. С.118-125.

## ИНЕРЦИОННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ РОТОАНЕМОМЕТРОВ

Н.О. Григоров<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, В.С. Никитина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## INERTIA ERRORS OF ROTATING ANEMOMETERS

N.O. Grigorov<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.S. Nikitina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*В докладе приводятся результаты расчетов инерционных погрешностей ротоанемометров. Показано, что ротоанемометры завышают среднюю скорость ветра, причем это завышение зависит как от конструкции анемометра, так и от параметров ветра – его скорости, периода и амплитуды флуктуаций. Расчеты показывают, что ошибка в измерении средней скорости ветра может составлять несколько метров в секунду и должна учитываться при измерениях.*

*In this report main some results of rotating anemometers inertia errors calculations are shown. It is shown that anemometers overstate average wind speed, and this error depends both of anemometer construction and wind parameters – wind speed, period and amplitude fluctuations. Calculation show that inertia error can be some meters a second and must be taken into account during measurements.*

Известно [1,2] что ротоанемометры завышают среднюю скорость ветра. Это завышение носит название «инерционная погрешность ротоанемометров». Однако до сих пор в литературе нет исследований этой погрешности, а при производстве измерений предполагается, что она пренебрежимо мала. Авторы предприняли попытку рассчитать инерционную погрешность и время достижения анемометром стабильных показаний при изменении скорости ветра и его флуктуациях. Для упрощения расчетов приняты прямоугольные флуктуации скорости ветра. Расчеты производились по формуле:

$$V = V_{уст} + (V_0 - V_{уст}) \cdot e^{-\frac{V_{уст} \cdot \tau}{L}}, \quad (1)$$

где  $V_{уст}$  – это та скорость ветра, которую анемометр воспримет (истинная);  $V$  – текущие показания анемометра;  $V_0$  – начальная скорость ветра,  $L$  – путь синхронизации анемометра,  $\tau$  – время.

Для необходимых расчётов по формуле (1) и построения графиков на языке программирования C Sharp (C#) была написана программа, с помощью которой были исследованы и установлены следующие зависимости.

1. С ростом средней скорости ветра инерционная погрешность анемометра возрастает. Если при скорости ветра менее 3 м/с это превышение незначительно, то при скоростях ветра более 3 м/с это превышение может достигать нескольких метров в секунду и его необходимо учитывать.

2. При увеличении амплитуды флуктуаций скорости ветра погрешность  $\Delta V$  так же увеличивается, то есть чем больше флуктуации, тем сильнее анемометр завышает скорость ветра. Если при амплитуде ниже 1,5 м/с это превышение можно не принимать во внимание, то при амплитуде более 2,5 м/с это превышение становится достаточно значительным (около 2 м/с при амплитуде флуктуаций 7 м/с).

3. Время достижения стабильных показаний при порывистом ветре уменьшается с увеличением скорости ветра. Иными словами, чем больше скорость ветра, тем быстрее она воспринимается анемометром. Характерное время составляет 14-15 секунд при скорости ветра 10 м/с.

4. С увеличением амплитуды флуктуаций время достижения стабильных показаний резко уменьшается. Если при амплитуде 1-2 м/с оно составляет 40-45 с, то при амплитуде 20-25 м/с (резкий порывистый ветер) оно составляет около 10 секунд.

5. Период флуктуаций также влияет на время достижения анемометром стабильных показаний. Как и можно было предполагать, при удлинении периода флуктуаций время достижения стабильных показаний возрастает. Однако, по отношению к периоду флуктуаций оно практически не изменяется.

6. Расчеты показали, что при уменьшении скорости ветра инерционная погрешность остается такой же, как и при увеличении скорости, а время достижения стабильных показаний уменьшается. При периоде колебания 10 с разница составляет также около 10 секунд.

### **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. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 456 с.

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ТОРОСОВ И СТАМУХ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

Р.Б. Гузенко<sup>1</sup>, В.В. Харитонов<sup>1</sup>, Е.У. Миронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## PECULIARITIES OF THE INTERNAL STRUCTURE OF ICE RIDGES AND STAMUKHAS IN THE ARCTIC SEAS

R.B. Guzenko<sup>1</sup>, V.V. Kharitonov<sup>1</sup>, Ye.U. Mironov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Приводятся результаты анализа экспедиционных исследований торосов и стамух, проводившихся ААНИИ в арктических морях с помощью водяного термобурения с записью скорости бурения. Рассматриваются вопросы распределения консолидированного слоя и пористости внутри ледяного образования, взаимосвязей с другими морфометрическими параметрами.*

*The results of the analysis of expedition studies of ice ridges and stamukhas conducted by AARI in the Arctic seas using hot water thermal drilling with the penetration rate recording are presented. The issues of distribution of the consolidated layer thickness and porosity within an ice feature and their interrelations with other morphometric parameters are considered.*

Изучение особенностей внутреннего строения крупных ледяных образований (торосов и стамух), определение закономерностей и взаимных связей между их морфометрическими характеристиками прежде всего важно в плане выявления или уточнения природных механизмов, ответственных за эволюцию тех или иных элементов ледяного покрова. Кроме того, исследование данных вопросов напрямую связано с хозяйственной деятельностью в Арктике. Торосы, как крупные ледяные образования (ЛО), обладают внушительной массой, и их постоянное движение включает в себе угрозу повреждения морской инженерной инфраструктуры. Стамухи, обладающие еще большей массой, при снятии с грунта и переходе в дрейфующее состояние представляют не меньшую опасность. Для определения возможной нагрузки на морские объекты и проектирования соответствующих защитных сооружений необходимо знать основные морфометрические параметры ЛО для конкретного района: длину гребня, высоту и ширину паруса, глубину и ширину киля, общую толщину, пористость (относительное содержание пустот в торосе), толщину консолидированного слоя (КС) и другие. Последние параметры относятся к характеристикам внутренней структуры ЛО, определение которых возможно только с использованием специального оборудования. Такое оборудование разработано в ААНИИ под руководством В.А. Морева и успешно используется в экспедиционной деятельности. Технология водяного термобурения ЛО с записью скорости бурения на электронный носитель позволяет с высокой точностью и достоверностью определять пористость, границы КС и другие характеристики внутренней структуры.

КС является ключевой характеристикой внутренней структуры ЛО. Образуясь в результате смерзания обломков льда, он связывает отдельные элементы ЛО в единый монолит и представляет наиболее серьезную потенциальную опасность для морских сооружений. Важнейшей характеристикой КС является его толщина. Соответственно, повышенный интерес вызывают и факторы, ее обуславливающие и влияющие на ее изменение. Малоизученным, но интересным с научной и прикладной точек зрения является вопрос распределения пористости и толщины КС внутри ЛО

В работе [1] были представлены некоторые результаты анализа параметров внутренней структуры 83 торосов (выборка статистической обработки включала 2969 скважин бурения с КС), исследованных в 2014-15 гг. в морях Карском и Лаптевых методом водяного термобурения. В частности был затронут вопрос распределения КС и пористости внутри тороса. Отмечалось, что наиболее мощным участкам киля соответствует наиболее мощный КС. Это связывалось с особенностями распределения в киле пористости, когда область наименьшей пористости располагается у поверхности воды (в зоне формирования КС), и по мере удаления от точки максимального киля эта область, как и толщина КС, утончается по глубине. Такая особенность распределения пористости, в свою очередь, является следствием влияния сил тяжести и

всплывтия, под воздействием которых во время формирования тороса происходит концентрация и последующее уплотнение мелких обломков льда в районе уровня моря. Ранее с действием аналогичных механизмов связывал подобную картину вертикального распределения коэффициента заполнения (величины, обратной пористости) в свежих арктических торосах В.Д. Грищенко [2].

В настоящей работе для статистического анализа параметров внутренней структуры к упомянутым 83 торосам добавлено 25 торосов и 7 стамух, исследованных методом термобурения в Байдарацкой губе Карского моря в 2007 и 2010 годах. Таким образом, данная выборка по торосам составила 3582 скважины бурения с КС в 108 ЛО, по стамухам 398 скважины с КС в 7 ЛО. На рис. 1 показано изменение пористости по глубине в результате осреднения данных по торосам и стамухам. На графике представлены 95 % всех значений; малообеспеченные данными участки кривой, соответствующие экстремальным значениям паруса и киля, отфильтрованы. Из рисунка видно, что минимум пористости и у торосов, и у стамух ожидаемо располагается вблизи уровня моря. На наиболее обеспеченных данными участках кривой заметна общая тенденция увеличения пористости с высотой в парусе и с глубиной в киле ЛО. Можно заметить, что для торосов эта закономерность проявляется от +0,9 м в парусе и до -10,9 м в киле, для стамух – от +1,5 м в парусе до -5,7 м в киле относительно уровня моря. При этом видно, что «упаковка» льда в киле стамух в целом существенно плотнее, нежели в торосах: в стамухах пористость не превышает 0,15, а в торосах ниже глубины 3 м значения пористости большей частью располагаются в диапазоне 0,20-0,25.

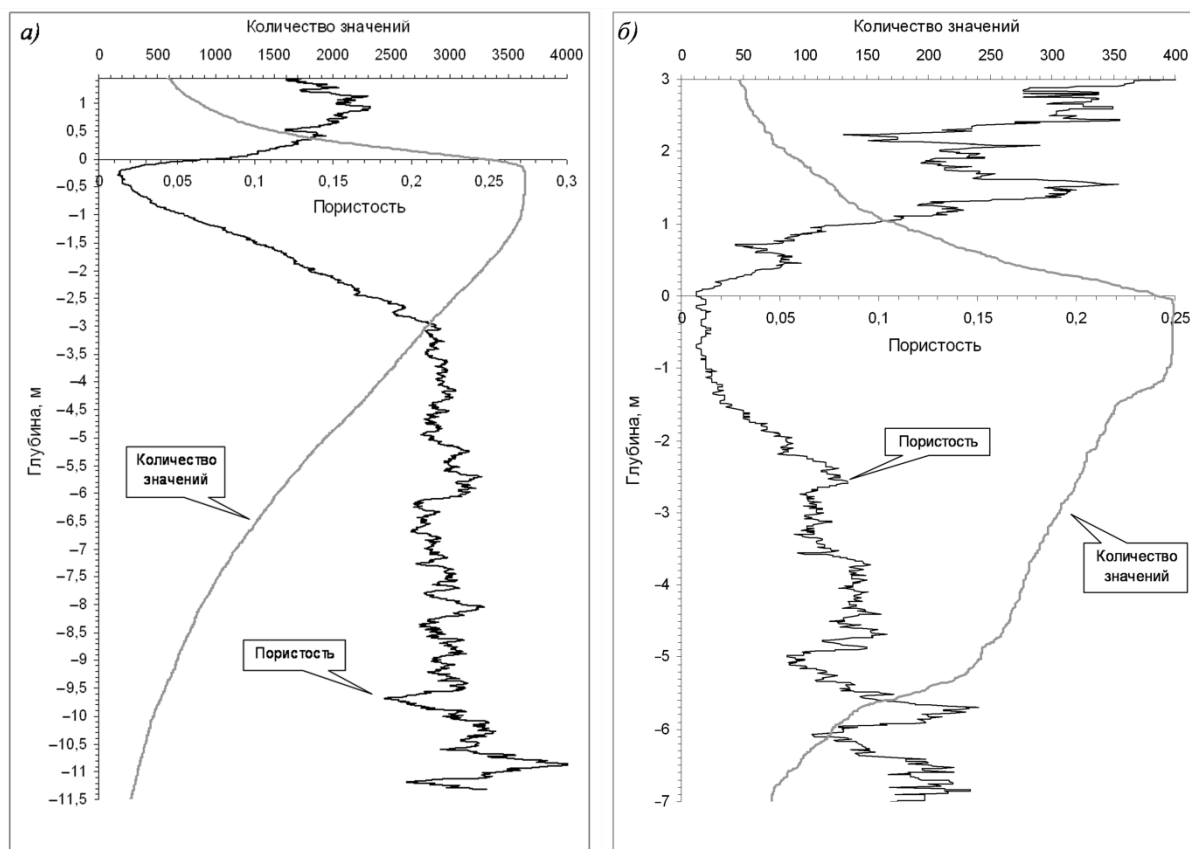


Рис. 1. Изменение пористости в торосах (а) и стамухах (б) по глубине киля и высоте паруса.

Интересным вопросом является влияние паруса ЛО на толщину КС под ним. В отдельных работах делается предположение, что парус, заключающий в себе заполненные снегом и воздухом пустоты, препятствует промерзанию и увеличению толщины КС. Так в одной из работ [3] делается вывод, что к концу периода консолидации в районе гребня тороса КС принимает W-образную форму, т.е. под парусом толщина КС наименьшая, и связывают это именно с теплоизолирующими свойствами паруса.



В таблице 1 показаны результаты сделанных по нашим выборкам расчетов основных морфометрических параметров относительно принадлежности к парусу ЛО.

Таблица 1. Основные морфометрические параметры (средние значения) торосов и стамух, исследованных методом термобурения в 2007-2015 гг.

Параметр	Торосы (108)			Стамухи (7)		
	Парус/ под парусом	Внепаруса	Все	Парус/ под парусом	Внепаруса	Все
Количество точек	1038 (29 %)	2544 (71 %)	3582	253 (64 %)	145 (36 %)	398
Толщина КС, м	2,36	1,99	2,10	2,10	2,01	2,07
Превышение, м	1,78	0,28	0,72	1,88	0,27	1,29
Глубина кия, м	7,96	5,11	5,93	5,36	4,33	4,98
Общая толщина, м	9,74	5,39	6,65	7,24	4,60	6,27

Как видно из таблицы, толщина КС под парусом в среднем оказалась больше как у торосов (на 19 %), так и у стамух (на 4 %), нежели вне паруса. В упомянутой работе [1] этот факт нами был объяснен тем, что в области паруса в среднем находятся более мощные, нежели вне паруса, участки кия. Таблица 1 демонстрирует: в торосах это проявляется особенно сильно, что связано с характерными особенностями строения ЛО. А как нами было отмечено, более мощным участкам кия соответствует в среднем более мощный КС.

Безусловно, вышеописанные закономерности не являются универсальными для абсолютно всех ЛО. Представленные здесь расчеты охватывают 12 регионально-годовых локальных выборок (10 выборок по торосам и 2 – по стамухам), и в одной из выборок, состоящей из семи торосов, средняя толщина КС под парусом оказалась меньше, чем вне паруса (на 8 %). Всего же для изучения данного вопроса нами было рассмотрено 14 локальных выборок, объединяющих 145 ЛО. И в двух из них (по одной – в торосах и стамухах) была отмечена отрицательная разница в средних толщинах КС под парусом и вне паруса. Возможно, это происходит, когда теплоизолирующий эффект паруса доминирует над влиянием более мощных участков кия под ним в формировании КС. Какие морфометрические характеристики паруса могут сказываться на его теплоизолирующих свойствах? По-видимому, средняя толщина льда в парусе (средняя высота паруса), пористость паруса, средний размер пустот в парусе. Очевидно, чем значения этих характеристик больше, тем процессы промерзания паруса и консолидации под ним более затруднительны, т.е. теплоизолирующий эффект должен быть заметнее. После предварительного анализа данных характеристик можем отметить следующее: в обоих случаях, когда средняя толщина КС под парусом была меньше, нежели вне его, средняя высота паруса превышала 2 м (вообще, средняя высота паруса более 2 м соответствовала трем выборкам из 14, т.е. в одном случае эта закономерность не сработала). В целом, можно констатировать, что вопросы закономерностей распределения пористости и толщины КС в ЛО, а также оценка факторов, эти закономерности обуславливающих, требуют более глубокого изучения.

### Литература

1. Павлов В.А., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Миронов Е.У., Гузенко Р.Б., Харитонов В.В. Особенности развития консолидированного слоя гряд торосов в морях Карском и Лаптевых // Нефтяное хозяйство. 2016. №11, С. 49-54.
2. Грищенко В.Д. Морфометрические характеристики гряд торосов на льдах Арктического бассейна// Труды ААНИИ. 1988.Т. 401, С. 46-55.
3. Nøyland K.V., Løset S. Measurements of temperature distribution, consolidation and morphology of a first-year sea ice ridge // Cold Regions Science and Technology. 1999. № 29, P. 59–74.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60109.*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the research project No. 18-05-60109.*

## ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ В Г.ТОСНО

Е.В. Гуревич<sup>1</sup>, М.Л. Марков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF FLOODING IN THE TOWN OF TOSNO

E. V. Gurevich<sup>1</sup>, M. L. Markov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Установлены основные антропогенные и природные факторы экстремальных наводнений в г. Тосно. Предложены мероприятия по снижению негативного воздействия вод на прибрежную городскую территорию.*

*The main anthropogenic and natural factors of extreme floods in Tosno are established. Measures to reduce the negative impact of water on the coastal urban area are proposed.*

По данным МЧС при прохождении весеннего паводка происходит практически регулярное подтопление и затопление г. Тосно. Начало затопления города происходит при уровнях 560 см над нулем графика поста (24,69 м БС). Критерий опасного явления наступает при уровне воды 610 см [1]. Наивысший уровень воды зафиксирован в 1966 г. - 668 см, когда затопило 75% города (2400 домов). О регулярности затопления свидетельствуют, например, следующие данные: 2010 г. - в зоне подтопления и затопления оказалось 148 домов и 301 жителей, в 2011 г. - 116 и 239 жителей, в 2013 г. 300 домов и 620 жителей. Ежегодные ущербы от наводнений составляют от 0,5 и более млн. руб. Например, в 2013 г. расходы бюджета Тосненского городского поселения по ликвидации последствий весеннего паводка (наивысший уровень - 634 см) составляли 980 тыс. рублей.

Высокие уровни воды в реке зависят от расходов и морфометрических характеристик русла и поймы. В последние десятилетия максимальные расходы воды весеннего половодья имеют устойчивый тренд на снижение [2]. Во втором оценочном докладе Росгидромета [3] прогнозируется дальнейшее снижение максимальных расходов воды весеннего половодья. Вместе с тем, как показано выше, опасность затопления и подтопления г. Тосно сохраняется. Основная причина этого заключается в снижении пропускной способности весеннего половодья русла и поймы, возникновении ледовых заторов. В одних случаях снижение пропускной способности связано с естественными природными процессами, в других – с антропогенным влиянием. В ходе обследования ФГБУ «ГГИ» р. Тосны и ее притоков в 2014-15 гг. был выявлен ряд мест с потенциальной опасностью, к которым относятся места зарастания, занесения и заиливания, места возможного затора льда. Основные причины неблагоприятной гидрологической обстановки г. Тосно в пространственном отношении можно разделить на 2 зоны р. Тосны – в г. Тосно и ниже г. Тосно. Первая расположена ниже по течению от г. Тосно (острова, пороги, зарастание русла), вторая - в самом городе (сужение русла под мостами, остатки мостовых опор, плохое состояние системы водоотведения с территории, застройка поймы и т.д.). Чувствительность изменений колебания наивысших уровней воды в реке к незначительным изменениям её пропускной способности обусловлена чрезвычайно малыми уклонами русла. Средний уклон водной поверхности реки в межень на участке от центра города до Галашовского канала 0,05 ‰, а в периоды прохождения наивысших уровней воды уклон становится еще меньше.

Сложная водопропускная обстановка на р. Тосна складывалась столетиями. В 1805 год было выполнено описание реки Тосны. «Раздор и корыстолюбие дровяных промышленников суть единственные причины такого обмеления реки Тосны, ибо каждый старается задерживать дрова позади его идущие и чрез то ускорить продажу своих дров, получает исключительный и знатный барыш. Позади же находящиеся дрова, будучи остановлены остаются в реке иногда целое лето, часть оных погружается на дно реки, от чего она ежегодно более и более засоряется.... Между порогами и сим каналом (Галашовским) находятся нарочитой длины

разные острова, большей частью болотистые. Сии острова произошли от наносного песку коим замыло кучи топлых дров и которые поросли травой»[4]. Такое описание гидрологической обстановки давалось более 200 лет назад. За последние 2 века ситуация только усугублялась, т.к. река еще больше захламлилась. В результате полевого обследования р. Тосны от г. Тосно до д. Ульяновки были выявлены участки, на которых формируются острова, откладываются наносы и создаются подпорные участки для пропуска высоких вод. Активное образование осередков наблюдается на участке протяженностью в 2 км. Грунты и инородный материал (в том числе смываемый с селитебных территорий мусор), занесенные песком и илом, скреплены осокой, тростником и превратились в островки, создающие затороопасную ситуацию, и ухудшают пропускную способность русла реки. В результате снижается и транспортирующая способность водного потока, происходит отложение наносов, и постепенное поднятие дна реки на отдельных участках. Травяной слой не смывается в период половодья из-за малых скоростей потока.

В целом, эти факторы при неблагоприятном стечении гидрометеорологических условий (низкая зимняя водность, холодная и снежная зима и др.) могут создавать затороопасные ситуации на участках реки с низкой ледопротускной способностью.

В городской черте в русле р. Тосно выявлены участки с местными гидравлическими сопротивлениями в русле с низкой пропускной способностью: выше, ниже и под железнодорожным мостом через р. Тосно, расположенном в северной части г. Тосно в конце Заводской наб., а также выше, ниже и под автомобильным мостом через р. Тосно по ул. Октябрьской. На этом участке в русле реки находятся остатки старых свай деревянных мостов, и отмечается зарастание русла водной растительностью. В результате отложений наносов на свайных участках снижается пропускная способность русла и создается сопротивление для прохождения русловых масс воды. Подпорное влияние остатков свай от старых деревянных мостов на уровень режим р. Тосны может распространяться на 0,5-1 км выше по течению. Под центральным железнодорожным мостом (в 40 м ниже а/моста по ул. Вокзальной) в русле реки наблюдается перекатная зона длиной 50 м. Пропускная способность русла в период весеннего половодья снижена конструктивными особенностями моста и наличием защитных берм под мостом с левого и правого берега. Стеснение потока вызывают бетонные опоры моста по левому и правому берегам. В 0,3 км ниже автомобильного моста по ул. Вокзальной в русле р. Тосны после демонтажа старого деревянного моста осталось частично заросшее свайное поле 0,04 км при ширине реки 0,03 км. Подпорное влияние свайного поля на уровень режим р. Тосны распространяется на 1 км выше по течению.

Анализ космоснимков показал, что в периоды, предшествующие высоким половодьям 2011 и 2013 года, русло реки ниже города было подо льдом при открытом русле в городской черте. В процессе полевого обследования р. Тосны ниже города (в 13 км) были выявлены участки (наносные острова), препятствующие транспортировке льда вниз по течению. На этом участке длиной около 0,2 км происходит образование осередков, зарастание русла, что еще больше снижает его пропускную способность и способствует образованию заторов.

Таким образом, основную роль в затопление и подтопление г. Тосно в настоящее время играет антропогенный фактор (застроенность пойм, остатки свайных полей от ранее существовавших мостов, низкая пропускная способность существующих мостов, захламленность русла и т.д.). К этому добавляется ухудшение пропускной способности на участке между г. Тосно и д. Ульяновка, формируется осередковый тип руслового процесса. На этом участке преобладает процесс аккумуляции наносов. Образуются острова, заросшие кустарником и травой, что еще больше снижает пропускную способность стока и льда и в конечном счете снижает уклон р. Тосны, что неизбежно приводит к уменьшению транспортирующей способности потока и увеличению отложения наносов в реке, создает благоприятные условия для заторообразования. Этот процесс принимает необратимый характер, и поэтому даже при прогнозируемом снижении стока в весеннее половодье не следует ожидать снижения частоты затопления и подтопления города.

Так как основным фактором затопления территории г. Тосно является в настоящее время низкая и постепенно продолжающаяся снижаться пропускная способность русла и поймы, то для снижения негативного воздействия вод необходимо проводить расчистку русла и поймы реки, особенно на участках, где происходит аккумуляция наносов.

## **Литература**

1. Каталог населенных пунктов Ленинградской области, подверженных периодическому затоплению (подтоплению) при высоких уровнях воды в реках и каналах. СПб, 2001, -30 с.
2. Журавлев С.А. и др. Многолетняя изменчивость и тренды максимальных расходов воды весеннего половодья рек северо-запада Европейской России. –М.: Метеорология и гидрология. №6, 2017, с.99-108.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. –М.: 2014, с.30.
4. Потравнов А., Хмельник Т. Канал Тосна-Тигода. Электронный ресурс: [http://regionavtica.ru/articles/kanal\\_tosna\\_-\\_tigoda.html/](http://regionavtica.ru/articles/kanal_tosna_-_tigoda.html/)

ОБ ЭФФЕКТАХ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРЕНДА ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ВРЕМЕННОГО ХОДА УРОВНЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ)

Д.В. Густоев<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Российский гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

ON THE EFFECTS OF CHANGES IN THE INTENSITY OF THE TREND THE AGGREGATION OF THE SOURCE DATA (FOR EXAMPLE, SEA LEVEL OF THE NORTH ATLANTIC)

D.V. Goustoev<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Russian Hydrometeorological State University, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются вопросы влияния наличия тренда в одной точке сеточной области на формирование долгопериодной изменчивости региона после осреднения по пространству.*

*The paper deals with the influence of the trend at one point of the grid region on the formation of long-term variability of the region after averaging over space.*

Выявление долгопериодных тенденций занимает достаточно заметное место при проведении анализа временной изменчивости различных гидрометеорологических характеристик. На основе тренд-анализа создаются концептуальные положения о возможном развитии процесса в перспективе, порой даже достаточно удалённой от современности. Достаточно обратиться к концепции «глобального потепления» и познакомиться с выводами её сторонников и противников, чтобы понять, насколько неоднозначными, а порой и противоречивыми, могут быть заключения о возможном сценарии развития событий. Откуда берутся тренды, каковы возможные причины их возникновения – вопросы, на которые в настоящее время нет исчерпывающих ответов. В свете вышесказанного, проблема определения возможных причин появления трендов представляется весьма актуальной. Что уж говорить о трендах в ходе уровня мирового океана (УМО), когда даже определение его среднего значения – задача на сегодняшний день не окончательно решённая [<http://www.oceanavt.ru/taini-okeana/1066-mif-o-srednem-urovne.html> <http://www.oceanavt.ru/content/view/1066/32/>].

По некоторым оценкам годовая изменчивость УМО только вследствие годового хода температуры воды может достигать 35-40 см.

Целью работы является рассмотрение возможных механизмов формирования долгопериодных тенденций в процессе проведения статистических расчётов.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи.

1. Оценить изменения, происходящие с долгопериодной изменчивостью после проведения процедуры осреднения по пространству.

2. Оценить изменения частотно-дисперсионных характеристик после проведения процедуры осреднения по пространству.

В качестве исходных данных, при проведении исследований, служили временные серии значений уровня северной части Атлантического океана в сетке 0,5x0,5 в полосе широт 79 °с.ш. – 0 °с.ш. с ноября 1992 до февраля 2006 гг.

Для определения возможного влияния осреднения на характер тренда, из исходного массива были выбраны пять временных серий, в регионе экватории, свободного от превалирования трендовой компоненты. Всего выбрано пять точек в узлах регулярной сетки, одна в центре и четыре в соседних узлах (рис. 1).

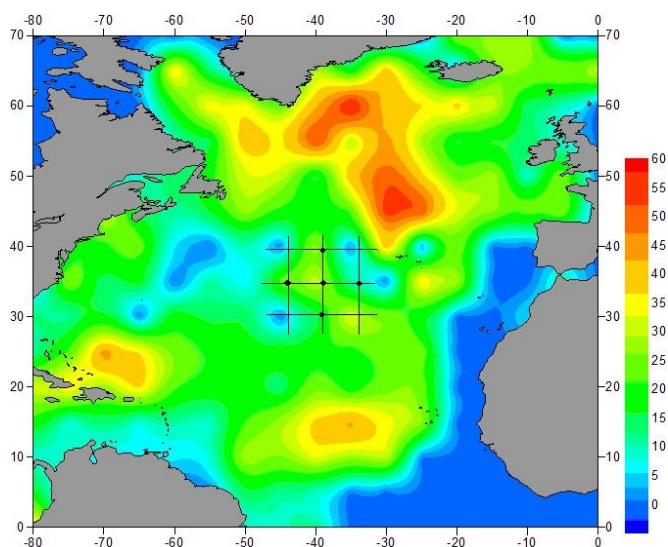


Рис. 1. Пространственное распределение долгопериодной компоненты (в % от дисперсии исходной выборки) и схема расположения выбранных точек.

Временной ход и тренды периферийных точек представлены на рис. 2 (а-г).

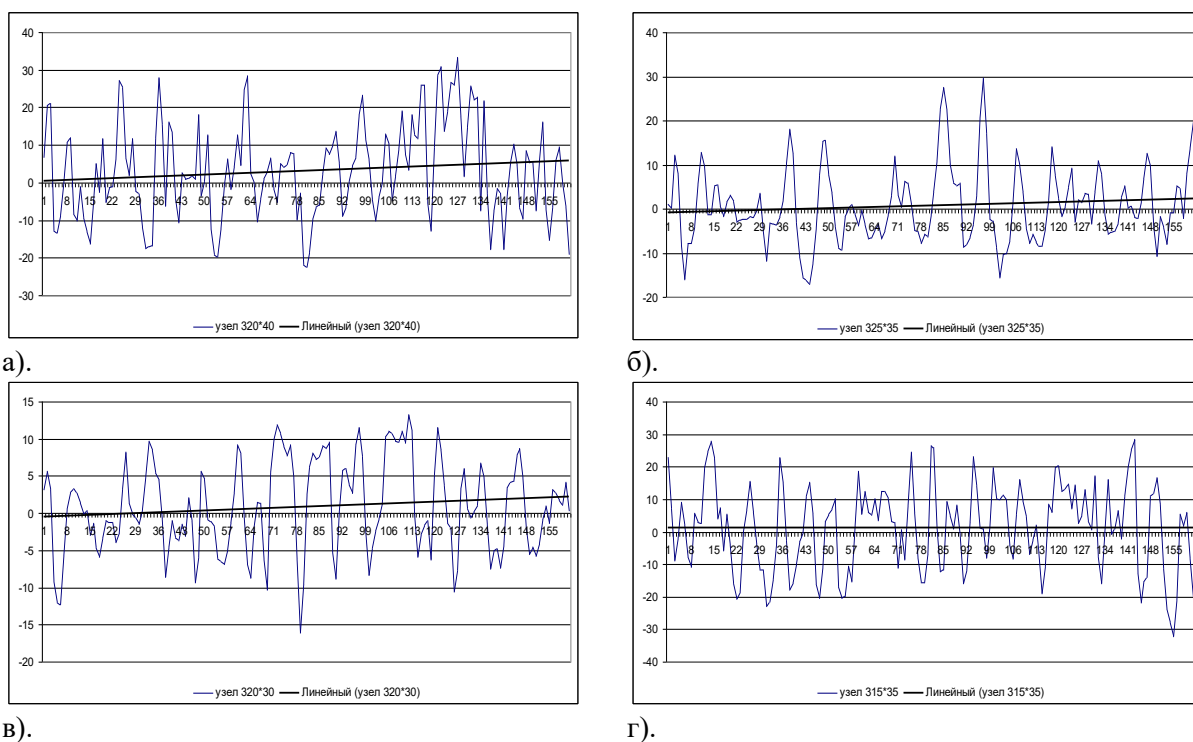


Рис. 2 (а-г). Временной ход уровня и его линейный тренд в точках с координатами (320\*40 ( а), 325\*35 (б), 320\*30 (в), 315\*35 (г)).

Совершенно очевидно и справедливо, что при осреднении выраженность квазилинейной компоненты должна уменьшаться. Однако, так происходит далеко не всегда.

Из рисунков видно, что для южной периферии (рис. 2г) положительная тенденция совершенно не выражена. На восточной и западной границах выражена слабо, а на северной границе обладает наилучшей выраженностью. Тангенс угла наклона тренда составляет от 0 до 0.04. После осреднения по всем точкам он увеличивается до 0.05, а по четырём точкам (без центральной) - до 0.07 (рис. 3б).

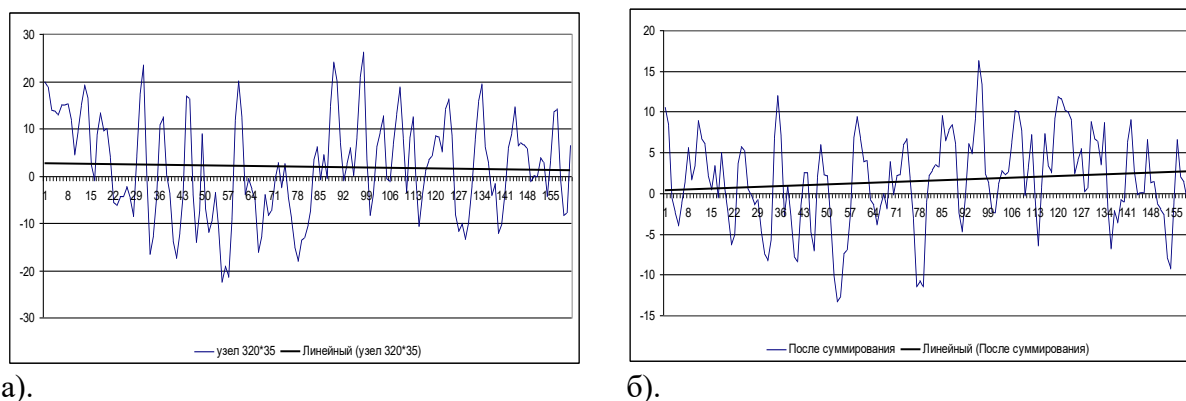


Рис. 3. Временной ход уровня и его линейный тренд  
(в центральной точке района а) и после осреднения по району б).

В центральной точке региона наблюдается слабо выраженный отрицательный тренд, что прямо противоположно ситуации, наблюдаемой в точках на периферии района и временному ходу осредненного по району уровня. Этот момент несколько сглаживает эффект усиления линейной тенденции в результате осреднения. Анализ частотно-дисперсионных характеристик процентного вклада в общую дисперсию изменчивости показал, что после осреднения доля трендовой компоненты увеличилась на 5%.

Следует отметить, что приведённые выше заключения, справедливы для районов со слабой выраженностью тренда. В регионах, где доля тренда составляет до 50%, эффекты осреднения проявляются гораздо ярче.

Особенно заметен эффект изменения знака и выраженности тренда в зональном направлении. На рис. 4 представлены временные серии уровня в узлах через  $5^\circ$  (с  $60^\circ$  з.д. по  $30^\circ$  з.д.) по 35-й параллели. В целях информативности рисунка нанесены две основные тенденции, свойственные этим временным сериям. Из рисунка видно, что эти тенденции или очень слабо положительны, или вовсе отрицательны. После процедуры осреднения, тренд приобретает черты повышающегося (рис.5).

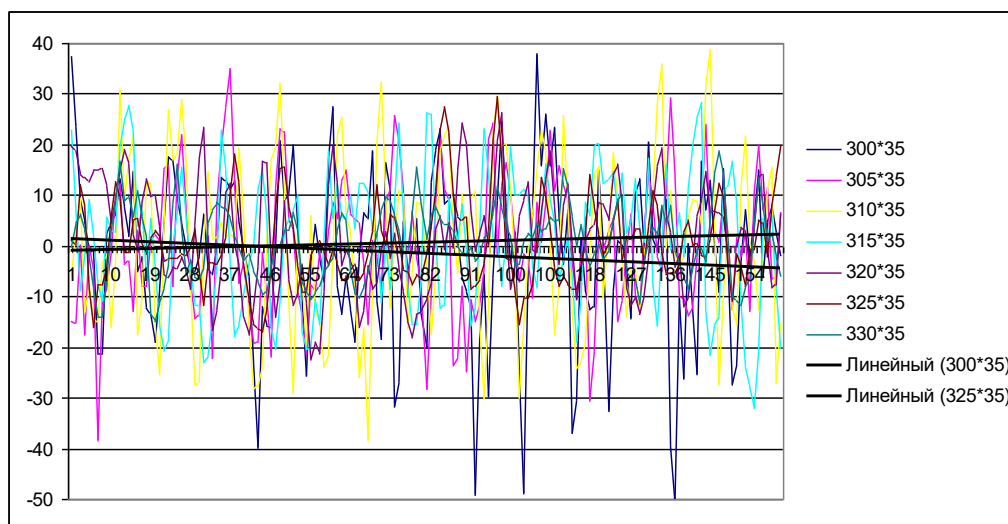


Рис. 4. Временной ход уровня и его наиболее характерные линейные тренды  
(в узлах через  $5^\circ$  (с  $60^\circ$  з.д. по  $30^\circ$  з.д.) по 35-й параллели)

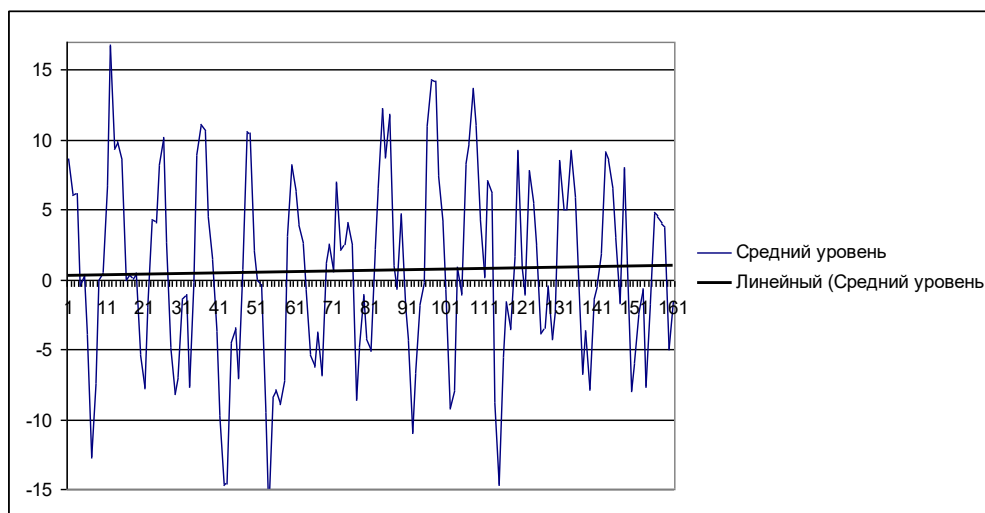
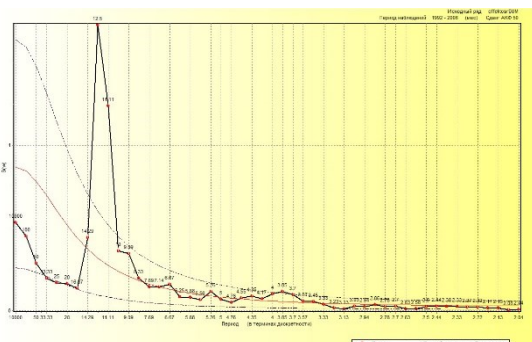


Рис. 5. Временной ход осреднённого уровня и его линейный тренд

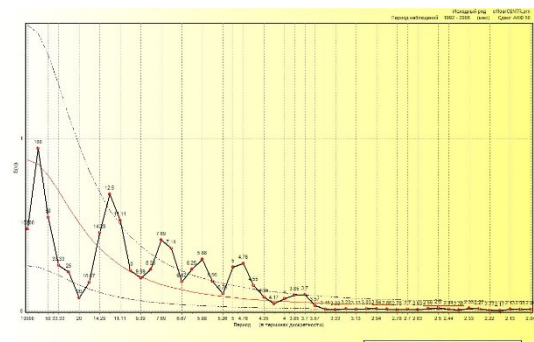
Функции спектральной плотности показывают не только различную выраженность трендовой компоненты, но и различия во внутренней структуре выбранных временных рядов УМО (рис. 6 а,б)

Из рисунков видно, что трендовая компонента в центральной точке хорошо выражена (рис. б). После осреднения её доля в общей дисперсии уменьшилась (рис. ба). Один из эффектов осреднения – налицо.

Не следует забывать и о таком факте, что единственная точка, временная серия УМО в которой имеет достаточно хорошо выраженный тренд, может определить этот тренд и для соседних информативных точек, причём для достаточно большой, по площади, акватории.



а)



б)

Рис. 6. Функции спектральной плотности временного хода уровня и его линейный тренд в центральной точке (а) и после осреднения по всему району (б).

Результатом такого эффекта будет ошибочное мнение эксперта о тенденциях УМО на довольно обширных пространствах вплоть до планетарных.

Подводя итоги размышлений, следует отметить три эффекта, которые могут возникнуть при статистической обработке выборок УМО:

1. После осреднения проявится трендовая компонента не характерная для большинства точек акватории.
2. После осреднения трендовая компонента может иметь знак характерный не для всех точек акватории.
3. После осреднения трендовая компонента будет иметь интенсивность не характерную для большинства точек акватории.

В целом, эффекты осреднения можно определить двояко. С одной стороны – при осреднении, и это известно, скрадываются обострения и резкие флуктуации параметра во времени, с другой



стороны – после проведения процедуры осреднения у исследователя может создаться ложное впечатление об интенсивности и характере линейных тенденций изменчивости в регионе. Уровень Мирового океана в последнее время демонстрирует тенденцию к повышению. Возможно, следует обратить внимание на тот факт, что эта тенденция как раз и подвержена влиянию описанных выше эффектов. Кроме того, тенденция, полученная по осреднённым данным справедлива не для каждого узла сеточной области.

Наиболее приемлемым способом избежать ошибок связанных с анализом «ложных» трендов, по мнению автора, является отдельная обработка исходных рядов УМО и чёткое обозначение узлов сетки, в которых наблюдается хорошо выраженная трендовая компонента.

Скорее всего, повышение УМО не одинаково отразится на разных сегментах акватории. Наибольшему влиянию будут подвержены районы, где вклад долгопериодной компоненты в общую дисперсию составит порядка 50%. Совершенно очевидно, что на некоторые районы повышение УМО окажет малозаметное влияние.

### **Литература**

1. Буторин Н. В. Вековые изменения среднего уровня Атлантического океана и их связь с циркуляцией атмосферы. - М.- Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 334 с.
2. Калинин Г. П., Клиге Р. К. К вопросу о вековых колебаниях уровня Мирового океана. / В сб.: Формирование ресурсов вод суши / Под ред. Г.П. Калинина. – М.: «Наука», 1972. 132 с.
3. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И. Изменчивость уровня Мирового океана за последние 140 лет // Учен. записки РГГМУ. 2007. Вып. 4. С. 125–131.
4. Sea Level Change // University of Colorado at Boulder. URL: <http://sealevel.colorado.edu>

## ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА СТРУКТУРУ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.В. Даньшина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE INFLUENCE OF CALCULATING GRID DISCRETISATION ON THE HYDRODYNAMIC FIELDS STRUCTURE

A.V. Danshina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Показано, что существует влияние дискретизации расчетной сетки на структуру гидродинамических полей при использовании процедуры телескопизации в конфигурации модели NEMO с двумя вложенными друг в друга дочерними сетками.*

*It is shown there is an effect of the discretization of the computational grid on the structure of the hydrodynamic fields using the telescoping procedure in the NEMO model configuration with two nested child grids.*

Данное исследование основывается на обработке данных численных экспериментов, полученных с помощью расчётов на базе конфигурации европейской модели NEMO (The Nucleus for European Modelling of the Ocean) [1], состоящей из объединенных блоков океан-морской лед. В рассматриваемой конфигурации глобальной модели была применена процедура телескопизации. Изначально в качестве родительской расчетной сетки была заложена криволинейная ортогональная сетка из семейства триполярных сеток, названных ORCA [2], с дискретизацией по пространству в 2 градуса. Дочерние сетки создавались с помощью утилиты NESTING TOOLS программного комплекса NEMO. Первая дочерняя сетка была вырезана из родительской и охватила район Северо-Европейского бассейна (рис. 1). Таким образом, на интересующей нас акватории пространственное разрешение было увеличено в 4 раза, и шаг по пространству в ней составил 0.5 градуса (таблица 1). Из полученной первой дочерней сетки была вырезана вторая дочерняя сетка, в которой пространственный шаг также был уменьшен в 4 раза (рис.1).

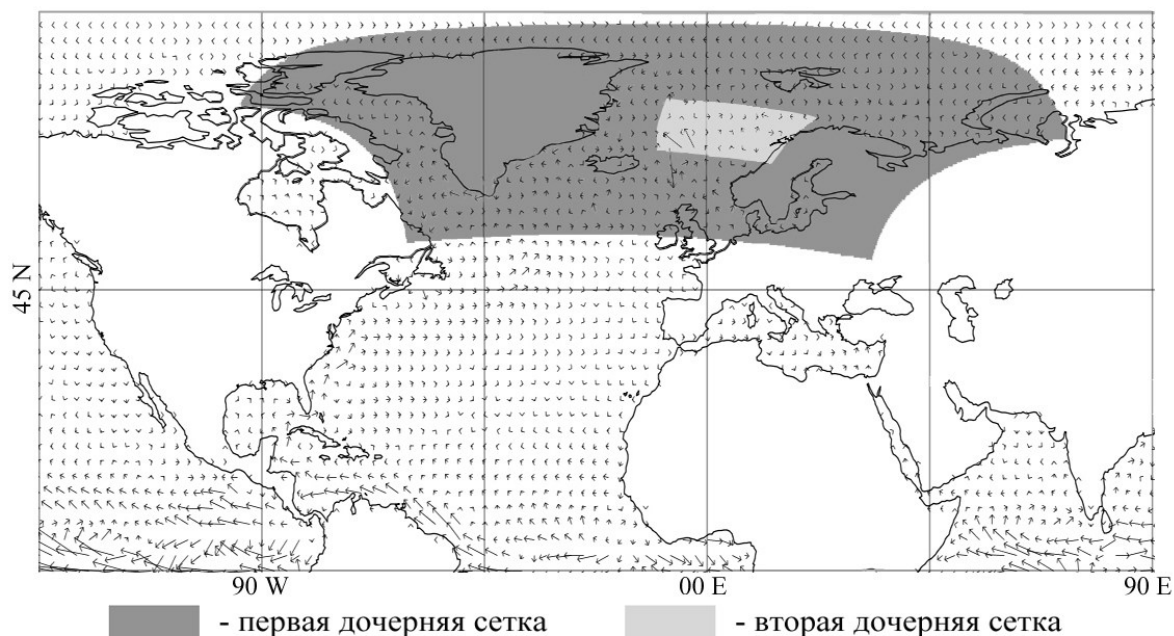


Рис. 1. Расположение расчетных дочерних сеток на родительской сетке

Эта тонкая расчетная сетка предназначалась для детализации течений в Лофотенской котловины. В таблице 1 показано, что для счета на обеих дочерних сетках шаг по времени был пропорционально уменьшен.

Таблица 1. Размер расчетных сеток и пространственно-временная дискретизация конфигурации модели

Название сетки	Размер сетки, количество узлов	Шаг по пространству, км	Шаг по времени, с
Глобальная	182 x 149	222	720
Первая дочерняя	184x128	55.5	360
Вторая дочерняя	156x124	13.9	180

По вертикали, как на родительской сетке, так и на дочерних, задавался 31 расчетный уровень.

Используемый в пакете NEMO режим телескопизации позволяет выбирать боковые граничные условия региональных расчетов на дочерних сетках из глобальной модели. В качестве начального условия для региональных тестовых расчетов использовалось начальное состояние океана, полученное в ходе разгона глобальной модели от климатологии Левитуса под воздействием атмосферных форсингов DFS5.2 (Drakkar forcing) за 10 лет с 1993 по 2003 годы. DFS5.2 атмосферные форсинги представляют собой специально разработанные форсинги для проекта DRAKKAR (<http://www.drakkar-ocean.eu/>), также использующего для расчета циркуляции океана численную модель NEMO. Эти форсинги основаны на данных атмосферного реанализа ERA-interim Европейского центра среднесрочного прогноза погоды (European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF)), включающие в себя все необходимые переменные, требуемые моделью NEMO для расчетов по балк-формулам CORE - II пресноводного баланса, потоков тепла и импульса через границу раздела воздух-океан. Поскольку положение узлов сетки атмосферных форсингов не совпадало с расчетными узлами родительской и дочерних сеток адаптированной конфигурации модели NEMO с двойной телескопизацией, то перед началом проведения экспериментов была проведена работа по подготовке файлов весов с помощью прилагаемого пакета SCRIP, требуемых моделью для интерполяции “на лету” атмосферных форсингов.

Визуализированные поля течений, полученные в результате численных экспериментов в зоне совпадения областей трех используемых расчетных сеток с разной степенью пространственной дискретизации, показали, как происходит детализация структуры гидродинамических полей.

Кроме того, для выявления возможности влияния дискретизации на структуру полей течений был произведен и расчет потоков через границы выбранной расчетной области единой для всех трех расчетных сеток. Вычисление расходов течений осуществлялся в верхнем пятиметровом слое океана. Значение расходов на сетках с повышенной дискретизацией было проинтерполировано в узлы грубой исходной сетки. Сопоставление полученных данных о расходах через границы показало наличие расхождений в его величине и направлении между используемыми расчетными сетками.

В качестве количественной оценки отличия в расходах на границах была рассчитана абсолютная ошибка в этих расходах на границах выделенной исследуемой области дочерних сеток относительно родительской сетки, так и между самими дочерними расчетными сетками. Ошибка в расходах существует для всех четырех открытых границ исследуемой области. Как оказалась, величина этой ошибки, так и ее изменчивость во времени отличается в зависимости от выбора сравниваемых между собой расчетных сеток.

На рисунке 2 приведена изменчивость ошибки в расходах между исходной грубой и первой дочерней расчетными сетками на двух их открытых границах в сентябре (с 245 по 274 день расчета) 2004 года. Видно, что распределение абсолютной ошибки во времени через левую границу (рис. 2а) качественно отличается от ее изменения на правой границе (рис.2б). Кроме того, диапазон разброса абсолютной ошибки расхода через левую границу исследуемой области гораздо шире, чем через правую границу. Так на левой открытой границе величина ошибки

менялась за месяц в пределах от  $-0.055$  до  $0.07$  км<sup>3</sup>/с, а на правой – от  $-0.026$  до  $0.034$  км<sup>3</sup>/с. Отрицательный знак ошибки в данном случае говорит о разнонаправленности потоков.

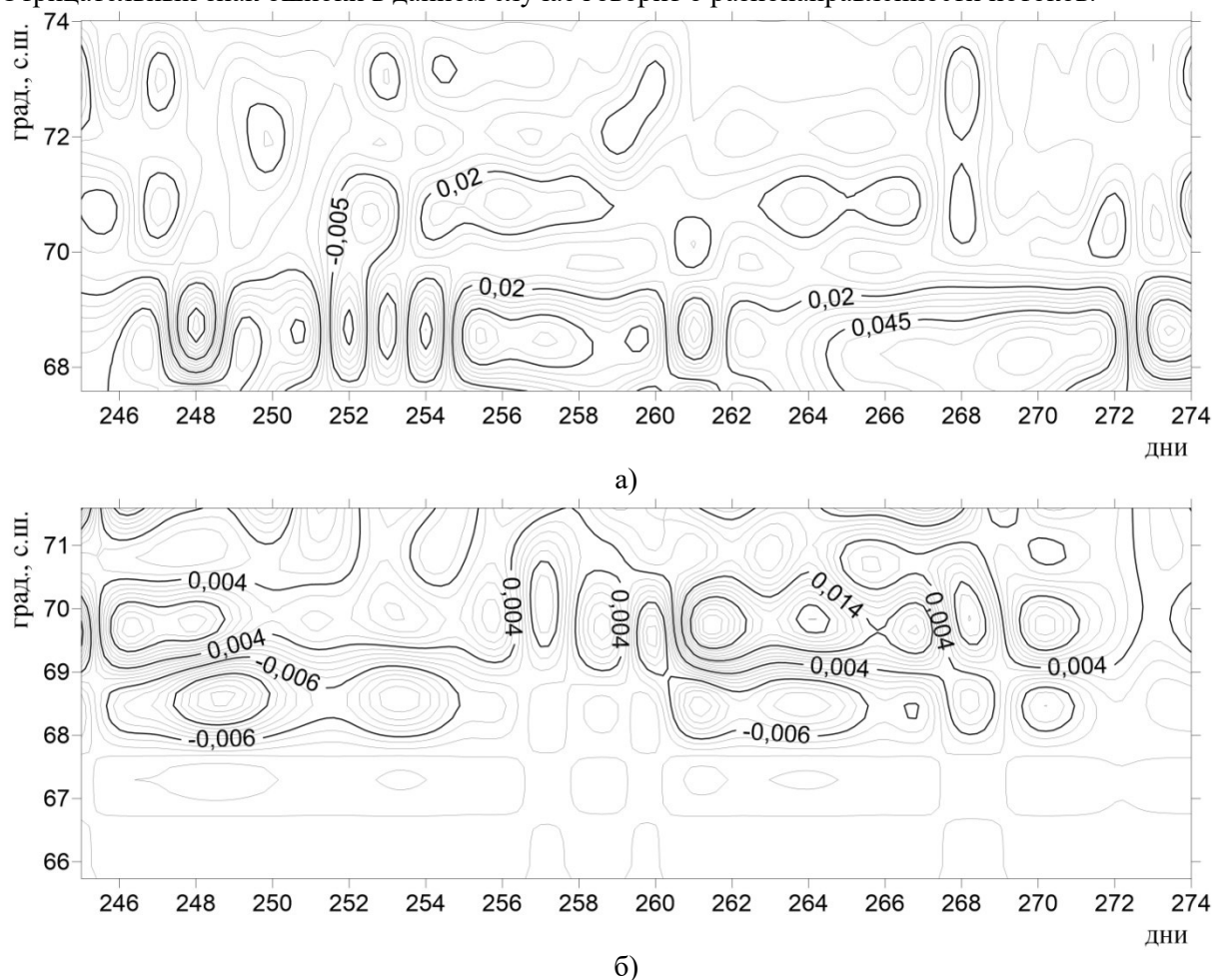


Рис. 2. Временной ход изменения абсолютной ошибки в расходах (км<sup>3</sup>/с) между грубой родительской и первой дочерней сеткой на открытой левой границе (а) и на открытой правой границе (б) в сентябре 2004 года

Таким образом, при применении режима телескопизации в модели NEMO, следует иметь в виду, что при переходе к расчетам на сетках с большим пространственным разрешением детализация гидродинамических полей протекает с изменениями величины и направления расходов потоков на открытых границах вложенных сеток.

### Литература

1. Madec G. V. and the NEMO team. NEMO Ocean engine– 2016. – 396 p.
2. Madec G., Imbard M. A global ocean mesh to overcome the North Pole singularity // Climate Dynamics. 1996. Vol. 12, № 6. P. 381-388.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ КАДАСТРОВОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИБРЕЖЬЯ ЗАПАДНОГО МУРМАНА (АКВАКУЛЬТУРА)

В.В. Денисов<sup>1</sup>, д-р геогр. наук, профессор

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

## CADASTRE APPROACH AND ITS APPLICATION TO THE MANAGEMENT OF LIVING RESOURCE IN COSTAL ZONES OF THE WESTERN MURMUN (AQUACULTURE)

V.V. Denisov<sup>1</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>Marine Biological Institute, Kola research center, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

*Рассмотрены современные возможности и проблемы применения кадастрового подхода к производству аквакультурной продукции с учетом комплексных требований к прибрежным зонам морей России на примере прибрежных бухт Западного Мурмана в Баренцевом море.*

*The actual prospects and chances of usage the cadastre approach to aquaculture production in the Russian seas with respect to complex demands to coastal zones have been developed and analyzed (in example of Murman aquaculture bays in the Barents Sea).*

Рациональное природопользование и применение кадастровой системы в качестве его регулирования в береговой зоне представляет собой одну из пока не решенных проблем современной физической и экологической географии моря, так как оно фокусирует в себе комплекс эколого-географических, эколого-экономических, юридических и административных геопространственных аспектов управления.

Учитывая теоретическую и практическую неразработанность данного вопроса в российской природопользовательской практике, определим понятие кадастра береговой (прибрежной) зоны как современную и обобщенную сводку данных о естественных и техногенных особенностях береговой зоны, которая создается и ведется в целях информационного обеспечения:

- государственного, регионального и муниципального управления ресурсами береговой (прибрежной) зоны;
- контроля за использованием и охраной земельных и водных ресурсов береговой (прибрежной) зоны на всех уровнях управления береговой (прибрежной) зоной;
- государственной регистрации прав (включая аренду) на участки береговой (прибрежной) зоны и сделок с ними, включая вопросы обоснования арендной платы и налогообложения участков береговой (прибрежной) зоны;
- природоохранной, экономической и иных оценок участков береговой (прибрежной) зоны [1].

По аналогии с другими кадастрами, например, Государственным земельным кадастром РФ, данный кадастр должен в итоге являться официальным документом общегосударственного пользования, составляющим важную часть соответствующего законодательного акта на федеральном уровне.

Кадастр береговой (прибрежной) зоны, в принципе, должен быть постоянно пополняемой базой данных, включающей блоки: природный, юридический, административный экономический. Базовые элементы административной структуры могут детализироваться в частных видах кадастров, исходя из базисных характеристик и специфики объектов. Так для кадастра искусственно выращенной морской рыбы (кадастр аквакультуры) природный блок важен в той мере, в какой конкретные эколого-географические условия соответствуют природе того или иного вида деятельности, который культивирует прямой потребитель биоресурсов. При этом ввиду отсутствия фактических наблюдений в локальных губах обширного Баренцева моря приходится обобщать материалы, следуя принципу генерализации морских гидрологических условий.

Баренцево море неоднократно постулировалось как морской район, где ведущую роль всегда играло рыболовство и использование биоресурсов. Помимо традиционного промышленного рыболовства в последнее время актуальным становится искусственное разведение рыбы, причем наиболее перспективным аквакультурным районом становится Западный Мурман Баренцева

моря, где по пути теплых атлантических вод расположены удобные для этого бизнеса незамерзающие бухты Печенга, Амбарная, Ура и др.

В 2013 году была утверждена «Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года» [2]. В ней записано, что одним из важнейших направлений развития рыбохозяйственного комплекса региона должно стать развитие аквакультуры и марикультуры (п. 3.8 Стратегии). Согласно принятому документу, рост объемов выращенной рыбы предприятиями рыбоводства к 2025 году должен быть доведен до почти 100 тыс. т (98,9 тыс. т). Решение этой задачи требует последовательных, согласованных, грамотных и финансово обеспеченных действий со стороны бизнеса, ученых и местных администрации.

Аквакультура в гораздо более полной форме отражает само сложное и многогранное понятие «культура» как совокупность всего ценного, что накоплено человечеством в этой области сельскохозяйственного производства. Вполне закономерно, что согласно статистике почти 100 % (абсолютное большинство) экспертов из разных стран (от 85 % до 93%) поставили аквакультуру на первое место среди претендентов на применение методов комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ) [3]. Из всех видов деятельности, связанных с эксплуатацией ресурсов объектов гидросферы аквакультура – наиболее «земноводный» вид, который имеет все основания стать географической и методической основой объединения двух сегментов деятельности человека в единый объект управления, предусмотренный Стратегией морской деятельности РФ.

Во-первых, аквакультура развивается как на суше (реки, озера, водохранилища), так и в прибрежной зоне примыкающих к субъектам Федерации морских пространств (территориальное море и внутренние морские воды). Современное законодательное разделение пространств суши и моря объективно препятствует такому объединению, порождая так называемый административно-географический дуализм [4]. В разных географических пространствах доминируют территориальные органы управления (пространства субъектов Федерации) и центральные ведомственные (отраслевые) органы власти (федеральные морские пространства). При этом де-факто субъекты государственной власти прибрежных зон субъектов РФ проводят конкурсы на право заключения договоров о предоставлении рыбоводных участков для осуществления аквакультуры, используют субвенции на ресурсное обеспечение региональных программ по развитию аквакультуры. Но все эти мероприятия определены объемом переданных субъекту Федерации полномочий из Центра, а они ограничены конституционными пределами сухопутных территорий субъектов РФ.

Во-вторых, согласно статье 2 Федерального закона «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты» от 2 июля 2013 г. № 148 объекты аквакультуры - это водные организмы, разведение и/или содержание, выращивание которых осуществляется, в противоположность рыболовству, в искусственно созданной среде обитания.

В-третьих, согласно ФЗ № 148 «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты» в перечень объектов рыбоводной структуры, которая необходима для осуществления аквакультуры, наряду с различными строениями, сооружениями, земельными участками и т.д. входят искусственные острова. Очевидно, что эти острова, согласно той же статьи 2 упомянутого ФЗ, относятся к искусственно созданной среде обитания, в которой осуществляется разведение, содержание и/или выращивание водных организмов.

В-четвертых, объекты аквакультуры лишь условно могут быть отнесены к гидробионтам, населяющим морские пространства. Например, в случае посадки норвежского смолта в садки, расположенные в территориальных водах России, территориальная (национальная) принадлежность атлантического лосося становится проблематичной.

Перечисленные четыре главных обстоятельства существенно отличают аквакультуру от других видов морехозяйственной деятельности [5].

Предкадастровые оценки (экологическая паспортизация) есть первый и обязательный этап составления кадастра участков акватории, предусмотренных для информационного обеспечения управленческих решений и контроля за последствия их реализации. При этом обязательным признаком кадастра выступает стандартизация методов сбора, оформления и хранения кадастровой информации. Для этого необходимо решить две основные проблемы, а именно: 1) определить пространственно-временные масштабы дискретизации наблюдаемых явлений

(процессов); 2) создать соответствующие административные структуры и придать им определенную организационно-правовую форму. Поскольку в настоящее время в России прибрежные акватории и их ресурсы находятся, как было отмечено, в федеральной собственности, то часть полномочий по управлению может делегироваться с федерального на региональный уровень путем специального соглашения (договора) между федеральным и региональным правительствами. Эта проблема затрагивалась нами в ряде предыдущих публикаций, но пока такие договоры не заключены. Что касается пространственно-временного масштаба дискретизации исходного материала для подготовки кадастровой документации, то в настоящее время такая дискретизация данных либо касается только генерализованной информации, либо требует специальных детальных обследований [6].

Анализ требований к экологической паспортизации прибрежных зон применительно к воспроизведению рыбных ресурсов позволил сделать следующие выводы. Из перечня исходных данных, предлагаемых в работе [7] и имеющих отношение к нашей задаче, выделим следующее: карту рельефа в изолиниях; гидрометеорологическую и гидрохимическую характеристики; карту (схему) морских течений; карту распределения (описание) важнейших объектов промысла; сведения о загрязнениях акватории, осадков и наиболее представительных группировок морских организмов различного рода загрязнителями; сведения о вируснобактериологическом загрязнении массовых гидробионтов, сведения об опасных природных явлениях и объектах.

Назначение данного доклада — дать общие соображения по поводу сути излагаемой проблемы, выделив главные эколого-географические черты двух перспективных для аквакультуры регионов Западного Мурмана. А эти черты таковы:

- во-первых, принципиальной особенностью обоих обсуждаемых локальных районов побережья (морских губ) выступает открытость аквакультурных участков, которая обеспечивает хороший водообмен с морем;

- во-вторых, уровень первоначального химического загрязнения в обеих губах мал, оценка биологического загрязнения требует более длительной эксплуатации аквакультурных участков;

- в-третьих, успешность получения искусственно выращенной рыбы дает оптимистическую надежду на успешность выбора тех участков, которые практически доказали свою эколого-географическую пригодность для выбранного бизнеса. Косвенно это подтвердили исследования специалистов ММБИ, которые показали, что вмешательства в природу губ нет.

Согласно обязательным требованиям к морской кадастровой системе следует признать, что практика её применения в России до сих пор не распространена. Помимо упомянутых выше юридических сложностей остается много трудностей в решении проблем экономического и административного плана. В частности, подготовка и практическое ведение кадастра береговой (прибрежной) зоны аквакультурной продукции зависит от комплексной реакции фирм-производителей на совокупность текущих и перспективных рыночных условий (конъюнктура, выбор управленческих стратегий и многое другое), а эти факторы весьма переменчивы в России. Поэтому нами сделан вывод, что кадастр любого объекта морского природопользования – категория, прежде всего, экономическая, что характерно в том числе и для кадастра искусственно воспроизводимых ресурсов.

#### Литература

1. Глоссарий по Кадастру береговой (прибрежной) зоны. / Гогоберидзе Г.Г., Жамойда В.А., Нестерова Е.Н., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. 95 с.
2. Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года: Утв. Постановлением Правительства Мурманской обл. от 25.12.2013 № 768-ПП/20, в ред. от 10.07.2017 № 351-ПП. [Электронный ресурс] - [https://minec.gov-murman.ru/activities/strat\\_plan/sub02](https://minec.gov-murman.ru/activities/strat_plan/sub02)
3. B. Cicin-Cain, R.W. Knecht. Integrated Coastal and Ocean Management, 1998, Island Press, Washington, D.C. p.517.
4. Денисов В.В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 502 с.
5. Денисов В.В., Жичкин А.П. Прибрежное рыболовство и аквакультура в Норвегии и России: сравнительный анализ эколого-географической ситуации на региональном уровне. // Рыбное хозяйство, 2013, № 6. С. 22-26.

6. Денисов В.В., Жичкин А.П. Эколого-географическое обоснование предкадастровых исследований прибрежно-морской зоны Западного Мурмана в Баренцевом море (на примере аквакультуры в губах Печенга и Ура) // Вестник КНИЦ РАН, 2017, №3. С. 111-118.
7. Природопользование в прибрежной зоне (Проблемы управления на Дальнем Востоке России). / Бакланов П.Я. и др. - Владивосток: Дальнаука, 2003. 251 с.



## МЕЗОПЛАНКТОН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

А.Г. Джалилов<sup>1</sup>, канд. биол. наук

<sup>1</sup>Институт зоологии Национальной Академии Наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

## MESOPLANKTON OF THE AZERBAIJANI AQUATORY OF THE CASPIAN SEA

A.G. Jalilov<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Institute of Zoology of Azerbaijan National Academy Sciences, Baku, Azerbaijan

*Рассматриваются вопросы влияния в современных экологических условиях биотических факторов на биоразнообразие мезопланктона Каспия. Изучение влияния инвазированных видов на трофическую систему Каспия последних лет (*Mnemiopsisleidy*, *Aureliaaurita*, *Acartiaclaus*, *A. tonsa*) является очень актуальным. Для изучения влияния этих видов на пелагические системы проводились комплексные исследования по сезонам в 2014–2016 гг. Мезопланктонные пробы были собраны сеткой Джеди и обработаны общепринятыми в гидробиологии методами. Подготовлен список видов, встреченных исследуемой части моря. Уточнено пространственное, распределение, плотность и биомасса этих видов. В мезопланктоне отмечены 22 вида животных и личинки других беспозвоночных животных из 3 групп. Ведущей по численности группой являются группа *Rotatoria*. Группа *Copepod* доминирует по биомассе. Сравнивая результаты исследований мезопланктонных сообществ исследованных лет (2014–2016 гг.) можно отметить, что наблюдается увеличение биомассы мезопланктона.*

*The Caspian Sea of the biotic factors is devoted influence to the mesoplankton biodiversity to problem in the modern ecological condition. The Caspian Sea learning of the invasion species been within last years (*Mnemiopsisleidy*, *Aureliaaurita*, *Acartiaclaus*, *A.tonsa*) is very urgent to trophy system. Pelagic have been carried taken away of this species 2014–2016 in years complex investigations on seasons for to learn influence to systems. Mesoplankton examples gathering with Cedi net, hydrobiology have been developed with general methods accepted. List of species met in the investigation part been have been prepared. The species to spread on parts, density and biomass have been registered. Mesoplankton have been marked 22 animal species and larvae of the another invertebrate animals concerning to 3 groups. It is leader the group according to the number of to *Rotatoria*. But *Copepoda* group biomass should is dominant. To inform comparing the results of the investigation years (2014–2016 years) of the mesoplankton unities is the possible that mesoplankton is observed biomass increase.*

Каспийское море выделяется уникальностями своей фауны среды континентальных водоемов. В современных экологических условиях наибольшее влияние на биоразнообразие фауны Каспия оказывает антропогенное воздействие, абиотические и биотические факторы. К числу физических воздействий следует отчуждение акваторий, испускание сейсмических импульсов, формирование зон замутнения воды и нарушение состава и структуры донных осадков. Основными источниками химического загрязнения являются сбросы буровых отходов и пластовых вод, а также аварийные нефтяные разливы [1]. Из биотических факторов очень актуален вопрос влияния на трофическую систему Каспия видов инвазированных в последние годы (*Mnemiopsisleidy*, *Aureliaaurita*, *Acartiaclaus*, *A. tonsa*).

Биоразнообразие Каспия очень велико. Благодаря широкому спектру солености в Каспии могут обитать пресноводные, солоноватоводные, эвригалинные и гипергалинные гидробионты, а благодаря близости химического состава морских и каспийских вод здесь прекрасно себя чувствуют многие морские организмы. Разнообразие температурных условий в Каспии также сильно увеличивает его биоразнообразие [2]. Последние годы в результате вселения мнемииопсиса в пелагической трофической системе Каспийского моря произошли необратимые изменения. В эти годы произошло обеднение биоразнообразия и снижение количества мезопланктона [3]. Зоопланктон является важнейшим компонентом экосистемы Каспийского моря и определяет трофические взаимоотношения гидробионтов, составляя значительную долю в общей продуктивности водоема [4]. Для изучения влияния антропогенного воздействия, абиотические и биотические факторы на пелагические системы, в 2014 – 2016 гг. проводились комплексные исследования в Азербайджанской акватории Каспийского моря. Мезопланктонные пробы собраны сеткой Джеди изготовленной из сита № 38 и обработаны общепринятыми гидробиологии методами [5]. Подготовлен список видов, встреченных в исследуемой части моря. Уточнено пространственное распределение, плотность и биомасса этих видов.

В 2014 году отмечены по 9 видов коловратки и ветвистоусых, 4 вида веслоногих рачков (таблица 1). Из личинок других беспозвоночных отмечены личинки; *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca. Доля коловратки от всей численности мезопланктона составила 42,83%, а биомасса до 2,71 %. В 2014 году значения численности коловраток изменялись в пределах 712 – 2459 экз/м<sup>3</sup>, а биомассы 0,75–2,45 мг/м<sup>3</sup>. Доминируют в среде коловраток: *Asplanchna priodonta priodonta* Gosse, *Keratellacochlearis* (Gosse) и *K.tropica*(Apstein). Максимальные показатели коловраток отмечены весной, а минимальная численность и биомасса наблюдается, осенью. Весной численность мезопланктона увеличилась за счет коловраток. В группе Cladocera отмечено до 13 видов. Их средняя численность достигает 835 экз/м<sup>3</sup>, а средняя биомасса 29 мг/м<sup>3</sup>. В весенний период в группе по биомассе и численности доминирует *Pleopsis polyphemoides* (Leuckart). Основу биомассы мезопланктона формировали веслоногие. Из веслоногих доминирует *Acartia clausi*. Его средняя биомасса составляла 33,58 % из общей биомассы мезопланктона. Среди личинок других беспозвоночных по численности доминирует личинки *Mnemiopsis*. Летом видовой состав мезопланктона существенно не различался. Численность мезопланктона составляла – 4392 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 89,35 мг/м<sup>3</sup>. Биомасса мезопланктона состояла основном из веслоногих и ветвистоусых ракообразных. Биомасса ветвистоусых достигает 29 мг/м<sup>3</sup>, а веслоногих – 56,69 мг/м<sup>3</sup>. Осенью, число видов у коловраток уменьшилось до 4. Численность ветвистоусых уменьшилось до 348 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса 12,21 мг/м<sup>3</sup>. Численность веслоногих составила 497 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 32,73 мг/м<sup>3</sup>. Видовой состав ракообразных не претерпел изменений. Личинки других беспозвоночных не отмечались. В 2014 г. максимальная численность мезопланктона отмечена весной, а биомасса летом, а численность мезопланктона изменялась от 1557 до 5157 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 45,66 и 60,74 мг/м<sup>3</sup> (рис. 1).

Весной 2015 г. обнаружено в мезопланктоне 7 видов коловраток, 6 видов ветвистоусых, 4 вида веслоногих и личинки *Mnemiopsis*, *Balanus*, Mollusca. Численность мезопланктона составила 5230 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 61,19 мг/м<sup>3</sup>. Летом в мезопланктоне выявлено 17 таксонов видовой ранга: 7 Rotatoria, 6 Cladocera, 4 Copepoda, а также личинки других беспозвоночных. Наиболее широко представлены коловратки. Пик биомассы мезопланктона приходится на летний период. Основу биомассы мезопланктона составляли веслоногие ракообразные. Летом средняя численность веслоногих составляла 820 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 46,36 мг/м<sup>3</sup>, ветвистоусых – 555 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 17,79 мг/м<sup>3</sup>, а коловраток – 1558 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 1,61 мг/м<sup>3</sup>. В летний период в мезопланктоне по биомассе и численности доминирует *Acartia clausi* Giesbrecht, *A.tonsa* Dana, *Pleopsis polyphemoides* (Leuckart). Численность *A.clausi* составляет 567 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 36,86 мг/м<sup>3</sup>, *A.tonsa* – 315 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 20,48 мг/м<sup>3</sup>, а *Pl. polyphemoides* 319 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 9,57 мг/м<sup>3</sup>. Летом в составе мезопланктона обнаружены личинки беспозвоночных животных относящихся к 3 систематическим группам. Среди них по численности доминировали личинки мнемииопсиса. Осенью сокращалось видовое разнообразие в группе Rotatoria до 6 видов. Видовое разнообразие у Cladocera и Copepoda осенью не изменились. Личинки других беспозвоночных не обнаружены. В 2015 г. наиболее разнообразными в видовом отношении являлись ветвистоусые.

В 2016 г. численность мезопланктона изменялась в пределах 4743 – 4838 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса 64,88–97,05 мг/м<sup>3</sup>. Весной 2016 г. мезопланктонная фауна Каспийского моря включала 18 таксон, из которых 8 – коловратки, 6 – ветвистоусые, 4 – веслоногие. В весенний период по численности доминирует коловратки, а по биомассе веслоногие. Биомасса веслоногих достигает 55,51 мг/м<sup>3</sup>. Их доля от общей биомассы 68,56 %. Летом в составе мезопланктона обнаружено 21 вида и формы, относящихся к 6-и систематическим группам. Было обнаружено 8 видов коловраток, 6 видов ветвистоусых, и 4 вида веслоногих, а также личинки прочих беспозвоночных; *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca. Среди коловраток по численности и биомассе доминирует *Asplanchna priodonta priodonta* Gosse *Keratella cochlearis* Gosse. Численность *A. priodonta priodonta* изменяется в пределах 331 – 417 экз/м<sup>3</sup>, а *K. cochlearis* 316 – 425 экз/м<sup>3</sup>. Значения биомассы Cladocera изменялись в пределах 15,27 – 23,77 мг/м<sup>3</sup>, численности от 554 до 838 экз/м<sup>3</sup>. Основу биомассы мезопланктона составляли веслоногие ракообразные. Их численность изменялась в пределах 812 – 1178 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса 42,31 – 68,7 мг/м<sup>3</sup>. Из них – *Acartia clausi* Giesbrecht и *A.tonsa* Dana доминирует во всем мезопланктоне. Численность *A.clausi* изменялась от 304 до 579 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 19,76 и 37,64 мг/м<sup>3</sup>. Численность *A.tonsa* изменялась от 235 до

322 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса от 15,28 до 20,93 мг/м<sup>3</sup>. В 2016 году отмечен рост численности личинок гребневика мнемииопсиса.

Сравнивая результаты исследований мезопланктонных сообществ 2014 – 2016 гг., можно отметить, что в Каспийском море последние годы наблюдается увеличение биомассы мезопланктона.

Таблица 1. Распределение мезопланктона Азербайджанской акватории Каспийского моря (экз/м<sup>3</sup>)

Группы и видов	Годы	1914	1915	1916
Rotatoria				
<i>Brachionus plicatilisrotindiformis</i> Müller, 1786		148	158	327
<i>Keratellatropica</i> (Apstein, 1907)		244	226	38
<i>K. cochlearis</i> (Gosse, 1851)		321	322	371
<i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski, 1893		50	77	168
<i>S. vorax</i> Rousselet, 1902			99	138
<i>S. cecilia</i> Rousselet, 1902		57		137
<i>S. neapolitana</i> Rousselet, 1902		95	100	158
<i>Asplanchna priodonta priodonta</i> Gosse, 1850		573	575	374
<i>Testudinella patina patina</i> (Hermann, 1783)		97		
Итого		1585	1558	1711
Cladocera				
<i>Polyphemus exiguus</i> Sars, 1897		131	116	146
<i>Cercopagis pengoi</i> (Ostroumov, 1891)		19	19	20
<i>C. socialis</i> (Grimm, 1877)		26	16	18
<i>C. prolongata</i> Sars, 1897		15		
<i>Pleopsis polyphemoides</i> (Leuckart, 1859)		226	221	287
<i>Evadne anonyx typica</i> Sars, 1897		104	135	161
<i>Ev. anonyx producta</i>		37		
<i>Podonevadne trigona typica</i>		20		
<i>Podonevadnecamptonyxtypica</i> (Sars, 1897)			48	64
Итого		578	555	696
Copepoda				
<i>Calanipeda aquae dulcis</i> Kritschagin, 1873			43	53
<i>Hetercope caspia</i> Sars, 1897		43	56	71
<i>Acartiatonsa</i> Dana, 1849		246	248	278
<i>A. clausi</i> Giesbrecht, 1889		337	372	442
Личинки Copepoda		101	101	151
Итого		727	820	995
Другие				
Личинки <i>Mnemiopsis</i>		660	833	849
Личинки <i>Balanus</i>		120	121	323
Личинки Mollusca		31	43	217
Итого		811	996	1389
Всего		3701	3929	4791

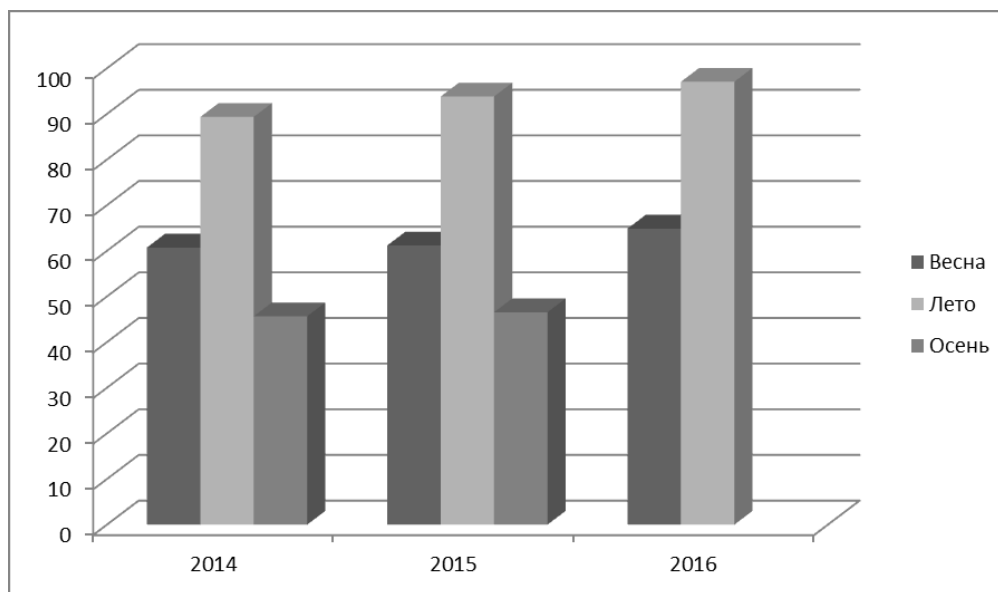


Рис. 1. Сезонная динамика биомассы мезопланктона в Азербайджанской акватории Каспийского моря в 2014-2016 гг. (мг/м³).

#### Литература

1. Гусейнова С.А., Абдурахманов Г.М. Современные особенности распределения зоопланктона некоторых районов Каспийского моря // Геоэкология Юг России: экология, развитие. №4. 2009. С.160–164.
2. Плотников И.С., Аладин Н.Б. Биологические водные ресурсы Каспия. // Тр. конф. «Современные проблемы рационального использования водных ресурсов в Казахстане». Казахстан. Алматы. 2010. С.150 – 153.
3. Джалилов А.Г. Распределения сообществ мезопланктона Азербайджанской акватории Южного Каспия. // Тр. конф. «Экология водоемов – охладителей энергетических станций» Россия. Чита. 2017. С.25–28.
4. Джалилов А.Г., Алекперов И.Х. Распределение зоопланктона в Азербайджанском секторе Среднего Каспия. // Тр. конф. «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2017), Россия, Москва, 2017, т. II, С. 298–301.
5. Методы мониторинга в Каспийском море. Под ред. А.Г. Касьмова. Баку, 2000, 57 с.

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-KETPL-2015-1(25).*

*This work was carried out with the financial support of the Foundation for the Development of Science under the President of the Republic of Azerbaijan - Grant No. EIF-KETPL-2015-1 (25).*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА СКОРОСТИ МАССОБМЕНА В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

В.В. Дмитриев<sup>1</sup>, д-р геогр.наук, Ю.Н. Сергеев<sup>1</sup>, д-р геогр.наук, В.П. Кулеш<sup>1</sup>, канд. геогр.наук, В.Ю. Третьяков<sup>1</sup>, канд. геогр.наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## MODELING OF THE ENVIRONMENTAL FACTOR EFFECT ON THE MASS TRANSFER RATE IN THE WATER ECOSYSTEM

V.V. Dmitriev<sup>1</sup>, Dr.Sc, Yu. N. Sergeev<sup>1</sup>, Dr.Sc, V.P. Kulesh<sup>1</sup>, Cand.Sc, V.Yu. Tretyakov<sup>1</sup>, Cand.Sc

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются модели факториальной экологии и их использование в моделях водных экосистем для описания влияния факторов среды на удельные скорости трансформации и транслокации вещества в водоемах.*

*The models of factorial ecology and their use in models of aquatic ecosystems to describe the influence of environmental factors on the specific rates of transformation and translocation of matter in water bodies are considered.*

### **Введение.**

Актуальность исследования обусловлена необходимостью развития теории и практики оценки состояния сложных систем в природе и обществе, их неаддитивных (эмерджентных) свойств, а также системного моделирования природных и общественных трансформаций эко-, гео-, социосистем. Особенностью современного этапа является разработка моделей функционирования естественных и антропогенно-трансформированных систем в природе и обществе в естественных условиях, при внешнем (и внутреннем) воздействии, а также развитие методологии и методов анализа и синтеза показателей, характеризующих интегративные свойства систем в целом (продуктивность, устойчивость, благополучие, напряженность и др.). Акцентами исследований также являются: ГИС-визуализация результатов моделирования, позволяющая наблюдать изменения компонентов системы на временном интервале моделирования, а также скрытых от наблюдения скоростей обменных процессов и факторов их определяющих. К последним разработкам можно отнести анализ эмерджентных свойств водных экосистем на основе результатов имитационного моделирования и моделей интегрального оценивания, исследование способности экосистем сохранять интегративные свойства и параметры режимов при внешнем воздействии на них. Оценка различных экосистемных услуг (обеспечивающих, регулирующих, поддерживающих и др.) требует умения рассчитывать потоки вещества (природных ресурсов) в эко- и геосистемах и введение правила их перевода в денежное выражение на основе рыночных цен на сырье и товары. Прежде всего, это относится к поддерживающим услугам, в перечень которых включают: почвообразование, биосинтез (фотосинтез), первичную продукцию, ассимиляцию пищи организмами, круговорот различных питательных веществ (химических элементов), круговорот воды, депонирование углерода CO<sub>2</sub>, способность к ассимиляции загрязнений, а также теплообеспеченность, влагообеспеченность, влажность воздуха, рельеф, почвообразующую породу, и др., которые определяют перераспределение тепла, влаги и условия минерального питания организмов. Результаты, полученные при моделировании скоростей процессов массообмена между компонентами экосистем, могут использоваться для оценки «экосистемных услуг», поскольку для этого необходимы оценки потоков вещества от естественных (природных) основных капиталов. В статье речь идет об одном из первых этапов таких исследований – разработке частных моделей, учитывающих влияние факторов среды на скорости массообмена в экосистеме. На примере водных экосистем рассматриваются примеры модельного представления влияния факторов среды и биоты на изменение скоростей процессов массообмена в экосистеме.

### **Материалы и методы.**

Развитие науки от описательного периода к точному по [1] включает следующие этапы: 1 – накопление информации об объектах и предметах исследования. Одновременно начинается этап 2 - процесс упорядочивания, классификации объектов с целью разработки методов оценочных

исследований, анализа, выявления типологий. Затем следует этап 3 – установление эмпирических качественных и количественных связей и соотношений между объектами исследования. Эти три этапа характеризуют описательный период развития науки, после которого начинается выделение определяющих связей и соотношений, оно сопровождается моделированием процессов на основе выделения существенных свойств (величин) исследуемого явления (процесса). Так появляются этапы: 4 – установление величин; 5 – математическое моделирование; 6 – установление связей и соотношений на основе результатов моделирования. В итоге модель выступает инструментом преобразования экосистемы [1].

Современный зарубежный уровень исследований характеризуется накоплением методологического и практического опыта в исследовании состояния сложных систем в природе и обществе и их отдельных подсистем. S.E. Jorgensen пишет о том, что прогноз поведения и выявление слабых звеньев экологических цепей в экосистеме невозможны без применения системных методов анализа природных систем и компьютерного моделирования [2].

Развиваемая нами методология [3-8] включает 6 основных этапов исследования сложных природных систем: 1- первичное измерение геокомпонентов системы и ее свойств. На этом этапе ставится цель исследования, определяются все геокомпоненты, которые разделяются на основные и дополнительные, обобщаются основные сведения о них, выполняются полевые измерения, выбираются БД и ГИС для решения поставленных задач. На этапе 2 выполняется анализ собранной информации, выявляются важнейшие взаимодействия внутри системы и в иерархиях, выполняется статистический анализ связей между компонентами, на основе полученных данных создаются классификации компонентов (состава, свойств, межплеядных связей и др.) и интегративных свойств системы (продуктивность, устойчивость, экологический статус, экологическое благополучие и др.). Уже на этом этапе, на наш взгляд, возможно построение классификаций (моделей-классификаций), характеризующих интегративные свойства систем и факторов на них влияющих. На этапе 3 моделируются отдельные свойства и связи в системах. Создаются простые модели отдельных свойств системы (модели парных или множественных внутрисистемных связей); на моделях выявляются влияния факторов среды на изменение интенсивностей процессов обмена между компонентами системы. В итоге создаются многофакторные зависимости, описывающие совместный эффект влияния рассмотренных факторов на процессы переноса, синтеза, трансформации и транслокации вещества в модельной экосистеме. На этом же этапе выполняются эксперименты с моделями-классификациями интегративных (эмерджентных) свойств, проводятся многокомпонентные и многоуровневые свертки показателей, характеризующих эти свойства. На этапе 4 конструируются модели функционирования отдельных подсистем. Выполняется алгоритмическая реализация моделей подсистем, разрабатываются подходы к исследованию адекватности моделей, выполняются эксперименты с моделями. Этот этап в ряде случаев не является строго обязательным и реализуется в рамках этапа 5. На этапе 5 выполняется синтез общей имитационной модели на основе моделей подсистем с учетом моделей, созданных на этапе 3. Выполняется алгоритмическая реализация модели на ПК, подтверждается ее валидация, выполняется ее проверка по критериям адекватности. После этого на модели реализуются тестовые эксперименты по чувствительности к заданию параметров в функциях, описывающих скорости переноса и массообмена компонентами, планируются эксперименты в целях экологического (экосистемного) нормирования воздействий на экосистемы [9] на основе предварительно разработанных сценариев в соответствии с целью и задачами исследования. На этапе 6 выполняется оптимизация модели. Реализуется поиск наилучшего (оптимального) варианта в соответствии с этапом 5, проводятся тестовые эксперименты по выявлению возможностей управления поведением модельной системой, реализуются сценарии по оценке воздействия на ключевую природную экосистему. Здесь же исследуются интегративные свойства этой системы с учетом классификаций, разработанных на этапе 3 и результатов моделирования; рассчитываются нормативы допустимого воздействия на систему на основе экспериментов с моделью.

#### **Обсуждение результатов.**

Результаты построения пространственно-однородных (точечных); боксовых (блочных, резервуарных); непрерывных моделей рассматриваются нами в серии публикаций [3-8] и др. Особенностью этих и других работ является то, что в них редко приводятся функции,

использующиеся авторами для моделирования влияния факторов среды на удельные скорости процессов массообмена между компонентами экосистем [10-12]. Рассмотрим пример пространственно-однородной (точечной) модели мелководной экосистемы, приведенной в [11]. При описании скоростей процессов массообмена в ней приняты следующие обозначения:  $B_F$  – скорость валового первичного продуцирования органического вещества агрегированным фитопланктоном;  $G_{FZ}, G_{BZ}, G_{DZ}$  – скорости выедания фитопланктона ( $F$ ), бактерий, ассоциированных с детритом ( $B$ ), детрита ( $D$ ) агрегированным зоопланктоном ( $Z$ );  $S_F, S_Z, S_B$  – скорости естественного отмирания  $F, Z, B$ ;  $R_F, R_Z, R_B$  – скорости трат на обмен  $F, Z, B$ ;  $A_F, A_B, A_D$  – скорости ассимиляции пищи зоопланктоном при питании  $F, B, D$ ;  $B_D$  – скорость валового бактериального продуцирования органического вещества бактериями, ассоциированными с детритом;  $D_D$  – скорость деструкции детрита бактериями;  $\Gamma_{BC}, \Gamma_{BN}, \Gamma_{BP}, \Gamma_{BX}$  – скорости поступления в среду компонентов РОВ:  $C, N, P, X$  в процессе внеклеточного бактериального гидролиза детрита,  $\Phi_{ZD}$  – скорость поступления в детрит неусвоенной пищи при питании зоопланктона;  $O_{ZD}$  – скорость поступления в среду детрита в процессе питания зоопланктона («твердые отбросы пищи»);  $O_{ZC}, O_{ZN}, O_{ZP}, O_{ZX}$  – скорости поступления в среду  $C, N, P, X$  в процессе питания зоопланктона («жидкие отбросы пищи»);  $\mathcal{E}_{BC}, \mathcal{E}_{BN}, \mathcal{E}_{BP}, \mathcal{E}_{BX}, \mathcal{E}_{FC}, \mathcal{E}_{FN}, \mathcal{E}_{FP}, \mathcal{E}_{FX}, \mathcal{E}_{ZC}, \mathcal{E}_{ZN}, \mathcal{E}_{ZP}, \mathcal{E}_{ZX}$  – скорости поступления в среду  $C, N, P, X$  с внеклеточными выделениями  $F$ , экскретами  $Z$  и продуктами внутреннего метаболизма  $B$ ;  $\mathcal{E}_{NH_4}, \mathcal{E}_{ZPO_4}$  – скорости поступления в среду  $NH_4$  и  $PO_4$  с экскретируемыми метаболитами зоопланктона;  $M_C, M_N, M_P$  – скорости минерализации компонентов РОВ:  $C, N, P$ ;  $M_{NH_4}, M_{NO_2}$  – скорости нитрификации первой и второй стадии;  $M_{O_2}$  – скорость расхода кислорода на окисление РОВ и нитрификацию.  $B_{FNH_4}, B_{FNO_2}, B_{FNO_3}, B_{FPO_4}, B_{FCO_2}, B_{FX}$  – скорости изъятия из среды  $NH_4, NO_2, NO_3, PO_4, CO_2, X$  в процессе биосинтеза водорослей;  $B_{FO_2}$  – скорость поступления в воду кислорода в процессе биосинтеза фитопланктона;  $T_{FCO_2}, T_{BCO_2}, T_{ZCO_2}$  – скорости выделения в среду  $CO_2$  в процессе дыхания  $F, Z, B$ ;  $T_{FO_2}, T_{BO_2}, T_{ZO_2}$  – скорости изъятия из среды кислорода в процессе дыхания  $F, B, Z$ ;  $AQ_{CO_2}, AQ_{O_2}$  – скорости газообмена  $CO_2$  и  $O_2$  через поверхность раздела «вода - воздух». В каждом уравнении присутствуют скорости  $Q_i$ , описывающие внешнее поступление (изъятие) компонентов в системе.

Рассмотрим пример представления в модели скорости валового первичного продуцирования органического вещества агрегированным фитопланктоном ( $F$ ).

Скорость  $B_F$  определяется формулой

$$B_F = (\mu_F + r_F)F, \quad (1)$$

где  $(\mu_F + r_F)$  – удельная скорость валового биосинтеза, включающая:  $\mu_F$  – удельную скорость чистого продуцирования органического вещества, которую будем отождествлять с удельной скоростью роста первичных продуцентов (1/сут);  $r_F$  – удельную скорость трат на обмен организмов (1/сут);  $F$  – биомасса первичных продуцентов (мг сух.в./л). Нас будет интересовать возможность оценки влияния факторов среды и биоты на  $\mu_F$  и  $r_F$ , а также на другие удельные скорости из перечня, приведенного выше.

Существует несколько формальных приемов моделирования процесса первичного биосинтеза и расчета  $\mu_F$ . Часто используются зависимости, основанные на законе минимума Либиха, когда развитие первичных продуцентов лимитируется каким-либо одним внешним фактором с учетом или без учета «клеточной квоты». Следуя принципу Либиха (Л-модель) обычно полагают, что:

$$\mu_F = f(t) * \min [f(I); f(N); f(P); f(C); f(Si); f(X); \dots; f(3Vi); \dots], \quad (Л-модель), \quad (2)$$

где  $f(t)$  – максимальная интенсивность чистого биосинтеза, являющаяся функцией температуры воды ( $t$ );  $f(I)$  – функция влияния света ( $I$ ) на уменьшение  $\mu_F$ ;  $f(N)$ ;  $f(P)$ ;  $f(C)$ ;  $f(Si)$ ;  $f(X)$  – функции, отражающие влияние минерального питания (влияние биогенов), в первую

очередь азота -  $f(N)$  и фосфора -  $f(P)$  на интенсивность чистого биосинтеза. Реже учитываются влияние углерода  $CO_2$ -  $f(C)$ , кремния -  $f(Si)$ , других веществ -  $f(X)$  и различных загрязняющих примесей-  $f(ZB_i)$  на  $\mu_F$ .

Однако многочисленными исследованиями было показано, что лучшие результаты дают оценки, основанные на принципе Митчерлиха (М-модель), учитывающие многофакторную зависимость интенсивности биосинтеза от условий среды. Следуя принципу Митчерлиха, будем считать, что:

$$\mu_F = f(t) * f(I) * f(N); * f(P) * \dots * f(ZB_i), (M - модель) \quad (3)$$

Существуют модели, использующие сочетания Л- и М- подходов одновременно, например:

$$\mu_F = f(t)f(I) * \min [f(N); f(P); f(C); f(Si); f(X); \dots; f(ZB)]. (Л-М модель) \quad (4)$$

В исследовании раскрываются возможности представления функций  $f(t), f(I), f(N), f(P), f(C), f(Si), f(X), f(ZB_i)$  и результаты их использования в моделях. Получены также функции, описывающие влияние факторов на другие процессы, названные в работе. Некоторые результаты, отражающие региональную специфику внутригодового учета влияния факторов, опубликованы в [6, 10-13].

#### **Заключение.**

Исследуется кинетика процессов массообмена между компонентами водных экосистем на уровне описания влияния факторов среды и биоты на изменение удельных скоростей массообмена в экосистеме. Раскрыты составляющие баланса скоростей, приводятся примеры учета влияния факторов на удельные скорости массообмена в региональных исследованиях на основе моделей водных экосистем. Результаты моделирования скоростей процессов массообмена планируется использовать при оценке эмерджентных свойств водных экосистем (устойчивость), экосистемных (и геосистемных) услуг (т.н. поддерживающих услуг) и оценки потоков вещества от естественных (природных) основных капиталов.

#### **Литература**

1. Дородницын А.А. Математика и описательные науки // Число и мысль, 1982, вып.5., М., «Знание», с.6-15.
2. Jorgensen S.E. Handbook of Ecological Modelling and Informatics. London, 2009, 35 p.
3. Сергеев Ю.Н. Моделирование экологических систем // Основы геоэкологии. СПб, 1994, с.297-349.
4. Сергеев Ю.Н., Сулин Лю. Модели водных экосистем. Имитация антропогенного эвтрофирования водоемов//СПб: Изд. «ГеоГраф», 2005. 320 с.
5. Сергеев Ю.Н., Колодочка А.А., Круммель Х.Д., Кулеш В.П., Савчук О.П. Моделирование процессов переноса и трансформации вещества в море. Изд. ЛГУ, Ленинград, 1979, 296 с.
6. Дмитриев В.В. Диагностика и моделирование водных экосистем, изд. СПбГУ, СПб, 1995, 215 с.
7. Дмитриев В.В., Кулеш В.П., Сергеев Ю.Н., Третьяков В.Ю. Моделирование экосистем. Часть 1. Методическое пособие. – СПб., 2006. – 16 с.
8. Tretuyakov V.Yu., Dmitriev V.V., Sergeev Yu. N., Kulesh V.P. Computer simulation of within-year cycle of an aquatic ecosystem life. International Scientific Conference «Mathematical modeling processes and systems» 13-16 December 2017. Borovets, Bulgaria. pp.147-151.
9. Дмитриев В.В. Экологическое нормирование антропогенных воздействий на природные экосистемы. Вестник С.-Петербургского университета. Серия «Геология и география», 1994, вып.2, №14 с.60-70.
10. Третьяков В.Ю., Дмитриев В.В. Влияние различных экологических факторов на интенсивность первичного биосинтеза // Вестн. Ленингр. ун-та. Серия 7. 1987. N 27, Вып. 4. С.104-107.
11. Алексеев Д. К., Дмитриев В. В., Амаро Медина Д. Р. Влияние температуры воды на массообмен между компонентами водной экосистемы. Международная научно-практическая конференция «Экологические последствия глобальных и региональных изменений климата» Россия, г. Псков 15 мая 2017 года // Вестник Псковского государственного университета. Серия "Естественные и физико-математические науки". 2017. Вып. 11, с.3-12.
12. Дмитриев В.В. Влияние гидрологических факторов на транслокацию и трансформацию органического вещества в водной экосистеме. Международная научно-практическая конференция «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б.Виноградова (18-22 ноября 2015 г., Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия). СПб. Изд. «Арт-Экспресс». 2015. с.171-173.
13. Дмитриев В.В., Амаро Медина Д.Р., Булатова А.А., Шабан М.С., Саганович А.С., Ваничев А.В., Ильев А.М., Крамчанина Ю.А. Региональные особенности влияния факторов среды на продуцирование



органического вещества в водных экосистемах. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований №9, 2016, часть 2, с.205-209.

*Исследования выполнялись при поддержке гранта РФФИ №16-05-00715 а.*

*The studies were carried out with the support of the RFBR grant No. 16-05-00715 a.*

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ: СПЕЦИАЛЬНОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Д.В. Драбенко<sup>1</sup>, Р.А. Виноградов<sup>1</sup>, О.М. Андреев<sup>1</sup>, Е.Ю. Орлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## APPLICATION OF UNCLEANED AIRCRAFT IN THE ARCTIC REGION: SPECIAL HYDROMETEOROLOGICAL SECURITY

D.V. Drabenko<sup>1</sup>, R.A. Vinogradov<sup>1</sup>, O.M. Andreev<sup>1</sup>, E.U. Orlova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*В докладе рассматривается методика подготовки метеорологических прогнозов, применяемых для беспилотных летательных аппаратов, сформулированная в процессе исследований Арктического региона сотрудниками ФГБУ АНИИ.*

*The report discusses the method of preparing meteorological forecasts used for unmanned aerial vehicles, formulated in the process of research of the Arctic region by the staff of the AARI.*

В наше время беспилотные летательные аппараты (БПЛА, либо ЛА, далее по тексту) используются практически во всех сферах деятельности человека: от доставки грузов до высококачественной киносъёмки. В оперативной практике АНИИ БПЛА уже несколько лет успешно решают широкий спектр задач, таких как: аэрофотосъёмка ледяных полей, измерение различных характеристик подстилающей поверхности и приземного слоя атмосферы и даже установка радиолокационных маяков на айсберги.

Вне зависимости от решаемой задачи, района применения, технических характеристик и конструктивных особенностей используемого летательного аппарата, метеорологические явления, оказывающие влияние на полёты БПЛА, во многом такие же, как и для классической, «большой» авиации: шквал, обледенение, интенсивные осадки, низкая видимость. При этом подавляющее их большинство вызывается процессами микро и мезомасштаба. Для удобства представления все мезомасштабные процессы делят на три типа [1]:

Тип 1. Процессы и явления, горизонтальная протяжённость которых составляет 200 – 2000 км. Их называют процессами масштаба МЭЗО –  $\alpha$ . Время развития этих процессов составляет десятки часов. С процессами этого типа связаны атмосферные осадки: обложной дождь, снегопад.

Тип 2. Процессы и явления, горизонтальная протяжённость которых составляет 20-200 км. Их называют процессами масштаба МЭЗО –  $\beta$ . Время развития этих процессов изменяется от получаса до нескольких часов. С процессами этого типа связаны ливневый дождь, сильный туман.

Тип 3. Процессы и явления, горизонтальная протяжённость которых находится в пределах от 2-20 км. Их называют процессами масштаба МЭЗО –  $\gamma$ . Время развития этих процессов составляет от нескольких минут до получаса. С процессами этого типа связаны шквалы, ураганы, смерчи, крупный град, сильные пыльные (песчаные) бури.

Учитывая специфику применения беспилотных летательных аппаратов в АНИИ (сравнительно небольшая дистанция полёта, полёты в районах со слабой или даже отсутствующей сетью метеорологических наблюдений), применение существующих численных методик прогноза для эффективного определения ОЯ в мезомасштабных процессах типов  $\beta$  и  $\gamma$  практически невозможно. Имеющиеся в настоящее время мезомасштабные прогностические модели можно разделить на 2 класса: динамические модели метеорологических мезовозмущений или явлений, возникновение которых обусловлено соответствующим распределением метеорологических величин и модели явлений и процессов, на развитие которых преобладающее воздействие оказывают особенности орографии [2].

Для моделей 1-го вида соблюдается условие, согласно которому уменьшение масштаба прогнозируемого явления должно вести к увеличению плотности наблюдательной сети и учащению наблюдений. В результате, в районах с низкой плотностью наблюдательной сети данные модели не могут быть использованы. При использовании моделей 2-го вида ключевой проблемой является интерпретация данных дистанционных наблюдений (спутниковых и

радиолокационных). Проблемы возникают при наполнении численных схем информацией. К сожалению, большинство дистанционных средств зондирования оперирует не с конкретными метеорологическими величинами (температура, давление, влажность и т.д.), а с изменениями энергии излучения или поглощения и другими подобными параметрами. Иными словами, процесс восстановления профилей в обратных задачах дистанционного зондирования достаточно сложен и неоднозначен. На входе же прогностических моделей нельзя использовать, например, радиояркостную температуру взамен температуры воздуха.

Как итог всему приведённому выше, в Арктическом регионе для метеорологического обеспечения БПЛА сотрудниками ААНИИ применяются статистические методы прогнозирования. Данные методы широко используют различные варианты уравнений регрессии. Весьма распространены полиномиальная экстраполяция, использование фильтра Кальмана, представление метеорологических величин с использованием разложения в ряды Фурье и т.д. Математическое прогнозирование случайных процессов заключается в использовании данных о физических процессах, обработке их с целью получения зависимостей, связывающих измеряемые параметры в различные моменты времени, и вычислении значений этих параметров с заданным временным упреждением. Математическое прогнозирование можно условно разделить на следующие этапы [3]:

1. Выбор и обоснование структуры математической модели прогнозируемого процесса
2. Обработка статистических данных для определения неизвестных параметров модели
3. Вычисление количественных характеристик процесса с заданным упреждением.

Для составления прогнозов применяют недетерминированное или стохастическое семейство моделей. При стохастическом прогнозировании наиболее часто используют модели с детерминированной основой и модели авторегрессии - скользящего среднего. В общем виде модели с детерминированной основой можно представить в виде:

$$Y = f(a, t) + \eta, \quad (1)$$

где  $f(a, t)$  - некоторая детерминированная функция;  $a$  - вектор неизвестных параметров, подлежащих определению;  $t$  - время;  $\eta$  - случайный процесс с нулевым математическим ожиданием. В качестве функции  $f(a, t)$  можно использовать различные виды функций: линейную, экспоненциальную, гармоническую и т.д.

### Литература

1. Иоффе М.М., Приходько М.П. Справочник авиационного метеоролога. Москва, Воениздат, 1977.
2. Русин И.Н., Тараканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. СПб.:РГГМИ, 1996 – 308 с.
3. Белоцерковский А.В. Адаптивные методы сверхкраткосрочного прогнозирования в мезомасштабных задачах метеорологии. /Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. СПб., 1996, 185 с.
4. Белоусов С.Л., Васильев А.А. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1. Ленинград, Гидрометеиздат, 1986.

## МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОПОРНЫХ ЗОНАХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

В.В. Дроздов<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Ю.Н. Поляков<sup>2</sup>, канд. техн. наук, А.В. Косенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва, Санкт-Петербург, Россия

## METHODS AND TECHNOLOGIES OF PROVIDING ECOLOGICAL AND TECHNOSPHERE SAFETY AT IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN BASIC ZONES OF SOCIAL ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ARCTIC

V.V. Drozdov<sup>1</sup>, Cand.Sc., Yu.N. Polyakov<sup>2</sup>, Cand.Sc., A.V. Kosenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Krylov State Scientific Center, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Military academy of logistics of the general A.V. Khruleva, St. Petersburg, Russia

*Рассмотрен природно-ресурсный потенциал и климатические особенности опорных зон социально-экономического развития российской Арктики - Кольской, Архангельской, Ненецкой, Ямало-Ненецкой, Воркутинской, Таймыро-Туруханской, Северо-Якутской и Чукотской. Обоснованы региональные проблемы осуществления рационального природопользования. Предложены методы и технологии обеспечения экологической и техносферной безопасности при освоении минеральных ресурсов шельфа и прибрежной зоны - инновационные системы подледного и наземного мониторинга, имитационное моделирование судовых операций по отгрузке нефти, технологии автономного энергообеспечения, мобильные комплексы для проведения аварийно-спасательных работ, мобильные комплексы экологического мониторинга на железнодорожном транспорте адаптированные для арктических условий.*

*Natural and resource potential and climatic features of basic zones of social and economic development of the Russian Arctic - Kola, Arkhangelsk, Nenets, Yamal-Nenets, Vorkuta, Taymyro-Turukhansky, North Yakut and Chukchi is considered. Regional problems of implementation of rational environmental management are proved. Methods and technologies of providing ecological and technosphere safety are offered at development of mineral resources of the shelf and a coastal zone - the innovative systems of subglacial and land monitoring, imitating modeling of ship operations on shipment of oil, technology of autonomous power supply, mobile complexes for carrying out a wrecking, mobile environmental monitoring systems for rail transport adapted for arctic conditions.*

Государственная программа «Развитие судостроения на 2013 – 2030 гг.» утвержденная распоряжением Правительств РФ от 24.12.2012 г. № 2514-р (с изменениями от 15.04.2014 г. № 304 и от 31.03.2017 г. №374) направлена на реализацию государственной политики по повышению уровня технологического развития российской судостроительной промышленности, ее конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынках сбыта и определяет развитие этой отрасли промышленности до 2030 г. Среди приоритетных задач, решение которых предусматривается в данной программе, необходимо отметить следующие: создание опережающего научно-технического задела и технологий, необходимых для создания перспективной морской и речной техники; укрепление и развитие научного, проектно-конструкторского и производственного потенциала отрасли; обеспечение эффективности работы отрасли и инвестиционной привлекательности отечественного судостроения, включая достижение уровня передовых стран по качеству судостроительной продукции, а также обеспечение экологической и техносферной безопасности.

В условиях функционирования отраслей морской хозяйственной деятельности в Арктике, особую важность приобретает учет природных, в том числе климатических условий. Климатические изменения в Арктике и Субарктике за последние 30 – 50 лет являются одними из самых выраженных на планете [1 – 4]. Их необходимо оценивать и учитывать при планировании

развития энергообеспечения флота, объектов морской техники занятых в добыче углеводородного сырья, береговой портовой инфраструктуры, промышленных центров и населенных пунктов, обсерваторий и военных баз [5]. Поэтому изучение климатических колебаний и их объективное прогнозирование должно являться основой для выработки и уточнения стратегий и программ развития судостроения и социально-экономической сферы российского Севера, включая функционирование трассы Серного морского пути.

В перечне подпрограмм государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу» имеется подпрограмма № 5 – «Сбалансированное социально-экономическое развитие и обеспечение национальной безопасности. Формирование опорных зон развития Арктики и обеспечение их функционирования». Обновленный вариант данной программы, согласно постановлению Правительства РФ от 31.09.2017 г. № 1064 также предполагает формирование и комплексное развитие опорных зон. Среди них: Кольская, Архангельская, Ненецкая, Ямало-Ненецкая и Воркутинская, Таймыро-Туруханская, Северо-Якутская, Чукотская [6 – 7].

На основе выполненного анализа современной и планируемой хозяйственной деятельности в опорных зонах социально-экономического развития российской Арктики, а также анализа многолетних данных по динамике температуры воды и ледовой обстановки в районах расположения опорных зон, можно прийти к следующим выводам:

– планируемая модернизация портов Мурманск, Архангельск, Тикси и Певек способна привести к существенному увеличению их грузооборота и общему росту социально-экономического потенциала Колькой, Архангельской, Северо-Якутской и Чукотской опорных зон. Строительство нового глубоководного порта Индига на Баренцевом море и соответствующей береговой транспортной инфраструктуры, также позволит развивать мероприятия по освоению западной Арктики. Однако для столь масштабного строительства в весьма сложных ландшафтных условиях (скалистый рельеф, обилие рек и озер) требуется комплексное технико-экономическое обоснование, с анализом наличия реальных объемов сырьевой базы для привлечения транспортного флота в средне-срочной перспективе;

– реконструкция аэропортов Певек, Беринговский, Бухта Провидения, Марково, Лаврентий, аэропортовых комплексов г. Нарьян-Мар и г. Амдерма весьма целесообразна, но должна осуществляться с учетом местных погодно-климатических условий параллельно с развитием средств космической высокоширотной навигации и связи;

– в западной Арктике, в пределах Кольской и Архангельской опорных зон, наблюдаются преимущественно долгопериодные циклы изменчивости температуры воздуха и ледовитости (60 – 75 лет), тогда как в восточных областях – в пределах Ямало-Ненецкой и Таймыро-Труханской опорных зон – преимущественно короткопериодные (3 – 8 лет). Данные особенности целесообразно учитывать при разработке прогнозов и прогностических сценариев климатических изменений в Арктике, а также при составлении технико-экономического обоснования реализации новых промышленных объектов, наземной и морской транспортной инфраструктуры;

– результаты анализа натуральных данных позволяют прийти к предварительному выводу о наличии тенденции к возрастанию ледовитости морей российской Арктики с начала 2010-х гг. [1–4] Если тенденция сохранится, то это потребует принятия ряда организационных и технологических мер, направленных на повышение техносферной и экологической безопасности морской хозяйственной деятельности, в частности, перевозок углеводородного топлива. Возможно увеличение времени ледокольного обеспечения на трассах Северного морского пути, а также в прибрежных портовых зонах. Требования к прочностным характеристикам корпуса транспортных судов и судов снабжения, эксплуатирующихся в Арктике, также должны основываться на учете текущих и ожидаемых климатических изменений. То же можно сказать и в отношении методик и условий модельных испытаний ледовой техники в опытовых бассейнах;

– сложные погодные и климатические условия морей российского арктического шельфа и низкая устойчивость природных экосистем к техногенному воздействию, определяют необходимость создания здесь комплексной системы экологического мониторинга и соответствующих информационно-аналитических систем, позволяющих оперативно реагировать на возникающие угрозы.

На рис. 1 представлена обобщенная схема влияния климатических изменений на морскую хозяйственную деятельность в опорных зонах социально-экономического развития российской Арктики.



Рис. 1. Обобщенная схема влияния климатических изменений на морскую хозяйственную деятельность в опорных зонах социально-экономического развития российской Арктики.

Предложены методы и технологии обеспечения экологической и техносферной безопасности при освоении минеральных ресурсов шельфа и прибрежной зоны: инновационные системы подледного и наземного мониторинга, имитационное моделирование судовых операций по отгрузке нефти, технологии автономного энергообеспечения, мобильные комплексы для проведения аварийно-спасательных работ, мобильные комплексы экологического мониторинга на железнодорожном транспорте для применения в арктических и субарктических районах.

Представлены результаты опытно-экспериментальных работ, направленных на обеспечение техносферной безопасности объектов морской техники, эксплуатирующихся в ледовых условиях: взаимодействие буровых погружных гравитационных платформ с полем ровного льда, моделирование управления транспортными судами в сложных ледовых условиях при подходе к портам, моделирование и оценки ветрового режима в прибрежной зоне с учетом экранирования рельефом местности в Баренцевом море, моделирование в волновом бассейне волнового режима и др. [8].

В целом, показано, что обеспечение экологической и техносферной безопасности при освоении минеральных и биологических ресурсов российского арктического шельфа может быть достигнуто на основе следующих инженерно-технологических продуктов и рекомендаций:

- разработке стратегических вариантов развития арктической морской транспортной системы в соответствии с принятыми к рассмотрению вариантами динамики изменения климата и прогнозом научно-технологического развития отраслей;
- комплексном обосновании наиболее эффективных логистических схем морских грузоперевозок в Арктическом регионе, включая трассу СМП, а также смежные акватории Берингова моря, с учетом полученных прогностических оценок динамики климата и состояния ледового покрова;

– разработка программно-информационных комплексов для обоснования характеристик и конструктивных элементов судов и ледоколов нового поколения и высокоэффективных транспортных систем вывоза углеводородов с морских и прибрежных месторождений российской Арктики, а также для Северного морского пути;

– разработка технологий комплексной оценки и снижения техногенных и экологических рисков при освоении ресурсов российского арктического шельфа применительно к различным районам и объектам морской техники;

– проведение стендовых испытаний прочностных, энергетических гидро- и аэродинамических характеристик проектируемых объектов морской техники, включая концептуальный облик корпуса судов, ледоустойчивость морских буровых платформ, ледопроходимость ледоколов, надежность движительных установок для работы в ледовых условиях;

– разработке информационно-управляющих систем техносферного и экологического мониторинга объектов морской техники занятых в добыче углеводородного сырья на шельфе морей западной Арктики, включая буровые платформы.

Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ указанного профиля осуществляется и планируется при реализации федеральных и государственных целевых программ Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства транспорта РФ, МЧС России, Министерства обороны, Министерства экономического развития РФ, Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Министерства науки и образования РФ.

## Литература

1. Дроздов В.В., Косенко А.В. Многолетние тенденции изменения температуры воздуха в промышленно-хозяйственных центрах Северо-западного и Центрального федеральных округов России и их причины // Экология и промышленность России – М.: 2017г. – Т. 21. – № 3. – С. 56 – 63.
2. Думанская И.О. Ледовые условия морей Европейской части России. М.: 2014. – Обнинск: ИГ-СОЦИН. – 608 с.
3. Панин Г.Н., Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В., Выручалкина Т.Ю. Оценка климатических изменений в Арктике в XXI столетии на основе комбинированного прогностического сценария // Арктика: экология и экономика № 2 (26), 2017. – С. 35 – 52.
4. Официальный сайт федерального государственного бюджетного учреждения науки «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aagi.nw.ru> (дата обращения: 15.09.2018).
5. Воробьев В.Н., Дроздов В.В., Митько В.Б., Куприна Е.Э., Косенко А.В. Экологические и гидрометеорологические проблемы развития промышленного освоения ресурсов нефти и газа на шельфе морей российской Арктики и пути их решения // Экология и промышленность России, № 2. – Т. 19. – М.: 2015. – С. 50 – 55.
6. Смирнова О.О. Опорные зоны Арктики: проекты и перспективы / форум «Арктические проекты – сегодня и завтра». 19 окт. 2016, г. Архангельск. [Электронный ресурс] [http://www.sozvezdye-forum.ru/assets/files/Presentation\\_2016/Plenarnaya%20chast/SmirnovOOv2.pdf](http://www.sozvezdye-forum.ru/assets/files/Presentation_2016/Plenarnaya%20chast/SmirnovOOv2.pdf)
7. Смирнова О.О., Липина С.А., Кудряшова Е.В., Крейденко Т.Ф., Богданова Ю.Н. Формирование опорных зон в Арктике: методология и практика// Арктика и Север. 2016. № 25. – С. 148 – 157.
8. Хорошев В.Г., Поляков Ю.Н., Дроздов В.В. Техногенные риски освоения российского арктического шельфа // V Международный Форум «Арктика: настоящее и будущее». СПб: Конгрессно-выставочный центр «Экспофорум». Сборник докл. – 2015.– С. 160 – 162.

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

К.А. Дубровская<sup>1</sup>, Т.Э. Литова<sup>1</sup>, М.С. Матвеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## ASSESSMENT OF CHANGES IN THERMAL REGIME OF LAKES IN EUROPEAN RUSSIA

K.A. Dubrovskaya<sup>1</sup>, T.E. Litova<sup>1</sup>, M.S. Matveev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*По данным гидрологических наблюдений на 45 озерах Европейской территории России (ЕТР) выполнена оценка изменений характеристик их термического режима в условиях изменяющегося климата. Анализ многолетних рядов температуры поверхности воды у берега позволил установить, что в последние десятилетия наблюдается ее повышение с мая по октябрь и сдвиг начала нагревания на более ранние и охлаждения на более поздние сроки.*

*Based on monitoring data from 45 lakes in European Russia, changes in characteristics of their thermal regime under changing climate have been assessed. The analysis of nearshore surface temperature time series has revealed an increase over recent decades, May-October. Besides, earlier warming but later cooling occur in the lakes.*

Термическое состояние водоемов является важнейшим фактором существования их экосистем, так как определяет многие биологические процессы, происходящие в водных объектах, а также термический режим вытекающих из них рек.

В последние десятилетия 20-го века и по настоящее время на значительной части территории Российской Федерации наблюдается устойчивая тенденция потепления климата [1], что может отразиться в термическом режиме озер с такими последствиями, как повышение температуры воды озер в летний период, изменение периода прогревания озер и продолжительности ледостава. В связи с этим исследования изменения характеристик термического режима озер РФ в условиях изменяющегося климата имеет не только научное, но и прикладное значение.

Материалом для оценки изменений термического режима озер ЕТР послужили данные гидрологических характеристик многолетних наблюдений на сети Росгидромета за температурой поверхности воды у берега на 45 озерах за период с начала наблюдений по 2015г. В качестве исходной информации для анализа были использованы ряды среднемесячных температуры поверхности воды у берега с мая по октябрь, а так же дат перехода температуры воды через 4 и 10°C весной и осенью и наибольшая температура воды за год.

Первоначально был выполнен анализ рядов дат перехода температуры через заданные границы, в результате которого было установлено, что в последние десятилетия переход температуры поверхности воды озер через 4 и 10°C весной происходит в более ранние сроки, а осенью - в более поздние. В качестве иллюстрации на рисунке 1 представлены графики многолетних изменений дат перехода температуры поверхности воды оз. Охват (бассейн р. Западная Двина) через заданные пределы.

Анализ рядов среднемесячной и наибольшей измеренной температуры поверхности воды также показал тенденцию к ее увеличению в последние десятилетия на изучаемых озерах ЕТР. На рисунке 2 представлены графики многолетних изменений среднемесячной температуры воды в июле, для ряда озер расположенных в различных географических зонах, иллюстрирующие это явление. Эти графики показывают, что заметное увеличение температуры поверхности воды в среднем по озерам ЕТР происходит с начала 1980-х г. В связи с этим, для оценки изменения термического режима озер было выделено два периода: с начала наблюдения по 1980 гг. и 1981-2015 гг.



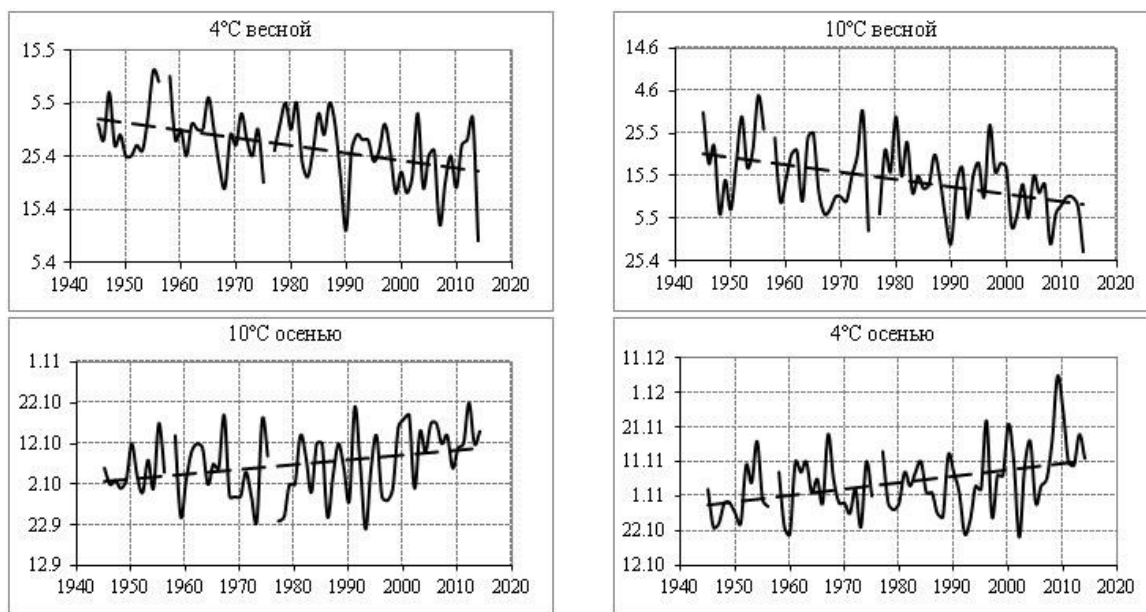


Рис. 1. Изменение сроков перехода температуры поверхности воды оз. Охват через 4 и 10°C в периоды нагревания и охлаждения за многолетний период

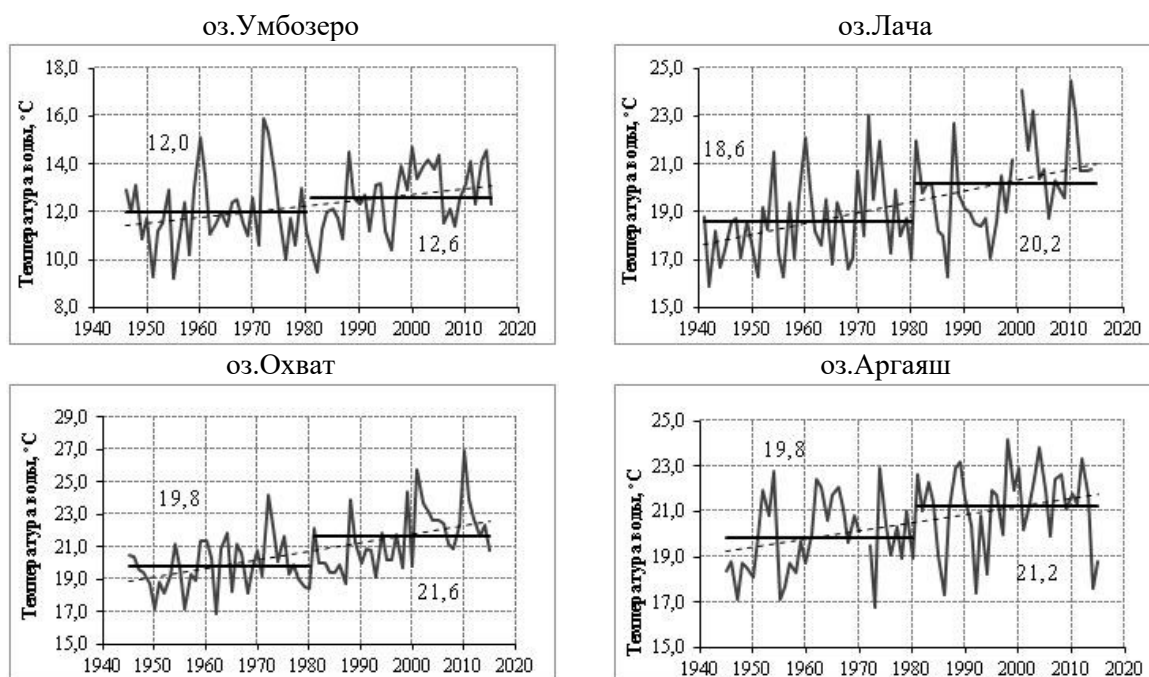


Рис. 2. Изменения температуры поверхности воды озер разных географических зон в июле. Горизонтальными отрезками показаны средние значения температуры воды за периоды до и после 1980 г.

Сравнительный анализ данных за период наблюдений показал, что переход температуры воды через 4°C весной в период 1981-2015 гг. стал осуществляться на 2-5 суток раньше, чем в предшествующий период. Дальнейший прогрев воды в поверхностном слое водоемов до 10 °C в последний период также происходит раньше на 2-6 суток. При этом осенью охлаждение воды озер и переход температуры воды через 10 и 4 °C осенью осуществляется в более поздние сроки

в среднем на 4 суток. Наибольшая температура поверхности воды за год увеличилась в среднем на 1,2 °С на всех озерах в период 1981-2015 гг. по сравнению с предшествующим периодом.

Анализ многолетних данных наблюдений за среднемесячные температуры поверхности воды у берега за различные периоды показал существенные изменения в термическом режиме водоемов. Средняя за май-октябрь температура поверхности воды за период с 1981 по 2015 г. на озерах повысилась на 0,5-1,6 °С по сравнению с предыдущим периодом. В качестве иллюстрации на рисунке 3 приведены диаграммы изменения среднемесячной температуры поверхности воды некоторых озер ЕТР.

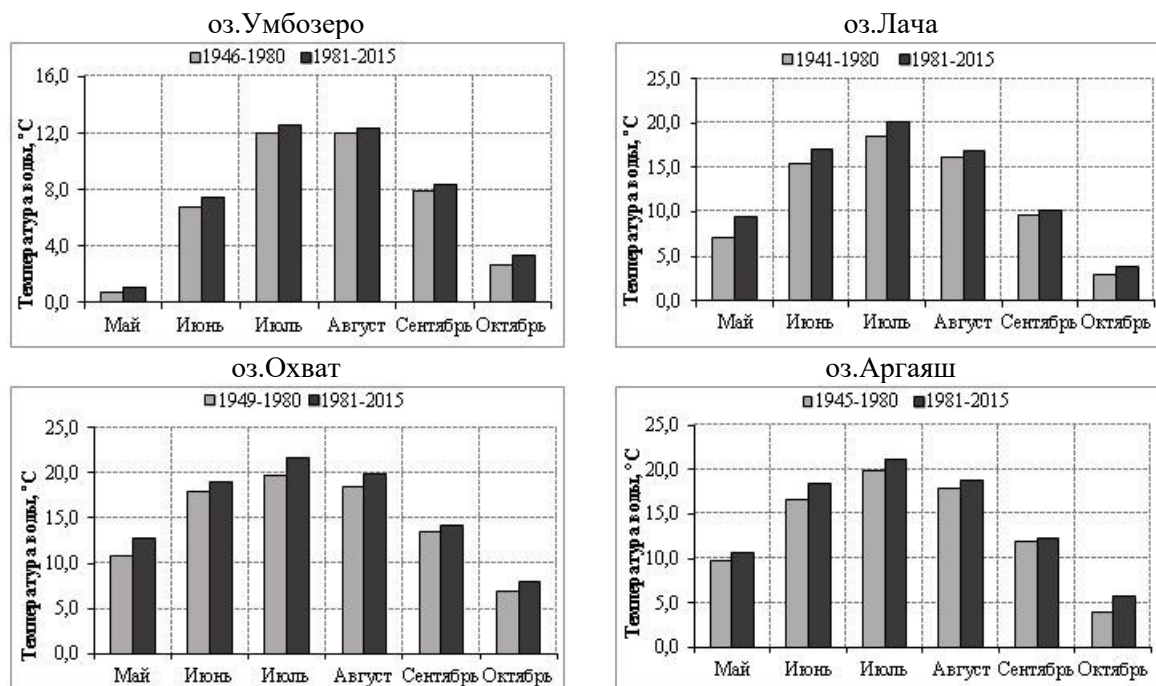


Рис. 3. Изменение среднемесячной температуры воды озер ЕТР за периоды до и после 1980 года

Таким образом, выполненное исследование показали, что на озерах ЕТР произошло повышение температуры поверхности воды за май-октябрь, увеличение количества дней с температурой более 10 °С, а также более раннего перехода температуры воды через 4 °С весной и более позднего осенью.

### Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. 1017 с.

*Исследование выполнено в рамках работы по плану НИОКР Росгидромета по теме № 1.1.8.2*

*The study was carried out as part of the work on the research and development plan of Roshydromet on the subject No. 1.1.8.2.*

## МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ДРЕЙФА ЛЬДА В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Л.Н. Дымент<sup>1</sup>, С.М. Лосев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## METHOD OF LONG-RANGE ICE DRIFT FORECAST IN THE ARCTIC BASIN

L.N. Dyment<sup>1</sup>, S.M. Losev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Прогностическое перемещение льда рассчитывается по месячным полям скорости дрейфа льда, имеющим близкие к ожидаемым в прогнозируемом периоде значения повторяемости антициклонических вихревых образований за ледовый цикл.*

*The prognostic movement of ice is calculated from the monthly fields of the ice drift velocity having values of the recurrence of anticyclonic eddy during the ice cycle close to those expected in the predicted period.*

Прогнозы дрейфа льда являются важной частью ледовых прогнозов. Долгосрочные прогнозы перемещения льда позволяют с заблаговременностью 3–12 месяцев определить такие показатели, как граница зоны с преобладанием многолетних льдов, ожидаемый леодообмен между Арктическим бассейном и арктическими морями, положение ледяных массивов в период плавания, а также рассчитать перемещение отдельных ледяных полей.

Долгосрочные прогнозы перемещения льда в Арктическом бассейне до последнего времени составлялись в основном по климатическим данным. Обобщенные до 1970 г. сведения о дрейфе морских льдов в Арктике позволили рассчитать климатические векторы результирующего среднемесячного перемещения льда для трех летних и трех зимних месяцев по локальным зонам, средние размеры которых составляли 685×960 км [1]. Накопление данных о перемещении автоматических буев «Аргос», устанавливаемых на льду Арктического бассейна по международной программе с 1979 г., способствовало снижению временной и пространственной дискретности климатических прогнозов. Тем не менее, опыт составления прогнозов перемещения в Арктическом бассейне дрейфующих станций «Северный полюс» с СП–32 по СП–40 за промежутки времени от 3-х до 12-ти месяцев на основе климатических полей скорости дрейфа, рассчитанных за каждый месяц по данным буев, показал, что и в этом случае получаемые оценки ожидаемого результирующего перемещения льда довольно часто оказывались недостаточно удачными. При этом по истечении прогностического периода выяснялось, что климатические поля скорости существенно отличались от фактических. Следовательно, для повышения качества долгосрочных прогнозов дрейфа необходимо располагать не только климатическими его оценками, но и результатами расчета ожидаемого перемещения льда, полученными по более надежному, обоснованному методу.

В представляемом методе в качестве исходной информации также использовались данные о дрейфе автоматических буев «Аргос». По рассчитанным векторам месячного перемещения буев и при учете полей среднемесячного приземного атмосферного давления были построены карты изолиний среднемесячной скорости дрейфа (изотак) за периоды с октября 1979 г. по сентябрь 2017 г., т.е. за 38 ледовых циклов.

Анализ месячных полей скорости дрейфа льда в Арктическом бассейне выявил наличие в них макромасштабных антициклонических вихревых образований, охватывающих значительную акваторию и оказывающих влияние на всю структуру поля скорости. Установлено, что рассчитанная за годовой ледовый цикл повторяемость антициклонических вихревых образований  $p$  может быть использована в качестве численного показателя полей скорости дрейфа льда [2]. Величина  $p$  выражается в процентах

$$p = \frac{n}{12} 100, \quad (1)$$

где  $n$  – число месячных полей скорости в течение годового ледового цикла с наличием в каждом из них антициклонического круговорота.

Выявлено, что поля скорости дрейфа льда за ледовые циклы разных лет при близких значениях показателя  $p$  во многом идентичны. Кроме этого установлено, что интенсивность

месячного дрейфа возрастает с увеличением  $p$  в годовом ледовом цикле. Таким образом, повторяемость антициклонических вихревых образований позволяет выявить ледовые циклы со схожими полями скорости дрейфа льда.

На рис. 1 приведен ход изменения значений параметра  $p$  за весь имеющийся ряд данных. Они варьируют от 25% до 100%, средняя их величина  $\bar{p}=65,6\%$ , а стандартное отклонение  $\sigma_p=18,7\%$ . Также на рисунке представлен тренд значений  $p$ , аппроксимированный полиномом второй степени.

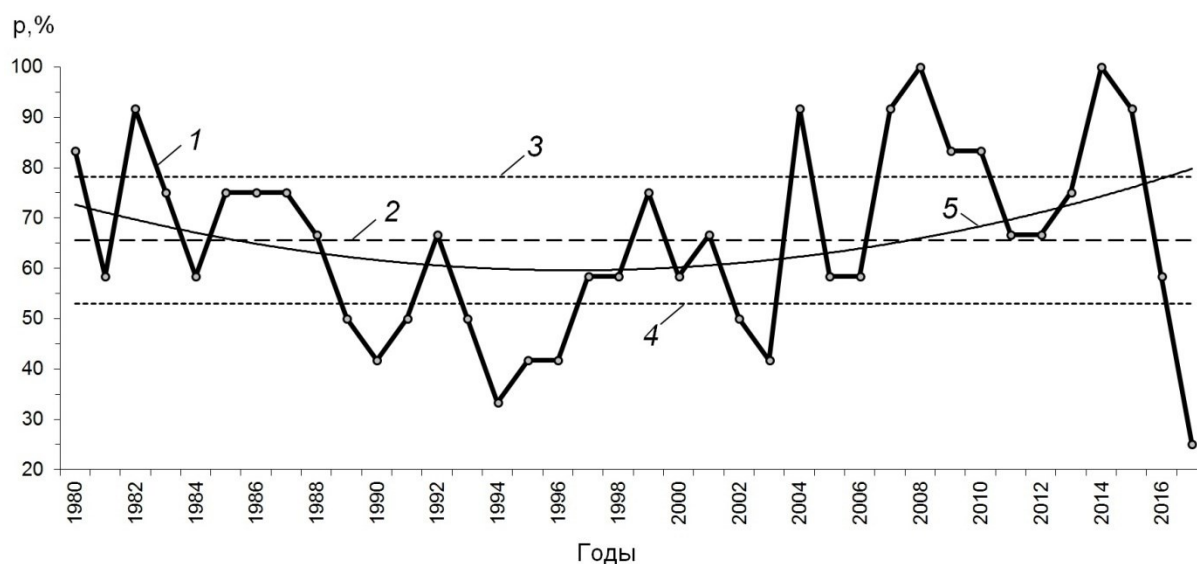


Рис. 1. Многолетнее изменение повторяемости месячных полей скорости дрейфа льда с наличием в них антициклонических круговоротов, рассчитанной за годовые ледовые циклы 1 – ход изменения значений  $p$ ; 2 – средняя многолетняя повторяемость; 3 – граница между группами повышенных значений  $p$  и значений  $p$  около средней величины; 4 – граница между группами пониженных значений  $p$  и значений  $p$  около средней величины; 5 – тренд

В зависимости от величины параметра  $p$  весь ретроспективный ряд лет был поделен на три группы. Группа лет с повышенной повторяемостью включает в себя годовые ледовые циклы со значениями  $p \geq \bar{p} + 0,674\sigma_p$ , группа лет с пониженной повторяемостью – со значениями  $p \leq \bar{p} - 0,674\sigma_p$ . Остальные годы вошли в группу лет с величиной повторяемости антициклонических круговоротов около средней.

Таким образом, при составлении прогноза дрейфа льда выбирается только та группа лет, которая по значению показателя  $p$  будет ближе к показателю в текущем ледовом цикле. Последующий расчет перемещения льда из заданной точки производится по полям векторов скорости дрейфа льда в узлах сетки квадратов  $200 \times 200$  км. Такие поля получены за 20 годовых ледовых циклов (с октября 1994 г. по сентябрь 1995 г. и с октября 1998 г. по сентябрь 2017 г.).

Для параметра  $p$  характерны межгодовые колебания, которые отчетливо видны на рис. 1. Эти колебания служат основой для выбора аналоговой группы лет. При этом учитываются:

- направленность изменения трендовой повторяемости  $p_t^*$  за последние годы и ее ожидаемая величина в текущем году;
- последовательность чередования межгодовых колебаний разной продолжительности;
- продолжительность колебания, закончившегося перед началом прогностического периода;
- экстремальные значения повторяемости данного колебания и группы лет, к которым относятся эти экстремумы.

При выборе аналоговой группы также имеет значение изменение повторяемости в начавшемся, но еще не закончившемся колебании, а также группа, к которой относится повторяемость последнего годового ледового цикла перед текущим циклом.

Если прогноз составляется не ранее февраля, т.е. уже имеется не менее четырех среднемесячных полей скорости дрейфа льда в текущем ледовом цикле, выбор аналоговой группы может быть дополнен еще одним критерием. Для этого строится ход изменения накопленного количества антициклонических круговоротов от начала ледового цикла до начала прогностического периода и сопоставляется с соответствующим ходом, рассчитанным по данным лет каждой из трех групп. За аналоговую выбирается та группа, в которой ход изменения количества антициклонических круговоротов наиболее близок к соответствующему ходу в текущем ледовом цикле за уже прошедшие месяцы. Если выбранная таким образом аналоговая группа не совпадает с группой, выбранной на основе межгодовых колебаний параметра  $p$ , прогноз дрейфа льда составляется по данным каждой из них, а за прогностический вектор принимается осредненный по обоим вариантам. Через несколько месяцев при уточнении прогноза на основе сопоставления полученных результатов с фактическими данными принимается решение какой группе следует отдать предпочтение.

Для реализации изложенного метода было разработано программное обеспечение, включающее в себя два модуля. Первый из них помогает эксперту выбрать аналоговую группу, предоставляя всю необходимую для этого информацию. Второй модуль осуществляет непосредственно расчет прогностического перемещения льда по данным годов-аналогов, визуализирует траекторию прогностического дрейфа из заданной точки, строит результирующий вектор перемещения льда и с центром в его конце эллипс допустимой погрешности для заданной вероятности.

Данный эллипс также использовался для оценки долгосрочных прогнозов перемещения льда, составленных как по данным климатического дрейфа, так и по изложенному методу. В первом случае за ожидаемое перемещение льда из заданной точки принимается климатический вектор результирующего дрейфа  $\vec{W}_k$  за прогностический период, а во втором – вектор результирующего дрейфа  $\vec{W}_m$ , вычисленный по методу аналогов. Наряду с ними из заданной точки рассчитывался фактический дрейф льда (буя) за тот же промежуток времени. Если конец фактического вектора  $\vec{W}_f$  оказывается в пределах эллипса допустимой погрешности прогнозируемого дрейфа, прогноз считается оправдавшимся. Наоборот, при положении конца вектора  $\vec{W}_f$  за пределами эллипса принимается, что прогноз не оправдался. Пример оценки расчета результирующего перемещения представлен на рисунке 2. Место положения конца фактического вектора на этом рисунке обозначено звездочкой. В данном случае, как видим, прогноз, составленный по методу, оправдался, а климатический прогноз – нет. Возможны случаи, когда оба прогноза оправдываются, либо оба не оправдываются.

Проверка оправдываемости расчетов векторов результирующего перемещения льда, составленных по изложенному методу за промежутки времени от 3 до 12 месяцев, выполнялась на основе ретроспективных данных по дрейфу автоматических буев. Так как повторяемость антициклонических круговоротов в месячных полях скорости дрейфа в закончившемся ледовом цикле уже известна, выбор аналоговой группы не производился. Таким образом, оправдываемость расчетов перемещения льда, выполненных за прошлые годы, является оправдываемостью не прогностических, а диагностических расчетов. Можно полагать, что полученные значения отражают оправдываемость прогнозов, составленных при правильном выборе аналоговых групп лет.

Проверка диагностических расчетов перемещения льда, основанная на сопоставлении параметров дрейфа, вычисленного из точки исходного положения буя, с параметрами его фактического дрейфа, реализована за 11 годовых ледовых циклов, принадлежащих различным аналоговым группам. Расчеты выполнялись как по методу, так и по климатическим данным. Общее число проверенных случаев превысило 300. В каждом из них были вычислены ошибки по дальности и по направлению, относящиеся к рассчитанным векторам результирующего дрейфа буев.

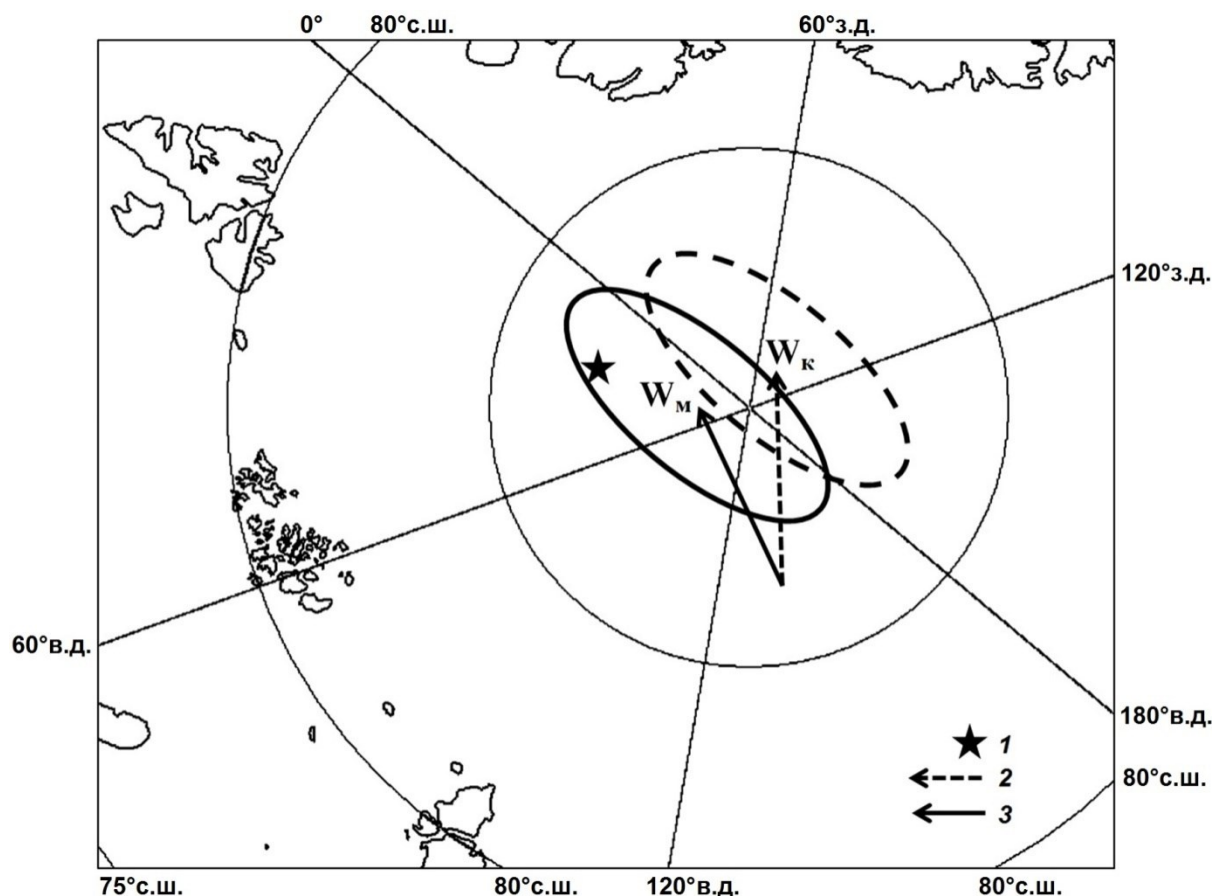


Рис. 2. Результаты оценки расчета результирующего перемещения льда в период с 1 октября 1994 г. по 1 апреля 1995 г. (буй №63661)

1 – фактическое положение буя в конце расчетного периода; 2 – вектор результирующего перемещения льда, рассчитанный по климатическим данным; 3 – вектор результирующего перемещения льда, рассчитанный по изложенному методу

Результаты расчетов показали, что по дальности ошибки векторов результирующего дрейфа, рассчитанных по методу, в среднем на 32 км меньше, чем при их расчете по климатическим данным, а по направлению — меньше на 4°.

Средняя эффективность диагностических расчетов перемещения льда, выполненных по методу, за временной промежуток 3 месяца составляет 12%, за 6 месяцев — 11%, а за 12 месяцев — 16%.

В настоящее время проверка метода продолжается в оперативном режиме.

### Литература

1. Гудкович З.М., Доронин Ю.П. Дрейф морских льдов. СПб.:Гидрометеоздат, 2001. 112 с.
2. Лосев С.М., Дымент Л.Н. Повторяемость крупномасштабных вихревых образований в полях скорости дрейфа льда Арктического бассейна как показатель его интенсивности//Метеорология и гидрология. 2016. №10. С.72–83.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ХРЕБТОВ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ

Д.Н. Елкин<sup>1</sup>, А.Г. Зацепин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## LABORATORY STUDY OF THE IMPACT OF UNDERWATER RIDES ON THE ALONGSHORE DOWNWELLING CURRENT AND BOTTOM EKMAN LAYER ASSOCIATED WITH IT.

D.N. Elkin<sup>1</sup>, A.G. Zatsepin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

*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 обычно имеет сложный рельеф, характеризующийся наличием хребтов, каньонов, гор и впадин. Проведены лабораторные опыты по изучению этого процесса при наличии хребтов.*

*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. In the ocean the bottom usually has a complex relief, characterized by the presence of ridges, canyons, mountains and depressions. We conducted a laboratory experiment to study the impact of the ridge on the downwelling alongshore current and the bottom Ekman layer associated with it.*

При наличии прибрежного течения, достигающего дна моря, образуется придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае прибрежного циклонического вдольберегового течения, или антициклонического течения вокруг острова (в общем случае - даунвеллингового вдольберегового течения), в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой плотностной стратификации водной среды, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами [1].

Морское дно имеет сложный рельеф, и этот процесс зачастую происходит при наличии хребтов, каньонов, возвышенностей и впадин. Цель работы – изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС в лабораторных условиях при наличии вдольсклонового хребта на наклонном дне в однородной и стратифицированной вращающейся жидкости.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, сделанном из оргстекла и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижним основанием на дне бассейна. На внешней стороне к образующей усеченного конуса перпендикулярно наклонной поверхности прикреплена тонкая пластинка треугольной формы, вершинный угол которой меньше угла конической поверхности к горизонтали. Пластинка расположена так, чтобы вершинный угол касался верхнего основания, а сторона противоположная этому углу расположились вблизи стенки бассейна. В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над этим отверстием осесимметрично расположен пустотелый цилиндр. В верхней части цилиндра имеется щель, служащая кольцевым источником, через который из сосуда Мариотта в бассейн подается с постоянным расходом вода плотности  $\rho_1$ : такой же, или меньшей, чем плотность  $\rho_0$  воды в бассейне. Перед началом опыта бассейн заполнялся водой до уровня верхнего края кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся водой, подкрашенной красителем. Поступающая в бассейн вода образует «прибрежное» (прижатое к боковой поверхности цилиндра) фронтальное течение. Из-за трения о дно в области этого течения возникает ПЭС, в котором происходит опускание подкрашенной воды источника. На протяжении каждого опыта вид прибрежного течения и связанного с ним ПЭС снимался сверху и сбоку с помощью

видеокамер. Для определения скорости вдольберегового течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки.

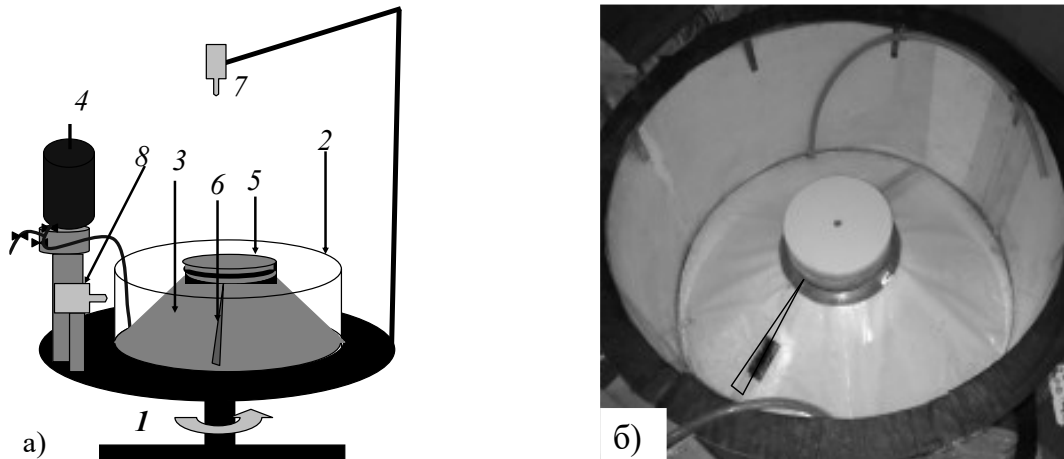


Рис. 1а). Вращающаяся платформа (1), бассейн, который заполняется жидкостью плотности  $\rho_0$  (2), усеченный конус (3), сосуд Мариотта который заполняется подкрашенной жидкостью плотности  $\rho_1$  (4), щелевой источник массы и плавучести, через который подкрашенная жидкость поступает на поверхность конуса, и образует антициклоническое осесимметричное даунвеллинговое течение (5), пластинка (6), видеокамера (7), боковая видеокамера (8); б) фото лабораторной установки.

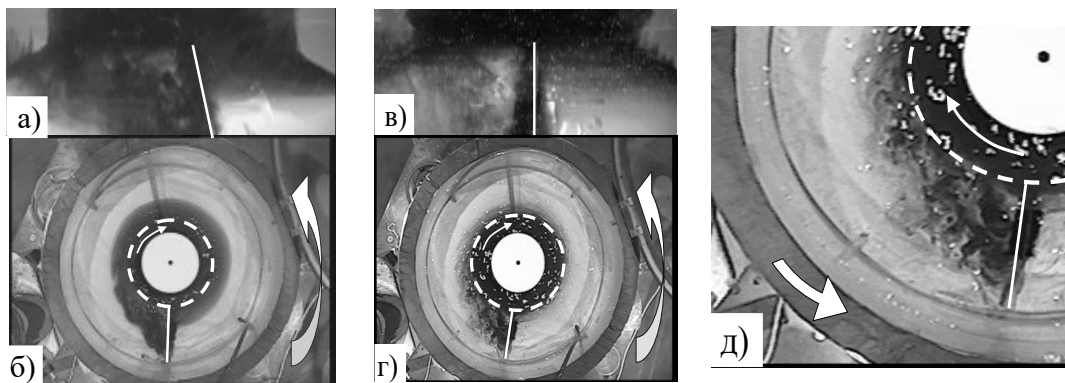


Рис. 2. Баротропный случай ( $\rho_1 \approx \rho_0$ ): а) боковой вид; б) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС при наличии хребта; Бароклинный случай ( $\rho_1 < \rho_0$ ): в) боковой вид; г) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС при наличии хребта; д) трехмерные конвективные структуры крупным планом. Прямая радиальная линия – положение хребта; пунктир – внешняя фронтальная граница прибрежного течения вне области хребта. Толстая стрелка – направление вращения платформы. Тонкая стрелка – направление прибрежного течения.

В [1] было проведено две серии опытов. В опытах первой серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в баротропном случае ( $\rho_1 \approx \rho_0$ ). Эксперименты проводились при различных значениях скорости вращения платформы, и различных значениях расхода жидкости из щелевого источника. Вода, поступавшая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Через некоторое время ширина слоя подкрашенной жидкости и связанного с ним прибрежного течения практически переставала расти, несмотря на продолжавшийся приток из источника. Стабилизация положения фронта подкрашенной жидкости была обусловлена с формированием в вязком ПЭС течения вниз



по склону, выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны слоя прибрежного течения.

При наличии вдоль склонового хребта, подкрашенная жидкость прибрежного течения и ПЭС, той же плотности, что и вода в бассейне, натекая на хребет и замедлялась. Поэтому перед хребтом уровень жидкости повышался по сравнению с удаленными от хребта районами. Такое поле давления перед хребтом опускало воду прибрежного течения и связанного с ним ПЭС вниз, а за хребтом - поднимало ее вверх по склону (рис. 2а, б).

Опыты второй серии проводились при разных значениях солености воды в бассейне. При этом вода в источнике была пресной. В случае небольшого различия плотности вод ( $\rho_1 < \rho_0$ ), более легкие воды касались дна и общий характер влияния хребта на прибрежное течение и ПЭС не изменялся. Однако в окрестности хребта наблюдалось утолщение ПЭС, что приводило к более раннему развитию конвекции, которая имела вид трехмерных вихревых структур, в которых подкрашенная вода ПЭС поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости. Как и прежде, перед хребтом вода прибрежного течения и опускалась значительно глубже, чем в отсутствие хребта (рис. 2в, г, д)

При большем различии плотности вод ( $\rho_1 \ll \rho_0$ ), без хребта подкрашенная менее плотная вода прибрежного течения распространялась со временем радиально и осесимметрично. При наличии хребта прибрежное течение теряло симметричность: перед хребтом оно опускалось вниз, а за ним поднималось вверх. При этом его вода не касалась дна и не попадала в ПЭС.

Описанные результаты лабораторных опытов хорошо согласуются с некоторыми результатами натуральных наблюдений. Данные лабораторные опыты по исследованию воздействия подводных хребтов на прибрежные баротропные и бароклинные течения показали, что наличие подводного хребта сильно интенсифицирует водообмен между мелководной и глубоководной частями бассейна.

## Литература

1. 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.
2. Didkovskii V.L., Semenov A.V., Zatsepina A.G. Mesoscale currents upon the smooth sloping bottom and in the presence of ridges and canyons. – In: *Oceanic Fronts and Related Phenomena (Konstantin Fedorov International memorial Symposium)*. UNESCO, IOC, Workshop report N 159, 2000. P.89-94.

*Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2018-0003 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095, а также гранта РФФИ № 17-05-00381.*

*The work was done within the state budget theme 0149-2018-0003 and with financial support from the grant of the Russian Science Foundation No. 14-50-00095, as well as a grant from the Russian Foundation for Basic Research No. 17-05-00381.*

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ В РАЙОНЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАБЕРЕЖНЫХ «МФК ЛАХТА ЦЕНТР»

А.О. Еремеева<sup>1</sup>, В.П. Беляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт озераедения РАН, Санкт-Петербург, Россия

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE COASTAL ECOSYSTEM OF THE NEVA BAY AT THE LAKHTA CENTER EMBANKMENTS PROJECT SITE

A.O. Eremeeva<sup>1</sup>, V.P. Beliakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia

*На основе существующих методов нормирования и оценки качества воды и донных отложений выполнена оценка экологического состояния акватории Невской губы в районе проектирования набережных «МФК Лахта Центр».*

*The ecological status of the Neva Bay water area at the Lakhta Center embankments project site was assessed based on existing methods for water and bottom sediments quality rating and assessment.*

Формирование качества воды северо-восточной части Невской губы, включая акваторию вблизи строящегося «МФК Лахта Центр», в большей степени зависит от загрязненного стока р. Большая Невка и р. Каменка, которая впадает в Лахтинский разлив. По данным Гидрологического института общий объем загрязненного стока, поступающего в Невскую губу на данном участке, составляет 1912,75 тыс.м<sup>3</sup>/год. Объем неучтенного годового ливневого стока равен 1187 тыс.м<sup>3</sup>. Нагрузка биогенными веществами составляет 0,01 Робщ. т/год и 0,6 Нобщ. т/год [1].

Основным источником интенсивного загрязнения акватории Северной Лахты взвешенными веществами в последние годы являлись крупномасштабные работы по намыву территории Васильевского острова, дноуглубительные работы по Петровскому фарватеру и Подходному каналу для Морского пассажирского порта и дампинг [2-3].

Для оценки экологического состояния Невской губы в районе проектирования южной и восточной набережных «МФК Лахта Центр» в осенью 2016 г. в 5-ти точках были отобраны пробы воды и донных отложений для проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы по гидрохимическим, микробиологическим, санитарно-паразитологическим, токсикологическим и гидробиологическим показателям. Всего на участке изысканий за две съемки в сентябре 2016 г. было отобрано 20 проб воды и 40 проб донных отложений. Анализы отобранных проб воды и донных отложений по санитарно-гигиеническим показателям выполнены в Аккредитованной испытательной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге».

Превышение концентраций над ПДК<sub>рх</sub> в воде исследуемой акватории было зафиксировано по БПК<sub>5</sub> (до 2,8 ПДК<sub>рх</sub>), ХПК (2,5-9,2 ПДК<sub>рх</sub>), азоту аммонийному (на уровне 1,4 ПДК<sub>рх</sub>), меди (9-15 ПДК<sub>рх</sub>), свинцу (до 3 ПДК<sub>рх</sub>), цинку (1,7-5,1 ПДК<sub>рх</sub>), марганцу и железу. Наибольший уровень загрязнения тяжелыми металлами отмечен по марганцу (4,4-83 ПДК<sub>рх</sub>). Для железа, также как и для марганца, отмечены экстремально высокие концентрации на уровне 4,5-49 ПДК<sub>рх</sub>.

В прибрежной акватории района проектирования индекс загрязнения воды (ИЗВ) изменяется от 2,6 в проточной зоне Невской губы до 34,6 в застойной при впадении вод Лахтинского разлива.

Повышенное содержание БПК<sub>5</sub>, Mn, Fe, Cu, и пониженное растворенного кислорода в воде губы в районе исследований связано не только с загрязненным стоком с водосбора озера Лахтинский разлив, но также с повышенными фоновыми концентрациями этих элементов в низовьях рек Каменка, Юнтоловка, Глухарка и Черная в пределах Лахтинского болота. Водосбор Лахтинского разлива находится в геохимической провинции, отличающейся повышенной

миграционной способностью органического вещества, железа, марганца и других тяжелых металлов [4].

Оценка загрязненности донных отложений в районе изысканий осуществлялась по региональным кларкам береговой зоны Невской губы, которые были разработаны ВСЕГЕИ [5]. При отсутствии данных использовался региональный фон для почв Ленинградской области, полученный «Севзапгеология» и «Невскгеология» [6]. Одновременно производилось сравнение концентрации с ПДК (ОДК) и кларком почв мира согласно существующим нормативам.

Превышение концентраций над фоном береговой зоны в донных отложениях лахтинской акватории было зафиксировано по РН, меди, цинку, никелю и без(а)пирену. Согласно исследованиям наиболее загрязнены донные отложения Лахтинской гавани, индекс суммарного загрязнения Саета ( $Z_c$ ) равен 7,4 (уровень загрязнения – допустимый). Содержание бенз(а)пирена ( $C_{20}H_{12}$ ) было превышено в 4,0-5,5 раза. Карта экологического состояния прибрежной акватории по показателю суммарного загрязнения Саета и ПДК в точках 1-5 представлена на рисунке 1.

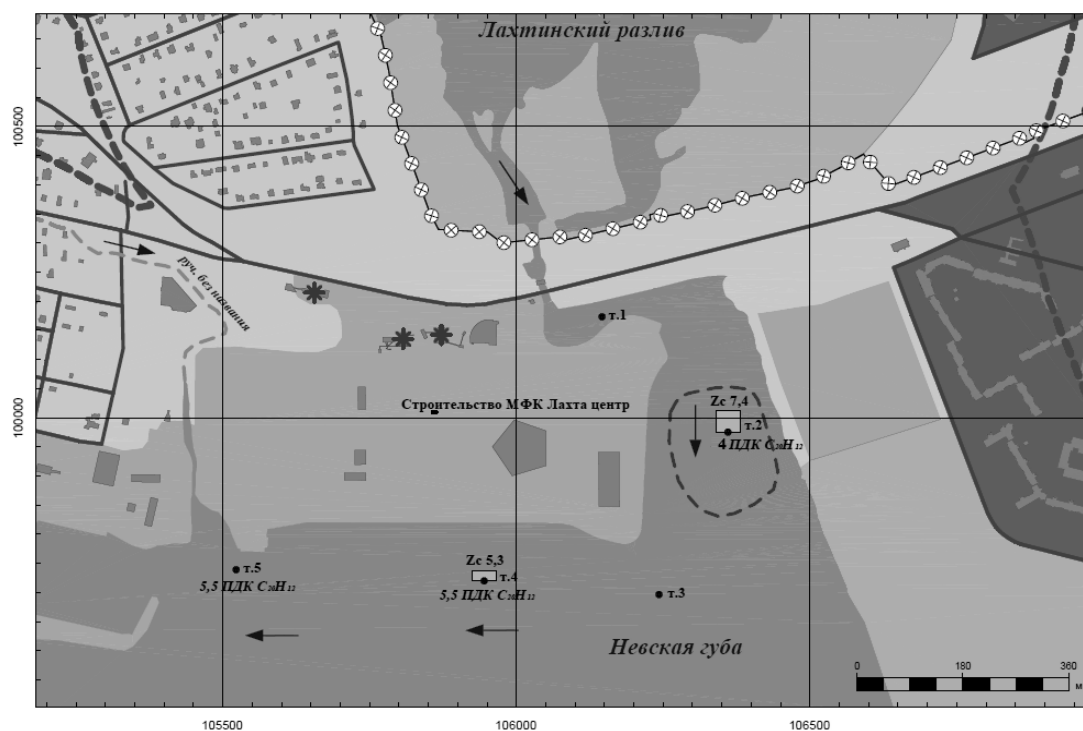


Рис.1. Карта экологического состояния прибрежной акватории Северной Лахты по показателю суммарного загрязнения донных отложений Саета ( $Z_c$ ) и ПДК

Уровни загрязнения донных отложений в прибрежной зоне осадконакопления в результате дампинга 2006-2007 гг. изменяются от категории «чрезвычайно опасная» до категории «опасная». Донные отложения района «МФК Лахта Центр» не соответствуют действующим государственным санитарным нормам и гигиеническим нормативам, класс опасности грунта - IV.

Повышенные концентрации тяжелых металлов и бенз(а)пирена приурочены к точкам гранулометрический состав донных отложений, которых состоит из более мелкодисперсных илистых фракций, способных сорбировать большее количество загрязняющих веществ. В проточных зонах почвы более чистые.

Индексы БГКП и энтерококков не превышают допустимые значения. Патогенная микрофлора, яйца гельминтов, цисты кишечных патогенных простейших не обнаружены. Индекс токсичности  $I_T$  изменяется от 97,6 до 108,0 (норма  $80 < I_T < 120$ ).

По микробиологическим и санитарно-паразитологическим показателям донные отложения соответствуют категории «чистая» во всех пробах.

По биологическим показателям в районе проектирования исследованная акватория в разных ее частях характеризуется по разным показателям как умеренно чистая, так и умеренно загрязненная. Столь разные оценки возникают из-за несинхронности действия загрязнений на планктон и бентос, разных временных масштабов динамики различных сообществ, а также из-за возможного неучета токсичных воздействий. В частности зообентос обитающий в зонах повышенной аккумуляции загрязнений в донных отложениях реагирует на них, а планктон уже успевает восстановиться. Снижение числа сапрофитных бактерий до уровня чистых вод говорит скорее всего не о чистых водах, а о наличии токсичных примесей, ингибирующих рост сапрофитов, поскольку общее число клеток бактерий высоко и характерно для грязных вод. Можно заключить, что из-за токсичности будет страдать и самоочищение, в котором основную роль играют бактерии.

В целом бентосные показатели в данном случае более показательны, поскольку суммируют негативные воздействия на конкретный участок на протяжении продолжительного времени, т.е. не случайные воздействия. Объединенный показатель, предложенный Е.В. Балускиной, оказывается наиболее удачным для индикации состояния водоема [7,8]. Таким образом, 1, 3 и 5 станции характеризуют условия умеренного загрязнения, а 2 и 4 – загрязненные зоны (рисунок 2). Эта оценка в целом согласуется с характеристиками других сообществ, если учитывать дополнительные факторы проточности, трофности и прозрачности.



Рис. 2. Изменение объединенного индекса Балускиной на 5 станциях исследованного участка акватории Невской губы в сентябре 2016 г.

### Выводы.

Таким образом, вероятными путями поступления загрязнений на исследованный участок акватории Невской губы являются: транзитные невские воды, сток из Лахтинского разлива и ручья без названия, загрязненные илистые донные отложения застойных зон в местах дампинга 2006-2007 гг., диффузный сток от неточечных источников загрязнения с прилегающих территорий при атмосферных осадках и снеготаянии и стоянки маломерных судов.

При строительстве набережной возможно усиление береговой эрозии и частичный смыв загрязнений в акваторию, степень этого будет зависеть от выбранной технологии строительства (намыв или забивание свай и изоляция побережья от вод губы с последующей отсыпкой и т.д.). Но с учетом высокой транзитности прибрежных вод и отсутствием застойных зон (за исключением станции 2), действие таких локальных загрязнений не проявится на фоне фактора основного потока загрязнения и притока невских вод. Критическая зона - район Лахтинской гавани (зона дампинга). Ее промывка связана с гидрологической ситуацией и уровнем воды в Лахтинском разливе, а качество воды зависит от качества поступающих вод Лахтинского разлива и Большой Невки. В этом случае дополнительное поступление загрязнений при строительстве набережной в этой зоне может усугубить экологическую ситуацию.

Прямая техногенная нагрузка на акваторию губы в данном районе в настоящее время несколько снизилась. Однако произошедшие за последние годы изменения – формирование на глубинах слоя техногенных глинистых осадков, обогащенных тяжелыми металлами, нефтепродуктами и другими поллютантами – создает проблему возможного вторичного загрязнения акватории и берегов.

Увеличение величины твердого стока при строительстве нарушит существующее гидрохимическое равновесие между содержанием загрязняющих веществ в твердой и жидкой фазах (вода-донные отложения), которое в дальнейшем может спровоцировать вторичное загрязнение водного объекта путем ремобилизации (десорбция, диффузия и др.).

### **Литература**

1. Оценка современного состояния и прогноз тенденций изменения экосистемы р. Невы // Отчет по договору № 3/10-13, ФГБУ «ГГИ», СПб, 2013, -130 с.
2. Голубев Д.А., Зайцев В.М., Клеванный К.А., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б. Комплексные исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и восточной части Финского залива // «Инженерные изыскания», 2010, № 5, С.36-42.
3. Шилин М.Б., Мамаева М.А., Леднова Ю.А., Волнина О.В. Дреджинг как фактор оптимизации экологической ситуации в береговой зоне // Гидротехника, 2012, № 1 (26): С.100 – 103.
4. Водные объекты Санкт-Петербурга. Под ред. С.А Кондратьева и Т.П. Гронской. СПб, «Символ», 2002. – 348 с.
5. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. – СПб.: КФ ВСЕГЕИ, 2014. – 135 с.
6. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Ленинград, Гидрометеониздат, 1984, - 40 с.
7. Балущкина Е.В. Оценка состояния экосистемы и качества вод эстуария реки Невы по показателям зообентоса // Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. Под ред. А.Ф. Алимова и С.М. Голубкова. Тов-во научных изданий КМК, СПб-М., 2008. С. 411-426.
8. Литвинчук Л.Ф., Балущкина Е.В. Оценка состояния Невской губы и восточной части Финского залива на основе биоиндикационных показателей зоопланктона и бентоса. //Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Тез.док. II Междунар. конф. 10-14 октября 2011 г., СПб., 2011. С.101.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ МОРСКОГО МУСОРА В РЕГИОНЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Т.Р. Еремина<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.А. Ершова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## STUDY OF THE PROBLEM OF MARINE LITTER IN THE GULF OF FINLAND REGION

T.R. Eremina<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.A. Ershova<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*В 2018 году впервые проведены натурные исследования с целью количественной оценки аккумуляции морского мусора в прибрежной зоне восточной части Финского залива Балтийского моря. Предварительный анализ полевых измерений на побережьях различного типа с различной рекреационной нагрузкой показал, что северное и южное побережье Невской губы и восточной части Финского залива значительно отличаются по характеру аккумуляции мусора, его типу, классовому составу и объему.*

*In 2018, field studies were conducted for the first time in order to assess the accumulation of marine litter in the coastal zone of the eastern Gulf of Finland of the Baltic Sea. A preliminary analysis of field measurements on the coasts of various types with different recreational load showed that the northern and southern coasts of the Neva Bay and the eastern part of the Gulf of Finland differ significantly in the nature of litter accumulation, its type, class composition and volume.*

### **Введение.**

Аккумуляция морского мусора и его «миграция» в морях и заливах являются актуальной глобальной экологической проблемой Мирового океана. Период разложения полимерных промышленных и бытовых отходов, попадающих в море, по разным оценкам превышает 200-300 лет [1]. Весь пластик со времени начала его промышленного производства (~60 лет назад) остается в биосфере и циркулирует в глобальной морской экосистеме [2]. Финский залив Балтийского моря в силу своих природных особенностей представляет собой особо-уязвимую к антропогенным воздействиям экосистему и может служить «ловушкой» для всех видов загрязнений, включая пластиковые частицы, поступающие в залив с городскими сточными водами, со стоком р. Нева, а также в результате распада на мелкие частицы рыболовных сетей и крупного мусора с несанкционированных свалок.

С территории мегаполиса г. Санкт-Петербург вместе с Ленинградской областью ежегодно поступает в окружающую среду в среднем около 112 000 тонн пластиковых отходов [3]. Из-за отсутствия централизованной системы разделения и переработки пластикового мусора все отходы захораниваются на полигонах, многие из которых в настоящий момент переполнены. На пляжах Финского залива и Невской губы накапливается большое количество мусора после летнего отдыха туристов. Важным источником поступления микропластика в водную среду Невской губы могут служить взмученные донные отложения в процессе дреджинговых работ, регулярно проводимых в Невской губе для намыва новых территорий.

Проблема пластикового мусора никогда не исследовалась в российском секторе Финского залива, поэтому летом 2018 года впервые в этом районе были проведены полевые исследования для оценки накопления морского мусора в водной среде и на побережье Невской губы. Целью настоящей работы являлось первичное изучение уровня загрязненности прибрежной зоны восточной части Финского залива морским мусором путем тестирования международных методик по мониторингу морского мусора на пляжах и в акваториях.

### **Материалы и методы исследования.**

Береговая линия российской части Финского залива и Невской губы крайне разнообразна и представлена различными типами берегов: шхеры, аллювиальные равнины, берега эрозионные, аккреционные и абразионные, а также сформированные техногенными процессами (насыпи, гидротехнические сооружения и т. д.) [4]. Наиболее распространенным типом побережья на северном и южном побережьях российской части Финского залива являются эрозионные берега с бухтами и участками песчаной аккреции с широкими (50-150 м) стабильными песчаными пляжами. Самая восточная часть береговой линии в устье Невы полностью трансформирована техногенными процессами [4]. С точки зрения рекреационного потенциала наиболее

посещаемые песчаные пляжи расположены в Курортном районе (на северном побережье) и вблизи Петергофа и Ломоносова (южный берег). В Курортном районе расположены 12 самых популярных и посещаемых общественных пляжей, которые регулярно убираются муниципальными службами, однако между ними много так называемых «диких» пляжей, которые очищаются случайным образом в течение всего сезона.

Эстуарий реки Нева отделен от открытого пространства восточной части Финского залива Комплексом защитных сооружений (КЗС) или дамбой, т.о. делая его практически закрытым водоемом, принимающим воды реки Нева. Таким образом, было выбрано несколько мест отбора проб морского мусора по обе стороны Невской губы (рис. 1) с точки зрения экономической эффективности и транспортной доступности для возможности последующего сравнения уровней загрязнения морским мусором внутренней и внешней части Невской губы.

Исследования проводились в разных погодных условиях в летний период 2018 г. (июнь-август) на побережьях городских и загородных песчаных пляжей (рис. 1) с разной рекреационной нагрузкой, а именно городские пляжи г. Санкт-Петербург: Парк 300-летия, Жемчужный, у м. Приморская, Лахта, Тарховка, пляж Александрия (г. Петергоф), пляж г. Ломоносов, Солнечное, пляж Комаровский (пос. Репино), пляж г. Зеленогорский на о. Котлин, г. Кронштадт (2 противоположных пляжа заказника «Западный Котлин»).

Использованные летом 2018 года международные методы мониторинга морского мусора были разработаны в Институте изучения Балтийского моря им. Лейбница (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, IOW) [5]: метод SandRake («грабли») и Frame-метод для оценки аккумуляции крупных частиц мусора (2-5 мм), а также мезо-мусора (5-25 мм) в верхнем слое песка (30-50 мм). Рейк-метод используется на площади песчаного пляжа не менее 50 м<sup>2</sup> между линией воды и линией растительности вдоль всего пляжа, тогда как Фрейм-метод применяется локально для отбора проб в заливах лагунного типа вдоль линии обрушения волны. Оба метода подходят для песчаных пляжей, даже если они регулярно очищаются, а также для оценки «горячих точек» загрязнения мусором.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб морского мусора в Невской губе и восточной части Финского залива в 2018 г.

### Результаты исследования.

Характер аккумуляции мусора на пляже и в прибрежных водах (около морского дна) может быть очень различным, что в основном связано с разным происхождением мусора, а также его различными физическими свойствами. Большая часть плавающего мусора вымывается на берег (в основном пластик, бумага и т.д.), в то время как более тяжелые предметы опускаются на дно в местах их поступления в морскую среду. Регионы с высокой антропогенной нагрузкой, такие

как крупные морские порты, склонны накапливать различные типы мусора. Кроме того, в Невской губе туристы, отдыхающие на пляжах, всегда играют важную роль в сезонном загрязнении пляжей и прибрежных вод.

Предварительные результаты полевых исследований на пляжах невиской губы и восточной части Финского залива летом 2018 года показали, что:

1. Северное и южное побережья Невской губы и Финского залива (Курортный район) сильно отличаются по составу мусора (размер частиц, материал, количество и т. д.),

2. Наибольшее скопление мусора в Невской губе было зарегистрировано на городском пляже недалеко от метро Приморская (северная часть порта), на городском пляже Жемчужный (южная сторона порта), в парке Александрия (Петергоф) и на городском пляже г. Ломоносов. Однако состав и размер частиц были очень разными (рис. 2).

3. Самый чистый городской пляж в целом был в Парке 300-летия Санкт-Петербурга (парк убирается каждый день).

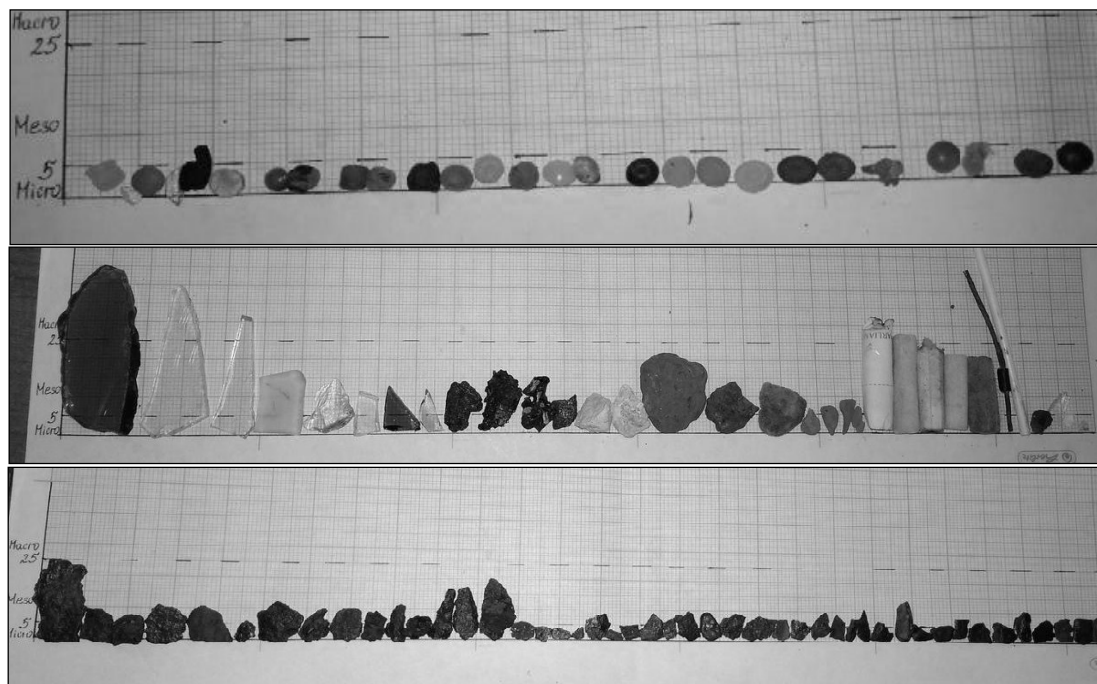


Рис. 2. Примеры проб мусора микро- и мезо-частиц наиболее распространенного состава: пластиковые пеллеты, битое стекло, фильтры сигарет, куски ржавого металла.

4. Пластик был доминирующим типом мусора во всех фракциях (50-60%) на северном побережье Невской губы и пляжах Курортного района, однако его было найдено гораздо меньше на регулярно очищаемых общественных пляжах, таких как Лахта или Зеленогорск, чем на «диких» пляжах.

5. Пляжи на южном побережье Невской губы были в основном покрыты битым бутылочным стеклом, кусочками ржавого металла (от кораблей и лодок) и кусочками шпаклевки (гипсовая штукатурка - очень легкий и рассыпчатый строительный материал). Пластик здесь составлял всего 10-12% от общего количества мусора.

6. Пробы, отобранные на пляжах Кронштадта (на внешней части дамбы) содержали в основном кусочки ржавого металла и битого стекла.

В целом, наибольшее количество мезо- и макро-мусора было найдено в Невской губе по сравнению с внешним от дамбы районом (Курортный район, Лебяжье), где основную часть мусора представляли микрочастицы (2-5 мм). Это можно объяснить редкими очистными кампаниями пляжей в городе и большим количеством туристов в этом районе.

Исследования по данной теме будут продолжены в 2019 году.



## Литература

1. Moore C.J. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environment Research* 108 (2008): 131-139.
2. EU MSFD TG10 “Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas (2013)”
3. Cheshire, A.C., Adler, E., Barbière, J. et al. (2009) UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 186, IOC Technical Series No. 83, 120 p.
4. З.ПетовН.А. Оценка накопления полимерных отходов в России и путях переработки // *Полимерные материалы*, Т.4, 2008. С. 4-7.
5. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря. Ред. О.В. Петров, В.Ф. Спиридонов. 2010. Изд. ВСЕГЕИ, СПб, 87 с.
6. Haseler, M., Schernewski, G., Balciunas, A. et al. Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches *J Coast Conserv* (2018) 22: 27.

*Исследование проводилось при поддержке РФФИ, проект 18-55-76001 ЭРА\_a.*

*The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project 18-55-76001 ERA\_a.*

## БАЗОВЫЕ КАФЕДРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МОРСКИХ НАУК

Т.Р. Еремина<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, Е.Ф. Васечкина<sup>2</sup>, д-р геогр.наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

## SPECIALIZED DEPARTMENTS AS A TOOL TO IMPROVE THE QUALITY OF HIGHER EDUCATION IN THE FIELD OF MARINE SCIENCES

T.R. Eremina<sup>1</sup>, Cand.Sc., E.F. Vasechkina<sup>2</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Morskoy Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russia

*В работе обсуждается роль базовых кафедр в подготовке будущих специалистов, в частности, в области морских наук. Базовая кафедра, открытая РГГМУ совместно с Морским гидрофизическим институтом РАН, создана для реализации новой магистерской программы "Оперативная океанография", одного из наиболее динамично развивающегося и востребованного направления в морских науках. Включение в образовательную программу ряда дисциплин, преподавание которых осуществляется учеными института, позволяет существенно повысить уровень подготовки будущих специалистов, обеспечить обучающихся практическими навыками работы.*

*The paper discusses the role of specialized departments in the training of future specialists, in particular, in the field of marine Sciences. The specialized Department of RSMU under umbrella of the Marine Hydrophysical Institute of RAS was created for the implementation of the new master's program "Operational Oceanography", one of the most dynamically developing and popular area in marine Sciences. The inclusion in the educational program of a number of disciplines, the teaching of which is carried out by scientists of the Institute, can significantly improve the level of training of future specialists, to provide students with practical skills.*

Одной из целей, стоящих перед мировым сообществом, является построение так называемого общества знаний [Стратегия «Европа-2020»]. Это связано с тем, что поступательное движение современной экономики определяется развитием наукоемких инновационных отраслей, и требуются кадры с соответствующим уровнем подготовки. В российских университетах эту задачу решают через взаимодействие с наукой и бизнесом путем создания базовых кафедр. Первые кафедры начали создавать еще в семидесятые годы прошлого столетия. Многолетний опыт организации и открытия базовых кафедр, как связующего звена между образованием, наукой, производством и бизнесом в России показал их эффективность в повышении практической ориентированности студентов. Это обусловлено главным образом тем, что обучение ведется как преподавателями университетов, так и специалистами научных институтов, предприятий и фирм.

Развитие морской деятельности в России и последствия этой деятельности, выраженные в возрастании антропогенного стресса на морскую среду; современные вызовы, связанные с изменением климата и требующие разработки адаптивных мер для развития экономики и сохранения безопасности для населения прибрежных территорий, создают необходимость в подготовке высококвалифицированных кадров в области морских наук.

Для решения этой задачи была создана базовая кафедра РГГМУ с участием Морского гидрофизического института РАН (город Севастополь) для реализации новой магистерской программы подготовки «Оперативная океанография».

Главным направлением работы кафедры является подготовка квалифицированных специалистов в области оперативной океанографии - нового направления в морских науках, активно развивающегося в последние десятилетия.

В начале 90-х годов прошлого века широкое распространение получили оперативные наблюдения океана с использованием искусственных спутников земли (ИСЗ) и автономные контактные наблюдения со свободно дрейфующих платформ с передачей наблюдений через ИСЗ в реальном масштабе времени. В результате появилась возможность систематического наблюдения за состоянием Мирового океана и была создана современная глобальная оперативная система мониторинга океана. Ее создание обусловило развитие систем анализа и

прогноза состояния океана с использованием гидродинамических моделей, совмещенных с прогностическими моделями атмосферных процессов. Так возникло новое прикладное направление в морских науках - оперативная океанография, развитию которой в ведущих странах придается приоритетное значение.

Несомненным преимуществом новой профессиональной образовательной программы является то, что программа реализуется совместно с ведущими специалистами Морского гидрофизического института РАН (МГИ), который является лидирующим институтом в области оперативной океанографии. В институте создан Экспериментальный центр морских прогнозов, на сайте которого осуществляется оперативное отображение экспериментальных результатов диагноза и прогноза физических полей Черного моря. В настоящее время МГИ успешно развивает данное направление под руководством члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук Г.К. Коротяева в рамках проекта Российского научного фонда «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна». В РГГМУ была впервые на Северо-Западе России разработана оперативная прогностическая система Финского залива в составе международной Балтийской океанографической оперативной системы BOOS.

Совместная подготовка специалистов позволяет существенно усилить теоретическую и особенно практическую составляющие программы, обеспечить обучающихся практическими навыками работы с оперативными океанографическими системами. В целях реализации компетентного подхода учебно-методические материалы дисциплин содержат активные и интерактивные формы проведения занятий, производственные и лабораторные исследования, работы в малых группах, групповое обсуждение поставленной задачи и многое другое. К участию в учебном процессе привлекаются ведущие преподаватели РГГМУ и специалисты-практики МГИ, передающие свой опыт и знания студентам.

## ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АССОЦИАЦИЙ КАРИОРЕЛИКТИД (CILIOPHORA) НА ПЕСЧАНОЙ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ

А.С. Есаулов<sup>1</sup>, О.И. Белякова<sup>1</sup>, И.В. Бурковский<sup>2</sup>, А.Н. Цыганов<sup>1,2</sup>, Ю.А. Мазей<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

## FACTORS OF KARYORELICTEAN COMMUNITY (CILIOPHORA) ASSEMBLY IN THE SANDY INTERTIDAL ZONE OF THE WHITE SEA

A.S. Esaulov<sup>1</sup>, O.I. Belyakova<sup>1</sup>, I.V. Burkovsky<sup>2</sup>, A.N. Tsyganov<sup>1,2</sup>, Y.A. Mazei<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*Одним из важнейших компонентов морских прибрежных экосистем являются инфузории. Благодаря быстрым темпам репродукции, они могут использоваться в качестве модельных организмов для исследований сообществ и мониторинга состояния окружающей среды.*

*Ciliates are one of the most important components in marine coastal ecosystems. Thanks to their high reproduction rates, ciliates can be used as model organisms for studies in community ecology and environmental monitoring.*

Морские интерстициальные пространства представляют собой специфичные биотопы в приливно-отливной зоне, населенные разнообразными сообществами микроскопических одноклеточных и многоклеточных организмов. Одним из важнейших компонентов этих биотопов с точки зрения обилия, биомассы, оборота органического вещества, являются инфузории. В сообществах микробентоса морей и эстуариев обнаружено более 1400 видов инфузорий [1]. Благодаря быстрым темпам репродукции (сотни поколений в течение календарного года), инфузории часто используются в качестве модельных организмов при исследовании механизмов формирования и поддержания структуры биологических сообществ в изменяющейся среде [2, 3, 4]. Целью настоящей работы является выявление основных факторов формирования ассоциаций инфузорий класса Karyorelictea, образующих основу (до 90% численности и биомассы) сообщества морских интерстициальных инфузорий.

Исследования проводили в губе Грязной эстуария реки Черной Кандалакшского залива Белого моря в 2009-2011 гг с использованием традиционных методов сбора и анализа образцов [5]. В работе было применено два подхода. Полевые наблюдения позволили выявить закономерности пространственного распределения, сезонной динамики и пищевых спектров кариореликтид. Полевые эксперименты по перемещению участков донного грунта с населяющими его организмами из мористой части эстуария в опресненную дали возможность оценить устойчивость морских интерстициальных сообществ инфузорий к резким изменениям биотопа и инородному биоценотическому окружению.

Пространственное распределение кариореликтид изучали по горизонтали в микро (3x3 см), мезо (10x10 см) и макромасштабе (весь пляж: 50x100 м), а также по вертикали в толще грунта (в слоях 0-0.5; 0.5-1.0; 1-2; 2-3 см). Пищевые спектры инфузорий определяли по содержанию их пищеварительных вакуолей. При проведении полевых экспериментов в мористой части эстуария вырезали бруски грунта (размером 15x15x5 см) и в течение 15–20 минут переносили и монтировали их (замещая соответствующий объём грунта) в более опресненные биотопы.

Наиболее массовыми видами в исследованных ассоциациях были *Remanella margaritifera* и *Apotrachelocerca arenicola*, доля которых в сообществе составляла 49.7% и 31.4% соответственно (рис. 1).

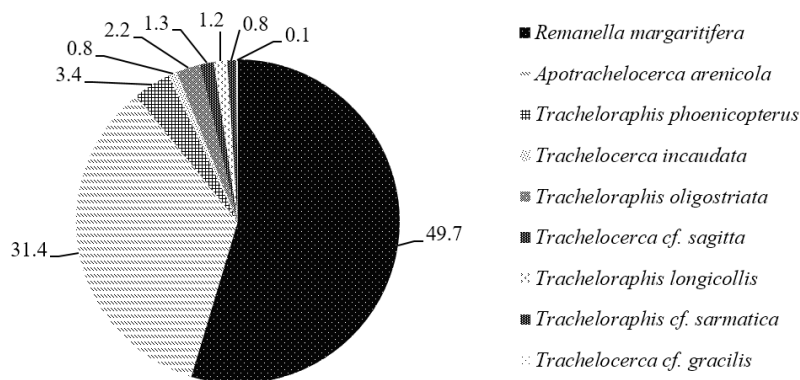


Рис. 1. Средние значения обилий массовых видов кариореликтов.

Анализ полученных данных по пространственному распределению показал, что все виды кариореликтов характеризуются весьма сходным распределением, что выражается в их совместной встречаемости в пробах. Во всех масштабах распределение инфузорий оказывается сложно агрегированным с выраженными сгущениями и разрежениями численности. Расхождение видов по вертикали в толще грунта также очень слабое: все инфузории предпочитали поверхностные слои глубиной до 1 см. Нижние слои грунта (2-3 см) слабо заселены кариореликтами. Эти данные свидетельствуют о сходной реакции всех видов кариореликтов на изменения характеристик грунта (в первую очередь окислительно-восстановительного потенциала, гранулометрического состава и степени заиленности).

Все изученные кариореликты встречаются в течение всего весенне-летне-осеннего сезона. Однако, разные виды достигают максимальных значений численности в разные периоды (рис.2). Наиболее синхронизировано развитие самых массовых видов *Apotrachelocerca arenicola*-*Remanellamargaritifera*.

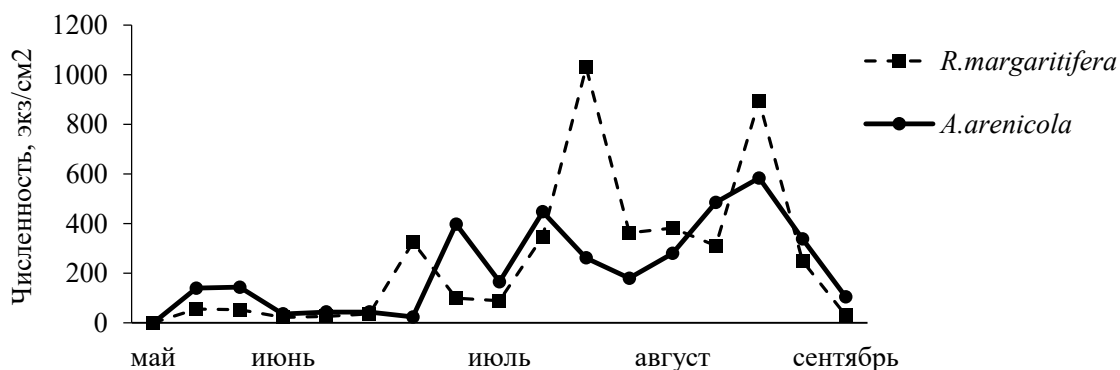


Рис. 2. Изменение численности наиболее массовых видов в течение сезона в губе Грязная.

Пищевые предпочтения изученных видов кариореликтов существенно различались, о чем свидетельствовали низкие значения индексов (Брея-Кертиса) сходства пищевых спектров. По-видимому, именно благодаря расхождению инфузорий по предпочитаемой пище реализуется возможность образования устойчивых многовидовых ассоциаций этих организмов на морской литорали.

Результаты полевых экспериментов показали, что сразу после трансплантации в перемещенных сообществах снизилась суммарная плотность инфузории видовое богатство. Однако через одну-две недели численность многих видов стабилизировалась. Наиболее толерантными оказались *Remanellamargaritifera*, *Apotrachelocercaarenicola*, *Trachelocercaincaudata* и *Tracheloraphislongicollis*. Несмотря на устойчивость этих видов в перенесенном сообществе, они не были обнаружены в реципиентных биотопах. Численность массовых видов снижается несколько быстрее, чем у второстепенных видов, но в целом остаётся

более высокой, даже при предельно низкой солёности (2.6 ‰). Это может быть связано с тем, что массовые виды образуют устойчивую ассоциацию, благодаря чему лучше переносят снижение солёности (явление синергизма). Анализ содержимого пищеварительных вакуолей показал, что инфузории в трансплантированном биотопе не испытывали голода и пища не была фактором, лимитирующим распространение морских видов в эстуарии. Таким образом, очень редкая встречаемость или отсутствие морских эвригалинных видов в реципиентных биотопах, возможно, связана с конкурентным давлением со стороны аборигенных видов.

Таким образом, основными факторами формирования устойчивых ассоциаций псаммофильных инфузорий на морской литорали являются отношения «ресурс-потребитель» и межвидовые взаимоотношения в пределах ассоциаций. Меньшую роль играет расхождение видов во времени и пространстве (горизонтальное и вертикальное).

### Литература

1. Azovsky A.I., Mazei Yu.A. Domicrobeshavemacroecology? Large-scale patterns in diversity and distribution of marine benthic ciliates // *Global Ecology and Biogeography*. 2013. Vol. 22. № 2. P. 163–172.
2. Бурковский И. В. Разделение экологических ресурсов и взаимоотношения видов в сообществе морских псаммофильных инфузорий // *Зоологический журнал*. 1987. Т. 66. № 5. С. 645-654.
3. Fenchel T. Ecology, potentials and limitations. (Excellence in ecology. Vol. 1). Ecology Institute, 1987. 186 pp.
4. Бурковский И.В., Мазей Ю.А., Есаулов А.С. Устойчивость сообщества морских инфузорий к резким изменениям факторов среды: роль физиологических, популяционных и ценотических механизмов (полевой эксперимент) // *Биология моря*. 2012. Т. 38. №3. С. 168–175.
5. Uhlig G. Quantitative methods in the study of interstitial fauna // *Transactions of the American Microscopical Society*. 1968. Vol. 87. P. 226–232.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-34-00909-мол\_а).*

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 18-34-00909-mol\_a).*

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В.А. Ефимов<sup>1</sup>, С.Р. Чалов<sup>1</sup>, И.В. Тимофеев<sup>1</sup>, Н.Е. Кошелева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

## CHEMICAL COMPOSITION OF WATER IN THE EXTRACTION OF MINERAL RESOURCES

V.A. Efimov<sup>1</sup>, S.R. Chalov<sup>1</sup>, I.V. Timofeev<sup>1</sup>, N.E. Kosheleva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

*Химический состав вод в районах добычи полезных ископаемых постоянно трансформируется, вследствие протекания миграционных процессов между растворенными соединениями, взвешенными и влекомыми наносами, а также донными отложениями. Комплексный подход к оценке влияния разработок и определению преимущественных форм транспорта загрязнителей и условий их нахождения позволяет определить их дальнейшее распространение в речном бассейне. В работе рассматриваются вопросы изучения химического состава поверхностных вод бассейнов, нарушенных добычей полезных ископаемых. Данные представлены для четырёх речных бассейнов, находящихся в различных ландшафтных и гидрогеохимических условиях, однако имеющих сходные характеристики загрязнения и процессы трансформации вод, ниже по течению рек. Исследуется возможность применения термодинамической модели Visual MINTEQ 3.1 для прогнозирования трансформации качества вод в районах месторождений в случае возникновения катастрофических ситуаций.*

*Water chemical composition in mining areas is constantly transforming due to migration processes between the dissolved compounds, suspended and bottom sediments. The mining impact assessment and the determination of pollutants preferential forms of transport could be used for determination of their further distribution in the river basin. The paper deals with the exploration of the chemical composition of the surface waters of mine effected river basins. The study is presented for four river basins located in different landscape and hydrogeochemical conditions, but with similar pollution characteristics and water transformation processes downstream. The possibility of using the thermodynamic model Visual MINTEQ 3.1 to predict the transformation of water quality in mining areas in the event of catastrophic situations is investigated.*

### **Введение.**

Химический состав поверхностных вод в районе разработок полезных ископаемых – одна из наиболее важных и репрезентативных характеристик, показывающая влияние предприятия на окружающую среду. Воздействие оказывается как прямым – непосредственные сбросы сточных или дренажных вод или вод илоотстойников, так и косвенным, выражающимся в накоплении токсичных веществ в отвалах или отложениях техногенных илов, которые, затем, постепенно высвобождаются в результате процессов эрозии или миграции поллютантов в различных формах транспорта. Современные методы мониторинга, недостаточно эффективны, поскольку рассматривают, в основном, перенос веществ в составе водных растворов, а также их накопление в донных отложениях. При этом часто рассматриваются только отдельные концентрации вещества в отрыве от гидрологических условий и гидрохимического фона. Концентрации поллютантов значительно возрастают при прохождении паводков или при мобилизации микроэлементов в результате резкого изменения pH среды, например, при залповом сбросе дренажных шахтных вод. Также, значительная часть загрязняющих веществ мигрирует в речном бассейне в составе крупных и особенно мелких частиц взвеси. Сток наносов практически не учитывается при мониторинге.

Токсичные вещества, распространяясь ниже по течению, аккумулируются в пределах геохимических барьеров. Накопление и захоранивание в донных отложениях не приводит к выводу веществ из речной системы. В случае возникновения русловых деформаций или резкого изменения гидрохимического фона интенсивность миграции веществ резко возрастает.

Косвенным фактором, характеризующим наличие загрязнения вод, является повышенная мутность, шлейфы которой хорошо детектируются и показывают участок преимущественного влияния разработок на качество вод. В бассейнах рек Амура и Селенги шлейф мутности, ниже участков разработки может достигать 50-70км [1]. В районах добычи полезных ископаемых наиболее часто наблюдаются превышения концентраций следующих элементов: В; V; Cr; Mn; Fe; Co; Ni; Cu; Zn; As; Mo; Ag; Cd; Pb; Bi; Th; U; W; Al; Hg; Se [2]. Они поступают на поверхность

водосбора, в системы прудов илоотстойников или же напрямую в водные объекты. Взаимодействие между формами транспорта элементов выражается в виде ионного обмена, физической адсорбции и хемосорбции [3]. Эти процессы контролируются кислотностью среды, концентрацией химических веществ и концентрацией взвеси на которой идет сорбция [4]. Взвесь разного генезиса может сорбировать ионы микроэлементов с различной скоростью. Кроме того в водоёмах с высоким содержанием органического вещества происходит формирование органоминеральных комплексов. Поллютанты остаются биодоступными, что приводит к их накоплению в живых организмах.

#### **Материалы и методы.**

В работе рассматриваются результаты комплексных гидролого-гидрохимических исследований в бассейнах рек Юкспоррйок и Белая (Мурманская обл., Хибинский горный массив), где ведётся добыча апатит-нефелиновых руд, а также Туул, где ведётся добыча золота, и Тугнуй (север Монголии и юг республики Бурятия, бассейн р. Селенга), где ведётся добыча каменного угля. Бассейны различаются по своему геологическому строению и условиям залегания пород. Разработка полезных ископаемых выполняется открытым способом, имеет схожую систему водоочистки. Бассейны хорошо освещены данными гидрохимических наблюдений. В полевых условиях были определены pH, Eh, DOC, мутность и расходы воды, получены данные о геологическом строении и гидро-геохимической среде. Методом ICP-MS определялись концентрации 72 химических элементов. Далее, работы проводились с 22 химическими элементами, наиболее часто встречающимися в районах добычи полезных ископаемых. Пробоотбор производился в маловодные и многоводные периоды года с помощью сети репрезентативных створов в различных частях бассейна.

#### **Результаты.**

Рассматриваемые бассейны рек различаются по площади. Реки Тугнуй (участок наблюдений), Юкспоррйок и Белая относятся к малым, а река и Туул к средним по площади бассейна рекам. В бассейнах Монголии и Бурятии pH вод варьирует от 7,5 на ненарушенных участках до 9,1 на нарушенных. В бассейне р. Юкспоррйок диапазон значений pH: 7 в естественных и 9-10 в нарушенных водотоках. Река Белая имеет значения около 7-7,5. На всех реках присутствуют каскады илоотстойников, которые предназначены для уменьшения мутности воды, ниже участков добычи.

Значения мутности минимальны для верховьев рек – 0,5-4,5 г/м<sup>3</sup>. Для верховьев рек Хибинского массива характерны более низкие концентрации металлов в растворённой форме, по сравнению со взвешенной. Из-за выщелачивания кристаллических пород повышены фоновые значения Mo, Be, Al [5]. В Монголии и Бурятии доля микроэлементов в ненарушенных условиях выше в растворённой форме. В бассейнах отмечаются повышенные естественные концентрации Fe, Al, а также As.

В районах разработок мутность вод может возрастать до 200 – 400 г/м<sup>3</sup>. Русла рек в районе разработок канализованны. В реку Белая непосредственного сброса сточных вод не происходит, вследствие чего мутность в ней не превышает 80 г/м<sup>3</sup>. Во всех остальных бассейнах наблюдается эффект кальматирования русла и аккумуляции наиболее крупных песчаных фракций (>0,062мм) взвеси в пределах 1000-1500м, ниже участка разработок. В результате раздробления породы взрывами, а также при промывке, образуется большое количество тонкодисперсных взвешенных частиц (0,005-0,05мм), соответствующих глинистой фракции. Эти частицы составляют от 40% (р. Тугнуй) до 80% взвешенных наносов, транспортируемых потоком. На реках расположены системы илоотстойников, которые задерживают около 50% потока наносов, однако тонкодисперсные глинистые и илистые частицы обнаруживаются ниже очистных сооружений, составляя до 90% от всех взвешенных наносов ниже очистных сооружений. Дальность распространения шлейфов мутности для рек бассейна Селенги составляет до 50 км. Взвешенные частицы транспортируют огромное количество микроэлементов – поллютантов. В результате, преобладающей формой транспорта становится взвешенная. Ниже месторождений в бассейне р. Селенга концентрации в воде Fe, Co, Cs увеличиваются на 150%. Для взвешенной формы V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Pb, Al, Cs увеличение концентраций может превышать 200%. В бассейнах рек Хибинского массива также возрастают концентрации веществ в составе взвешенных наносов. Наиболее сильно увеличиваются концентрации Mo, Zn, Be в составе взвешенных наносов – на 70-90%.



Ниже систем водоочистки промышленных предприятий во всех бассейнах фиксируется увеличение концентраций биогенных элементов и органического вещества в воде. Вещества, транспортирующиеся на взвеси, вследствие смены гидрохимических условий начинают мигрировать в водный раствор и образовывать комплексные соединения с органическим веществом. Этим можно объяснить, например, повышенные концентрации  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , на участке, ниже месторождения на р. Туул.

Для оценки интенсивности протекания процессов миграции поллютантов в разных формах транспорта были посчитаны коэффициент  $K_d$ , как отношение содержания взвешенных частиц в единице объема (мкг/л) к содержанию растворенных форм в единице объема (мкг/л), и коэффициент обогащения (Ef), показывающий отличие содержания микроэлемента в наносах от содержания микроэлемента в составе пород, слагающих бассейн, путем нормирования химического состава наносов на содержание опорного элемента, нейтрального к биохимическим процессам (Sc). Для каждого из рассматриваемых элементов были получены среднесезонные распределения  $K_d$  и Ef. Было произведено сравнение получившихся величин для нарушенных и ненарушенных водотоков бассейнов.

Также, оценка изменения химического состава вод выполнялась с помощью реакторной термодинамической гетерофазной модели Visual MINTEQ 3.1 [6]. Она опирается на метод баланса химических соединений, а также на вычисление констант химического равновесия. В модели присутствуют модули SHM (учитывается комплексообразование химических элементов с органическими кислотами) и учитывается поверхностное комплексообразование на частицах  $(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , повышающее точность расчётов для сложных геохимических условий.

Расчёт концентраций микроэлементов и сценарные расчёты выполнены для Al, As, Cu, Fe, Mo, Zn, поскольку данные элементы наиболее точно воспроизводятся моделью. В результате, для различных величин pH выявлено расположения равновесных точек, при которых данные веществ переходят из растворённой формы миграции во взвешенную и наоборот. Полученные результаты позволяют выявить условия, способствующие интенсификации поступления поллютантов из частиц взвешенных наносов или из донных отложений в водный раствор.

#### **Заключение.**

На основании результатов экспедиционных исследований можно сделать вывод об определяющем воздействии антропогенной деятельности на качество поверхностных вод. Основная трансформация качества вод происходит на участке 300-1500 м ниже поступления сточных вод и в илоотстойниках на территории разработок. Концентрации элементов-поллютантов могут возрастать более чем на 200%. Взвешенные частицы, содержащиеся в пробах, отобранных ниже разработок, имеют характерные размеры 0,005-0,01 мм (до 90% всех взвешенных наносов) и соответствуют глинистой фракции, наиболее интенсивно участвующей в химических реакциях, что способствует активному протеканию сорбционных процессов и аккумуляции поллютантов в пределах 5-20 км ниже разработок в донных отложениях. Очень высокая мутность вод в сочетании с легко размываемыми донными отложениями рек приводит к постоянному перераспределению форм транспорта микроэлементов. В русле рек, ниже разработок, практически полностью отсутствуют живые организмы. В некоторых рассмотренных водотоках наблюдалось кальматирование русла. В рассмотренных в работе водоёмах очистки не происходит полная очистка вод от взвеси, что приводит к поступлению загрязнения в естественные водные объекты.

Полученные данные позволяют определить дальность распространения влияния разработок, оценить сток химических веществ и создать базу для разработки сценарных расчётов трансформации качества вод.

#### **Литература**

1. Школьный Д. И., Чалов С. Р., Ефимов В. А. //Инвентаризация россыпных разработок благородных металлов в бассейнах рек Дальнего Востока РФ: географическое распространение и воздействие на русловые системы // Современные проблемы географии и геологии: Материалы IV Всероссийской науч.-практ. конференции с международным участием. — Т. 1. — Томский государственный университет Томск, 2017. — С. 410–414.
2. Hudson-Edwards K.A //Sources, mineralogy, chemistry and fate of heavy metal-bearing particles in mining affected river systems. 2003 Miner Mag 67:205–217.

3. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. ЦентрЛитНефтеГаз, 2012
4. Папина Т.С. //Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах, СО РАН, Новосибирск, 2001, 3-88 с.
5. Сулименко Л.П., Кошкина Л.Б., Мингалева Т.А., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. //Исследование миграции молибдена в водных средах ландшафтовХибинского массива с целью разработки природоохранных мероприятий// Вестник МГТУ, том 18, № 2, 2015 г. стр. 345-355
6. Gustafsson JP (2010) Visual MINTEQ, version 3.0: a window version of MINTEQA2, version 4.0. <http://www.lwr.kth.se/english/OurSoftware/Vminteq>

*Экспедиционные исследования и обработка результатов для бассейнов рек Тугнуй и Туул выполнены при поддержке проекта РФФИ №17-05-41024-РГО. Экспедиционные исследования и обработка результатов для бассейнов рек Белая и Юкспоррыок выполнены при поддержке проекта РФФИ №14- 17-00155.*

*Expeditionary research and processing of results for the Tugnui and Tuul river basins were carried out with the support of the RFBR project No. 17-05-41024-RGO. Expeditionary research and processing of results for the Belaya and Yuksporryok river basins was carried out with the support of the project of the Russian Science Foundation No. 14-17-00155.*

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД БАСЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ: СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Л.Е. Ефимова<sup>1</sup>, канд.геогр.наук, В.А. Ефимов<sup>1</sup>, С.Р. Чалов<sup>1</sup>, канд.геогр.наук

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

## CHEMICAL COMPOSITION OF WATER OF WESTERN DVINA RIVER: SEASONAL FEATURES

L.E. Efimova<sup>1</sup>, Cand.Sc., V.A. Efimov<sup>1</sup>, S.R. Chalov<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

*Рассмотрена сезонная изменчивость химического состава вод разного генезиса в бассейне Зап. Двины. Показана определяющая роль ландшафтных условий водосбора и типа питания водных объектов в формировании качества воды.*

*The study is devoted to exploration of seasonal water chemical composition variability of different genesis in the Western Dvina basin. The main role of landscape conditions of river catchment and type of water supply to water bodies, in water quality formation is shown.*

Западная Двина – трансграничная река, гидрохимический режим и качество ее вод определяется целым комплексом факторов, каждый из которых вносит свой вклад в разных частях бассейна реки. Ландшафтные особенности верхнего (российского) участка водосбора обусловили повышенное содержание в воде биогенных и органических веществ природного происхождения. Влияние антропогенного фактора на рассматриваемой территории в предшествующий период заметно снизилось в связи со спадом промышленного производства. Основными источниками загрязнения вод остаются недостаточно очищенные коммунально-бытовые стоки и диффузионный поверхностный сток с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий. В настоящее время постепенное восстановление производства, развитие фермерских комплексов в верховьях реки и в бассейнах ее притоков, скорее всего, приведет к увеличению биогенной нагрузки на водоемы. Поэтому важно оценить современное экологическое состояние водных объектов бассейна.

Цель исследования – рассмотреть сезонную изменчивость гидрохимических показателей в водах разного генезиса в бассейне Западной Двины.

В основе работы лежат натурные данные о химическом составе воды. В образцах были определены электропроводность и рН воды, концентрация главных ионов, кремния, минерального и общего, а также косвенные показатели содержания в воде органических веществ (цветность, перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК)). Содержание главных ионов определено методами жидкостной хроматографии и капиллярного электрофореза, используемыми в гидрохимии пресных вод. Анализ содержания кремния, валового и минерального фосфора производилось спектрофотометрическим методом согласно [1]. Анализ соединений фосфора был выполнен в фильтрованных и в не фильтрованных образцах. Суммарное количество минеральных и органических форм фосфора понималось под термином "общий" или "валовый".

Полигон исследования расположен в Тверской и Смоленской областях, в нижней части бассейна Зап. Двины на территории РФ. Исследованные водные объекты: р. Западная Двина (на участке от г. Зап. Двина до границы с Белоруссией), реки Межа, Торопа, Велеса, малые водотоки в бассейне реки. Отбор проб производился в разные гидрологические сезоны 2017-2018 гг. (в зимнюю межень, в половодье, в летне-осенний период).

Определяющими факторами сезонной изменчивости химического состава воды на рассматриваемой территории являются ландшафтные условия водосбора и тип питания водных объектов. Влияние этих факторов лучше всего прослеживается на примере малых притоков Западной Двины с площадью водосбора менее 2000 км<sup>2</sup>.

Поверхностные воды бассейна Западной Двины имеют малую и среднюю минерализацию (до 500 мг/л), относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Во время зимней межени минерализация водотоков максимальна и связана с большой долей в их питании грунтовых вод.

Минимальные величины минерализации фиксируются при прохождении половодья, когда меняется генезис источников питания (рис. 1).

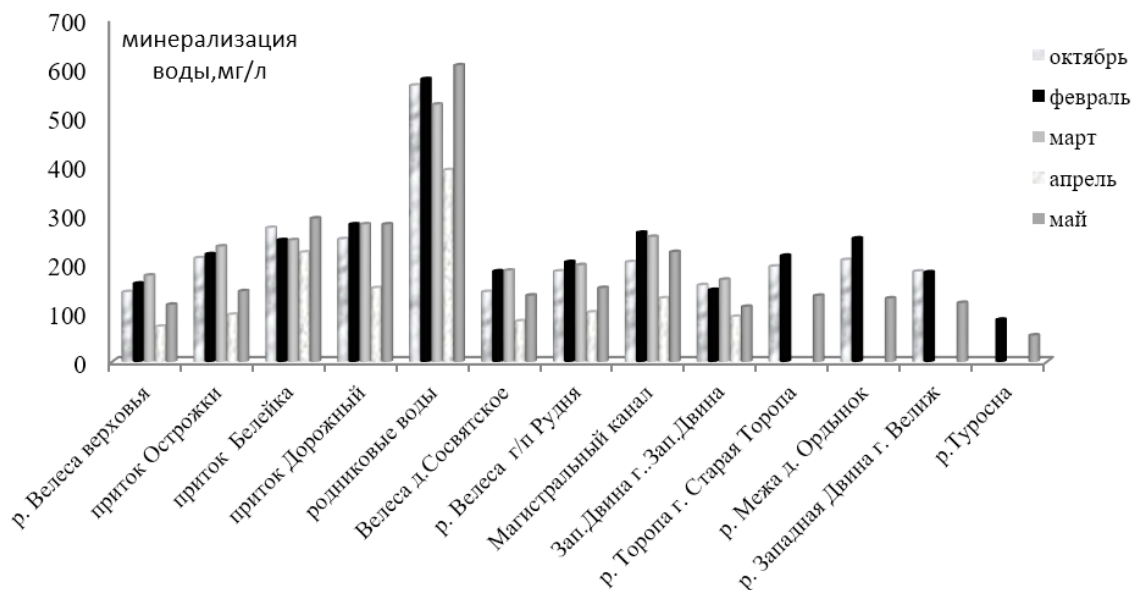


Рис. 1. Сезонная изменчивость минерализации воды исследованных водных объектов бассейна Западной Двины

Территория полигона исследований характеризуется высокой озерностью и заболоченностью, ее мозаичный ландшафтный покров способствует выравниванию не только водного стока, но и значений гидрохимических показателей. Половодье 2018 г. было непродолжительным и невысоким. Наибольшая изменчивость минерализации и ионов солевого состава отмечена в р. Велеса. Генезис притоков р. Велеса различен: воды р. Туросна питаются озерными и болотными водами, р. Белейка, руч. Дорожный и ряд других малых водотоков имеют большую долю грунтового питания. В них заметные изменения показателей ионного состава прослеживаются только в период весеннего половодья.

Малые водотоки, дренирующие заболоченную территорию (р. Туросна, руч. Острожки), мало минерализованы и несут в своих водах больше органических веществ, чем более крупные водотоки. Линейный вид и тесный характер связи между цветностью и перманганатной окисляемостью указывает на то, что в обследованных водах присутствуют, главным образом, трудноокисляемые биохимически органические вещества, поэтому для малых водотоков, дренирующих заболоченные территории, характерна максимальная (в течение всего года) цветность воды, достигающая 120-150°. Данные, полученные для разных сезонов года, свидетельствуют о том, что содержание органических веществ увеличивается в весенний и осенний периоды по сравнению с зимней меженью. Отношение ПО/ХПК максимально в периоды повышенной водности. В отличие от главных ионов и минерализации, для которых характерна обратная связь с водностью, сток органических веществ, как правило, прямо пропорционален водности периода. При повышенном стоке происходит наиболее интенсивный смыв органических веществ с водосбора, но связь между показателями не всегда бывает однозначной [2]. Доля ПО во все сезоны минимальна в воде притоков с повышенной минерализацией, питающихся подземными водами (30-35 % величины ХПК), максимальна – в притоках с преобладанием поверхностного питания, дренирующих заболоченные территории (до 80 % величины ХПК).

Содержание биогенных элементов в водах исследованных водных объектов в современный период связано с природными факторами. В первую очередь это относится к сезонным вариациям концентраций кремния в речных водах, которые коррелируют с изменениями минерализации.

Важнейший гидроэкологический показатель – содержание фосфора. Его минеральная форма преобладает в водах бассейна в меженные периоды, достигая максимума зимой. Контрастность концентраций минерального и общего фосфора максимальна при прохождении половодья (рис. 2).

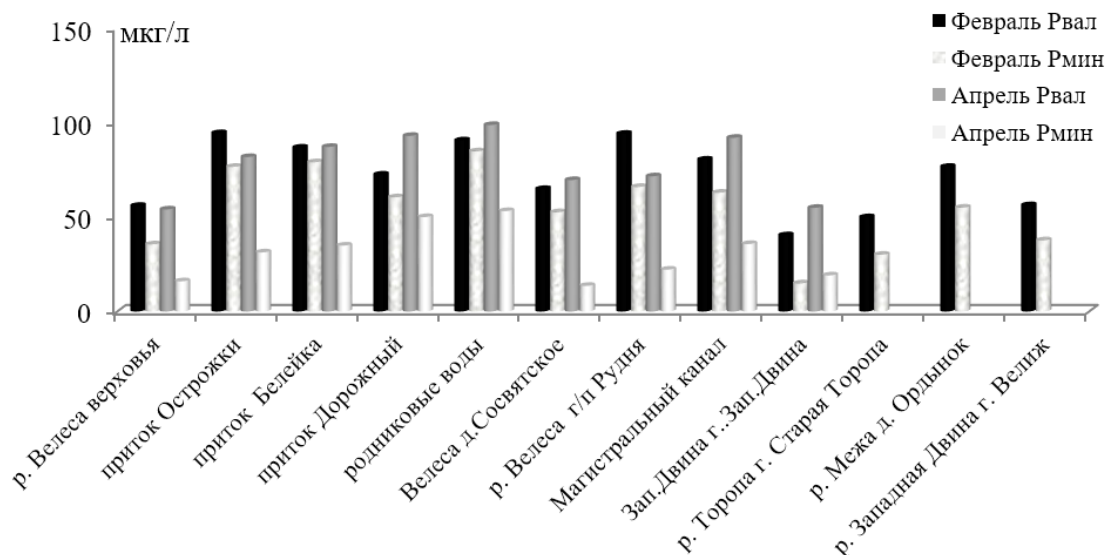


Рис. 2. Сезонная изменчивость общего и минерального фосфора в водах исследованных водных объектов (бассейн Западной Двины)

Склоново-поверхностный и почвенно-поверхностный сток содержит весной большое количество органического фосфора, который поступает в реку и ее притоки как во взвешенной, так и в растворенной форме. Определенную роль в поступлении соединений фосфора играет распаханность территории, поскольку при распахке возрастает доля подвижных минеральных форм фосфора в первичной гидрографической сети, увеличивается вынос фосфора в водные объекты в легко доступной для водных организмов минеральной форме. Исследование показало, что в половодье доля органического фосфора составляет от 60 до 70% общего фосфора, что более, чем в два раза превышает его относительную концентрацию в меженный период. Весной как минеральный, так и органический фосфор, представлены взвешенными формами, доля которых в среднем составляет около 70%. Исключение составляют притоки с преимущественно подземным питанием.

#### Выводы.

Ландшафтные особенности территории приводят к повышенным концентрациям в речных водах биогенных и органических веществ природного происхождения, которые, однако, не превышают региональный фон. Наибольшая сезонная контрастность характерна для соединений фосфора, цветности воды, ХПК. Полученные связи между гидрохимическими показателями могут быть полезны при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты и региональных нормативов качества воды. Продолжение исследований позволит при увеличении антропогенной нагрузки в бассейне Зап. Двины оценить превышение химических показателей над природным фоном, определить их антропогенную составляющую.

#### Литература

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике. Под ред. П.А.Лозовика, Н.А.Ефременко. СПб.:Нестор-История, 2017. 272 с.
2. Sokolov D. I., Erina O. Dissolved organic matter in the river waters of moscow's water supply sources: The effect of reservoirs // Dissolved Organic Matter (DOM): Properties, Applications and Behavior. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S. (Editors). Nova Science Publishers. Inc. United States. New York. 2017. P. 81–114.

*Исследования поддержаны проектом «Управление трансграничными реками между Украиной, Россией и ЕС – определение научно обоснованных целей и содействие трехстороннему диалогу и сотрудничеству (ManTra-Rivers)».*

*The research was supported by the project “Management of Transboundary Rivers between Ukraine, Russia and the EU - setting scientifically based goals and promoting tripartite dialogue and cooperation (ManTra-Rivers)”.*

## МЕЛИОРАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ РАЗЛИЧНОЙ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЦЕННОСТИ

В.А. Жигульский<sup>1</sup>, Е.Ю. Максимова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО "Эко-Экспресс-Сервис", Санкт-Петербург, Россия

## RECLAMATION OF DISTURBED UNDERWATER LANDSCAPES WITH VARIOUS FISHERY VALUE

V.A. Zhigulsky<sup>1</sup>, E.Yu. Maksimova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>"Eco-Express-Service" LLC, St. Petersburg, Russia

*Представлен системный подход к рекультивации подводных месторождений песка с восстановлением нарушенных ландшафтов и биоразнообразия и рыбохозяйственной ценности нарушенных биотопов.*

*A system approach to the reclamation of underwater sand deposits with restoration of disturbed landscapes, biodiversity and fishery value of disturbed biotopes is presented.*

Невская губа и р. Нева, начиная от прибрежий всех её рукавов и заканчивая её истоком, утратили функцию естественного рыбопитомника для большинства видов промысловых рыб восточной части Финского залива, в частности для корюшки. Одной из основных причин такой утраты стала потеря нерестовых площадей. Средняя годовая продуктивность нерестилищ в Невской губе в конце XX века достигала 2 т/га, но к настоящему времени она составляет всего 0,230 т/га. На протяжении длительного времени (с конца 60-х и до конца 80-х годов прошлого столетия) уловы рыбы в восточной части Финского залива находились на высоком уровне и обычно превышали 20-25 тыс. т в год, достигая в отдельные годы 36,6 тыс. т. по данным Л.А. Кудерского). Однако в течение 90-х годов XX столетия и первых лет текущего десятилетия добыча промысловых рыб в заливе резко сократилась и, например, в 2003 г. оказалась равной менее 6 тыс. т, а в 2013 году снизилась до 2,8 тыс. т (по данным А.С. Шурухина и др.).

Акватория Финского залива — это район с высокой антропогенной нагрузкой. В связи с этим на состояние рыбных запасов, кроме циклически изменяющихся природных факторов (температурный режим, продолжительность вегетационного периода, водность года, солёность, кормовая база и др.), существенное влияние оказывают гидротехнические работы. Наиболее масштабные гидротехнические работы проводятся в прибрежной и мелководной части Финского залива, где и располагаются нерестилища, места нагула молоди, а также рыбопромысловые участки. Масштабные дноуглубительные работы в акватории Невской губы привели к такой тревожной статистике. Снижается содержание растворенного кислорода, повышается содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов, обширные области дна покрыты слоем глинистой субстанции и лишены кормовых запасов, засыпаны подводные карьеры, ранее использовавшиеся рыбами в качестве зимовальных ям; исчезновение водной растительности на мелководьях приводит к утрате нерестового субстрата для многих видов рыб, уменьшается количество каменистых и песчаных грунтов, необходимых для других видов. Таким образом, происходит перестройка всей экосистемы, в том числе и рыбной части сообщества. В результате чего мы рискуем получить в пределах городской территории водоем с мертвой, гниющей водой, лишенный рыбы и растительности.

Кроме того, размеры нерестилищ в настоящее время значительно сократились и за счёт намыва, что уменьшает площади зарослей высшей водной растительности, и в результате подводной добычи песка, используемого для намыва новых территорий. На шельфе Балтийского моря состоят на Государственном балансе (или выведены за него) 17 месторождений песков и песчано-гравийных смесей с общим запасом породы более 150 млн м<sup>3</sup>. В настоящее время разрабатывается 6 месторождений (рис. 1).

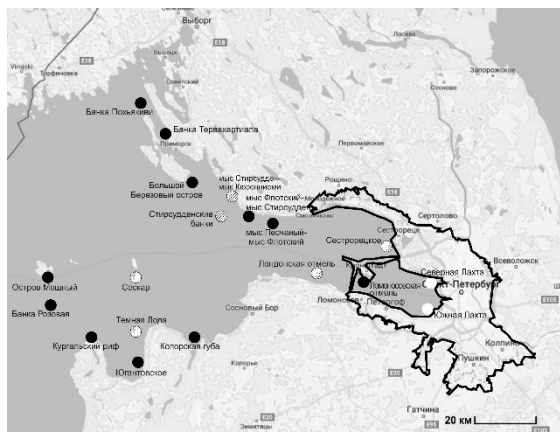


Рис. 1. Месторождения песков в Восточной части Финского залива (штриховкой обозначены месторождения, которые разрабатываются в настоящее время, черным – не разрабатываются, белым – выработанные месторождения)

За счёт изъятия песка с мелководий глубиной 2 м, образуются многочисленные ямы (линзы) с глубинами до 20 м, напоминающие каверны на плоской поверхности. Наиболее ярким примером является выработанное месторождение песков в районе Северной Лахты. Рельеф и осадочный покров дна в районе Северной Лахты полностью трансформированы техногенными процессами. После подводной добычи песка здесь образовались котлованы глубиной до 10-12 м и останцы песчаной толщи. В соответствии с Методикой исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам (Приказ Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166), потери водных биологических ресурсов вследствие утраты нерестилищ на площади, соизмеримой с площадью котлованов Северной Лахты, оцениваются приблизительно в 20 млн руб. в год.

В результате, локальное изменение рельефа дна повлияло на изменение гидрологического и гидрохимического режимов, существенно изменились условия обитания водных организмов. Такого рода ямы на мелководьях представляют собой безжизненное пространство мало пригодное для обитания молоди водной биоты, где заметное уменьшение скорости течения и, соответственно, снижение транспортирующей способности потока, способствует активному перехвату и накоплению взвешенных веществ, транспортируемых водами рек Малая Нева и Большая Нева. В первую очередь это касается седиментации наилка и алевритов, повышения концентрации в ямах токсичных веществ (органики, тяжёлых металлов и нефтепродуктов). Ответная реакция организмов - численность и биомасса рыб, обитающих в Невской губе, по северному и южному побережьям снизилась в несколько раз.

С целью ограничения негативного воздействия гидротехнических работ на биоту и обеспечения условий нереста и нагула корюшки и других промысловых рыб, а в конечном итоге – восстановления запасов рыб восточной части Финского залива, воспроизводство которых осуществляется в Невской губе, должны быть предусмотрены природоохранные мероприятия. В качестве первоочередных природоохранных мероприятий, обеспечивающих сохранение и восстановление нерестилищ и увеличивающих эффективность воспроизводства рыб, предлагается рыбохозяйственная мелиорация подводных карьеров в районе Северной Лахтинской отмели - комплекс мероприятий по улучшению показателей гидрологического, гидрогеохимического, экологического состояния водных объектов в целях создания условий для сохранения и рационального использования водных биологических ресурсов, а также обеспечения производства продукции аквакультуры.

Специалистами компании "Эко-Экспресс-Сервис" разработан системный подход к решению проблемы рекультивации выработанных подводных карьеров, обеспечивающий решение сразу трёх важнейших природоохранных задач:

- рекультивацию выработанных подводных месторождений песка и песчано-гравийной смеси с восстановлением нарушенных подводных ландшафтов;
- использование грунтов с наименьшей нагрузкой на морскую среду;



- восстановление биоразнообразия и рыбохозяйственной ценности биотопов, нарушенных при разработке месторождений песка и песчано-гравийной смеси.

В рамках системного подхода разработаны 3 типовые программы – выбор соответствующей программы зависит от условий расположения и ценности ландшафтов и биотопов, нарушенных при разработке месторождения.

Таблица 1. Типовые рекультивационные программы

Особенности нарушенных экосистем	Восстановление макрорельефа дна	Формирование приповерхностного грунтового слоя	Создание поверхностной нерестовой инфраструктуры	Восстановление зарослевых экосистем
<b>Программа №1. Выравнивание рельефа дна с использованием малоценных субстратов</b>				
Выработанные глубоководные отвалы; Глубокие котлованы; Большое удаление от берега; Отсутствие сильных течений; Практическое отсутствие донной макробиоты; Отсутствие рыбохозяйственной ценности; Придонная гипоксия.	Допустимо заполнение котлованов любыми чистыми грунтами, кроме глин (включая илы глинистые текучие). Возможно использование привозных нетоксичных материалов.	Не требуется.	Не требуется.	Не требуется.
<b>Программа №2. Рекультивация биотопов средней ценности</b>				
Относительная удалённость от берега; Умеренные глубины; Эврибионтность биоты; Отсутствие нерестово-вырастных участков рыб (нагульные площади).	Допустимо использование песков пылеватых средней плотности, слабо и умеренно заиленных.	Структура и состав грунтов для формирования приповерхностного слоя – согласно фоновым условиям и требованиям доминирующих видов рыб к нагульным биотопам.	Не требуется.	Как правило, не требуется.
<b>Программа №3. Воссоздание ценных биотопов</b>				
Близость к берегу; Небольшие глубины; Значительные скорости течений; Высокое биоразнообразие; Высокая рыбохозяйственная ценность (нерестово-вырастные участки рыб); Высокая доля стенобионтных гидробионтов; Большая рекреационная ценность.	Закладка песка чистого (слабозаиленного – только с применением геотуб). При необходимости – берегоукрепление.	В зависимости от нерестовых потребностей видов рыб, нерестилища которых пострадали при разработке месторождения (чистые пески средней крупности и крупные, средней плотности; предпочтительно с морских месторождений). По необходимости – монтаж приповерхностного слоя на георешётки.	На поверхности монтируются нерестовые конструкции из синтетических материалов (искусственные нерестилища, донные нерестовые гнёзда).	Целесообразность и специфика восстановительных мероприятий определяется с учётом результатов реализации научно-исследовательской программы "Эко-Экспресс-Сервис" по изучению реакции зарослевых экосистем на гидротехнические работы.

Первая программа ориентирована на выравнивание нарушенного макрорельефа дна. При реализации этой программы достигаются следующие результаты:

- выравнивание макрорельефа дна;
- снижение осадконакопления;
- компактный сброс в подводный карьер с локализацией замутнения вод его откосами;
- предотвращение механического воздействия на кормовую базу рыб и искусственных заморов;
- снижение риска эвтрофирования.

Учитывая мелководность акватории, интенсивное ветровое перемешивание, создающее повышенный фон мутности, рекомендуется в период заполнения котлованов грунтами применять новейшие технологии производства работ, препятствующие переходу во взвесь значительного объема сбрасываемого грунта; после заполнения котлованов сформировать поверхность, которая в последующем не будет размываться; а также для формирования поверхности дна использовать грунт, соответствующий санитарным нормам, принятым для рыбохозяйственных водоемов. Кроме того, засыпка котлованов с последующим восстановлением рельефа должна быть выполнена в максимально короткие сроки, исключая период нереста весенненерестующих рыб (с распада льда до середины июня) и нерестовых миграций осенненерестующих лососевых (с сентября-до ледостава).

Вторая программа нацелена на рекультивацию биотопов средней ценности, ранее использованных рыбами только для нагула. Целью третьей программы является воссоздание наиболее ценных нарушенных биотопов, служивших ранее нерестово-выростными участками рыб. Особое внимание необходимо обращать на технологии и материалы формирования приповерхностного слоя в Программах 2 и 3, в связи с тем, что это обусловлено соответствующими требованиями водной биоты.

Каждая из программ включает этапы инженерно-экологических изысканий, рекультивационных мероприятий и последующего локального экологического мониторинга, контролирующего успех выполненной рекультивации.

Таким образом, основным результатом проведения рекультивации подводных карьеров в районе Северной Лахтинской отмели является создание биотопа с исходными гидрологическими характеристиками, создающими предпосылки для восстановления естественного воспроизводства и нагула рыб на данной акватории. При этом ожидаемый эффект заключается в повышении эффективности воспроизводства рыб и естественной продуктивности данной акватории.

В связи с вышеперечисленным, данная работа является одним из компонентов в осуществлении комплекса мероприятий, направленных на сохранение и воспроизводство рыбных запасов восточной части Финского залива.

Данная работа может впоследствии лечь в основу концепции адаптивного управления качеством морской среды, основные принципы которой следующие:

1. системный подход к решению сразу нескольких важнейших природоохранных задач: восстановление морских ландшафтов и водных биоресурсов.
2. балансовый макромасштабный подход к регулированию донного рельефа.
3. блочно-модульный подход к рекультивации нарушенных морских биотопов: базовый модуль – восстановление ландшафтов, дополнительно трофический модуль – восстановление кормовой базы рыб, и дополнительно нерестовый модуль – восстановление нерестилищ.

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Г.В. Заболотников<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Россия

## NEW APPROACHES TO SECURITY OF AUTOMOBILE MOVEMENT IN ADVERSE WEATHER CONDITIONS

G.V. Zabolotnikov<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia

*В докладе представлены новые подходы к решению актуальной проблемы повышения безопасности автомобильного транспорта на основе реализации современных технологий сбора, обработки и доведения непосредственно до водителей транспортных средств оперативной информации об опасных метеорологических условиях дорожного движения по маршруту следования.*

*The report presents new approaches to the solution of the urgent problem of improving the safety of motor transport on the basis of the implementation of modern technologies for collecting, processing and bringing directly to vehicle drivers operational information on hazardous meteorological conditions of the road along the route.*

Современный подход к решению актуальной проблемы повышения безопасности движения по автомагистралям в неблагоприятных погодных условиях заключается в создании автоматизированной системы метеорологического обеспечения (АСМО) на основе реализации современных технологий сбора, обработки и доведения непосредственно до водителей транспортных средств (ТС) результатов мониторинга дорожной обстановки.

Недостатком реализуемых в настоящее время подходов к специализированному метеорологическому обеспечению (ГМО) автомобильного транспорта является:

- Ограниченное использование потенциальных возможностей современных средств мониторинга погодных условий. АСМО в современном виде преимущественно ориентировано в направлении оптимизации работ дорожных служб при зимнем содержании автомобильных дорог. [1, 2, 3]

- Недостаточное внимание к такому направлению развития АСМО, как своевременное информирование участников и органов управления дорожным движением о возникновении типичных для теплого сезона года, как периода с повышенным количеством ДТП, опасных явлений погоды в целях принятия превентивных мер по обеспечению безопасности движения.

- Ограниченное использование в задачах ГМО автомобильного транспорта современных технологий получения метеорологической информации посредством метеорологических радиолокаторов (МРЛ).

Перспективным направлением развития АСМО, является решение проблем связанных с доведением в режиме реального времени оперативной информации о неблагоприятных погодных условиях по маршруту движения непосредственно до водителей ТС, а так же органов управления автомобильным трафиком, в том числе на основе использования технологий сверхкраткосрочного прогнозирования опасных явлений погоды.

Актуальность направления совершенствования системы специализированного ГМО автотранспорта именно в летний период подтверждается выявленной авторами [4] зависимости, заключающейся в большом летнем максимуме и большом зимним минимуме повторяемости дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Одной из причин роста количества ДТП в летний период является воздействие на безопасность функционирования автотранспорта опасных явлений погоды, характерных для теплого периода года. Среди опасных явлений погоды, характерных для теплого периода года, особую роль играют ливневые осадки, в первую очередь такой параметр как интенсивность [5].

Главные факторы риска, обусловленные ливневыми осадками применительно движению по автомагистралям, заключаются в следующем:

1. Значительное снижение видимости пути из салона автомобиля вплоть до нескольких десятков метров [6], в том числе вследствие эффекта "заливания" лобового стекла.

2. Значительное уменьшение коэффициента сцепления дорожного покрытия, увеличивающее тормозной путь и негативно сказывающегося на управляемости автомобиля.

3. Увеличение риска полной потери управления автомобилем вследствие возникновения эффекта аквапланирования (глиссирования).

Как показывают расчеты и экспериментальные наблюдения [7], на гладких покрытиях динамическое глиссирование может возникать при глубине слоя воды или слякоти всего лишь в 2 мм – 3 мм. При толщине слоя свыше 10 мм, как правило, его уже нельзя избежать.

Физическая сущность динамического глиссирования состоит в том, что при движении колеса ТС по поверхности автомобильной дороги в условиях наличия на ней сплошного слоя жидкости глубиной не менее критической величины  $h_{кр}$  под автомобильной шиной возникает головная волна, оказывающая гидродинамическое давление на пневматику с увеличением скорости движения ТС (например, при разгоне автомобиля) гидродинамическое давление возрастает и при определенной скорости, называемой критической скоростью глиссирования  $V_{гл}$ , вертикальная составляющая давления сравнивается по величине с вертикальной нагрузкой на колеса. С этого момента колеса как бы "всплывают" и начинают скользить по слою жидкости. Отмечено, что рассматриваемый вид глиссирования может возникать в условиях, когда скорость движения ТС  $V_{ТС} > V_{гл}$ . Исследованиями установлено, что на возникновение динамического глиссирования наибольшее влияние оказывают такие факторы, как глубина слоя и плотность жидкости, давление в пневматиках колес, рисунок и степень износа протекторов покрышки, а также структура поверхности покрытия [7]. С учетом поддержания оптимального значения давления в автошинах, рекомендованного производителем ТС, определяющими факторами возникновения эффекта аквапланирования являются скорость движения автомобиля и толщина слоя воды на поверхности автомагистрали.

С точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения необходимо отметить, что адекватная скорость движения – это единственный фактор, который позволяет в конкретных погодных условиях избежать неуправляемого "скольжения" автомобиля по дороге под воздействием аквапланирования. Для этого необходимо чтобы водитель ТС в интенсивном дожде объективно оценивал дорожную обстановку и своевременно снижал скорость до безопасной.

Одним из направлений совершенствования АСМО с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения в летний период является разработка и внедрение системы мониторинга ливневых осадков на автомагистралях.

Ливневые осадки, как опасное метеорологическое явление летнего периода, являются продуктом развития мощных конвективных облаков и отличаются высокой интенсивностью (нередко до 100 мм/ч). При этом даже в регионах с относительно низкой активностью грозовой деятельности в теплый период года регулярно отмечаются ливни большой интенсивности. В качестве примера, средняя интенсивность ливня, наибольшая из когда либо зафиксированных, в Ленинградской области (г. Пушкин) составила за 5 минут 3.2 мм/мин (192 мм/ч) [8].

Для ливневых осадков свойственна большая пространственно-временная изменчивость интенсивности. В частности, ливневый дождь с экстремальными значениями интенсивности имеет достаточно ограниченные площадные размеры сопоставимые с размерами конвективных ячеек. Установлено, что опасные для водителей ситуации создают ливневые ячейки диаметром порядка 2 - 4 км [2].

До настоящего времени не разработаны надежные объективные методы оперативного прогноза интенсивности ливневых осадков, применимые к задачам ГМО транспорта. Отсутствуют методики оперативного прогноза интенсивности ливневых осадков в реальном масштабе времени, соответствующих требованиям мезомасштабного сверхкраткосрочного прогнозирования с заблаговременностью от нескольких минут до 1-2 часов.

Первоочередным направлением совершенствования АСМО применительно к летнему периоду является разработка и внедрение системы мониторинга ливневых осадков на автомагистралях. Комплексное решение проблемы обеспечения безопасности автомобильного движения в условиях интенсивного ливневого дождя заключается в обеспечении водителей ТС

данными как о фактических, так и прогностических значениях видимости пути и степени скользкости поверхности автомагистрали на впереди лежащем участке маршрута.

В целях обеспечения безопасности дорожного движения по видимости в условиях интенсивного дождя в рамках существующей АСМО необходимо :

- актуализировать подсистему предупреждения водителей ТС в режиме реального времени о значительном ухудшении путевой видимости на основе типовых датчиков видимости дорожных автоматических метеорологических станций (АДМС).

- в целях информирования водителей в режиме реального времени об угрозе потери контроля управляемостью ТС вследствие значительного снижения коэффициента сцепления дорожного покрытия и возникновения эффекта глассирования на впереди лежащем участке автостреды в состав АДМС целесообразно в обязательном порядке включить датчики состояния поверхности дорожного полотна (ДСДП) с функцией дистанционного измерения толщины слоя воды на поверхности дорожного полотна.

Реализация предлагаемого подхода возможна, например, при использовании совместных решений Консорциума Интегра и ООО "ОКБ Бурстройпроект" на основе платформы "Интегра-Планета-4D" с датчиком "ДСПД" и "ДСПД-М", предназначенных для дистанционных измерений как температуры поверхности, так и толщины слоя воды, снега, льда на поверхности дорожного полотна [11].

Датчики видимости и ДСПД в составе автоматических дорожных метеостанций (АДМС) в качестве измерительной подсистемы АСМО устанавливаются на репрезентативных, наиболее проблемных участках автомагистрали.

Алгоритм обеспечения безопасности дорожного движения в условиях интенсивного дождя выглядит следующим образом.

1. Посредством типовых датчиков видимости из состава АДМС осуществляется измерение видимости в дожде на наиболее ответственных участках автомагистрали. При снижении видимости ниже установленных пороговых значений (ниже 1000 м), а так же фиксации подсистемой ДСПД и автоматическим осадкомером интенсивного дождя центральная блок АСМО осуществляет информирование водителей транспорта средств и органов управления дорожным движением.

2. Подсистема ДСПД в режиме реального времени осуществляет измерение толщины слоя воды на поверхности автомагистрали и расчет коэффициента сцепления дороги. Центральный блок АСМО обеспечивает сбор, обработку, анализ и передачу информации о значительном снижении коэффициента сцепления дороги и/или угрозе возникновения эффекта глассирования.

Доведение информации до водителей ТС об опасных условиях погодных на впереди лежащем участке автомагистрали осуществляется посредством: - динамических информационных табло дорожной обстановки, - активации динамических дорожных знаков; - использования перспективных интерактивных систем информирования водителей ТС на основе IT- технологий. Информационное табло дорожной обстановки и динамические знаки устанавливаются на расстоянии от опасного участка, обеспечивающим восприятие водителем информации об экстремальных погодных условиях и снижение скорости до безопасной.

Расчет безопасной скорости движения АСМО осуществляет по известным алгоритмам исходя из текущих значений видимости пути и коэффициента сцепления.

Вторым перспективным направлением решения рассматриваемой проблемы является разработка прогнозов nowcasting интенсивных ливневых осадков на основе данных оперативных наблюдений ДМРЛ за воздушным пространством.

К разработке прогнозов интенсивности времени начала и прекращения ливневого дождя привлекаются ДМРЛ станции, зона ответственности которых перекрывает обеспечиваемый участок автомагистрали. Повышение точности прогнозов осуществляется посредством калибровки данных ДМРЛ в режиме реального времени, а именно внесением поправочных коэффициентов в программу по сопряженным измерениям интенсивности осадков автоматическими осадкомерами, равномерно размещенных в зоне покрытия радиолокационной системы.

Интеграция возможностей автоматической информационной системы мониторинга осадков и доплеровских МРЛ по измерению интенсивности очагов ливневых дождей в зоне ответственности обладает значительным потенциалом повышения качества оперативных

прогнозов и в целом специализированного метеорологического обеспечения автомобильного транспорта. В качестве основы для реализации такого подхода могут стать функционирующие на территории мегаполиса Санкт-Петербурга ведомственной АИС "Осадки"[12] и сеть ДМРЛ.

Алгоритм разработки сверхкраткосрочных прогнозов интенсивности ливневых осадков на основе радиолокационных наблюдений заключается в следующем. ДМРЛ осуществляет мониторинг осадков в район расположения автомагистрали. При наличии в зоне ответственности очагов ливневых дождей по данным измерений автоматических осадкомеров в режиме реального времени с помощью созданных алгоритмов верифицируются результаты радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков. При калибровке измерений интенсивности осадков ДМРЛ в первую очередь используются данные текущих измерений автоматических осадкомеров, расположенных в непосредственной близости к обеспечиваемым участкам автомагистрали. В центральном блоке АИС рассчитывается время подхода к обеспечиваемому участку автомагистрали и продолжительность осадков. При превышении установленных порогов интенсивности ливневого дождя центральный блок АИС осуществляет информирование участников движения о прогнозе возникновения опасных условий движения на определенном участке автомагистрали. Методика доведения прогностической информации об опасных условиях движения в рамках функционирования АСМО аналогична выше описанным.

Таким образом, на основе интеграции возможностей описанных современных систем сбора, передачи и анализа метеорологических данных возможна реализация технологий now casting по сверхкраткосрочному прогнозированию опасных условий дорожного движения обусловленных интенсивными ливневыми осадками и предупреждения участников дорожного движения практически в режиме реального времени.

## Литература

1. Комплексный подход к метеорологическому обеспечению и зимнему содержанию дорог на его основе. Термокартирование автомобильных дорог. Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Виноградов М.А. Институт Радарной Метеорологии, СПб. Семинар-совещание «Метеорологическое обеспечение дорожного движения и зимнего содержания автомобильных дорог», Краснодар, 12-15 февраля 2007.
2. Радиолокационные метеорологические наблюдения. Том 2. Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., и др; под ред. Салонина А.С.–СПб.: Наука, 2010. В 2-х томах. 518 с.
3. Прогнозирование погодных и дорожных условий как элемент интеллектуальной транспортной системы. Клясова А.А., Магарас Ю.И., А.В. Добринский, Сайт компании Компания «Синоп» <https://synop.ru/services/> 3.03.2016
4. Статистика ДТП за 2013 г.: грустные результаты безграмотной политики. Корякин К., 17.02.2014. Сайт: Правовая защита автолюбителя. Ссылка: <http://www.vashamashina.ru/statistika-dtp-2013.html>
5. Справочная энциклопедия дорожника. Т 2 Ремонт и содержание дорог Под редакцией Васильева А.П. Информавтодор. Москва 2004. 1129 с.
6. Влияние элементов системы водитель – автомобиль – дорога – среда и безопасность дорожного движения. И.С.Степанов, Ю.Ю.Покровский, В.В.Ломакин, Ю.Г. Москалева Учебное пособие. Москва 2011
7. Математическое моделирование задач летной эксплуатации воздушных судов на взлете и посадке: монография / Кубланов М.С. - Москва: РИО МГТУ ГА, 2013. - 270 с.: ил. - ISBN 978-5-86311-908-3.
8. Физика грозы. Мучник В.М. Л.: Гидрометеиздат. 1974. 350 с.
9. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Москва. 2014. 110 с.
10. Сверхкраткосрочный прогноз интенсивности ливневых осадков в северо-западном районе Европейской территории России и Белоруссии. Мешкова А. В. Диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. ВВВАИИ. Воронеж. 2001. 134 с.
11. Датчики состояния поверхности дорожного полотна "ДСПД" и "ДСПД-М". Сайт научно-производственной компании ООО "ОКБ Бурстройпроект" [http://www.burstroy.ru/datchik/datchik\\_2.html](http://www.burstroy.ru/datchik/datchik_2.html)
12. Создание автоматизированной информационной системы учета атмосферных осадков. Михайлов Д. М., Синькевич Т. А., Пашковский Д. О. Журнал «Вода Magazine», №3 (103), март 2016, Рубрика «Техника и технологии»

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ РЕЧНОГО ПЛЮМА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

П.О. Завьялов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## INTERNAL STRUCTURE OF RIVER PLUME AS REVEALED BY HIGH RESOLUTION IN SITU MEASUREMENTS

P.O. Zavialov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*На основе гидрооптических (лидарных) и гидрофизических измерений высокого разрешения (отединицметров) описана внутренняя структура и короткопериодная изменчивость плюма, образованного стоком из лагуны Патус на шельфе Южной Бразилии.*

*An internal structure and short-period variability of Patos Lagoon plume on South Brazilian shelf is described based on optical (LiDAR) and hydrological measurements at very high spatial resolution.*

Речные плюмы, посредством которых реализуется один из основных механизмов обмена между морем и сушей, были и остаются объектом многих исследований, см., например, недавний обзор [1]. Однако, как отмечается в этом обзоре, "... хотя многие отдельные аспекты удалось прояснить, общее описание взаимодействия и относительных вкладов разных процессов перемешивания и переноса в речных плюмах пока не получено" (перевод наш). Отчасти это связано с тем, что натурных данных необходимого пространственного и временного разрешения накоплено мало.

Предлагаемая работа основана на натурных измерениях, выполненных на шельфе южной Бразилии во взвесенесущим опресненном плюме, созданном материковым стоком из крупнейшей в мире лагуны Патус. Эта лагуна собирает сток нескольких рек, который затем поступает на морской шельф через соединяющий лагуну и океан канал. Измерялись поля концентраций взвеси и растворенного органического углерода (РОУ). Для измерений использовался судовый ультрафиолетовый флуоресцентный лидар, что позволило обеспечить очень высокое пространственное разрешение (порядка 1 м) вдоль траектории судна и получить большой объем данных (всего 79387 одновременных определений взвеси и РОУ в течение 3 последовательных суток). Эти лидарные измерения были дополнены стандартными гидрологическими измерениями (ADCP, проточный и погружаемый STD) с борта судна и на установленной на период наблюдений заякоренной станции. Это позволило проследить за короткопериодной и синоптической изменчивостью структуры плюма. Разработан и применен оригинальный метод, позволяющий рассчитывать скорости выноса взвеси из плюма в окружающие морские воды на основе совместного рассмотрения изменений концентраций взвеси и РОУ. Основные показатели структуры плюма и содержания в нем растворенных и взвешенных веществ в зависимости от расстояния от устья показаны на Рис. 1. В результате данного анализа в плюме выделены 4 области, которым свойственны существенно разные динамические характеристики (Рис. 2). В районе вблизи источника (устья) наблюдается полная перемешанность водной колонны. Именно здесь отмечена наибольшая интенсивность гравитационного осаждения взвеси. Далее в «ядре» плюма (2-6 км от устья) формируется стратификация, и преобладают потери взвеси за счет турбулентного перемешивания. В третьей зоне, названной нами «внутренний плюм», интенсивность турбулентного перемешивания снижается, а плюм утоньшается. На периферии плюма («внешний плюм») концентрации терригенных взвеси и органики стабилизируются. Здесь осаждается не более 10% взвешенного вещества.

В целом, по нашим данным, вынос из плюма взвешенных веществ за счет турбулентного перемешивания превышал вынос за счет гравитационного осаждения взвеси примерно в 1.6 раза, за исключением относительно узкой области шириной около 2 км, непосредственно примыкающей к устью, в которой отмечена обратная ситуация.

Плюм энергично реагировал на ветровое воздействие в подсуточных временных масштабах, причем наивысшая корреляция между напряжением трения ветра и скоростью поверхностного течения соответствовала сдвигу около 8 часов. Прибрежный ветровой апвеллинг существенно модулировал изменчивость плюма. При смещениях плюма отмечалась генерация цугов короткопериодных (10-20 мин) внутренних волн.

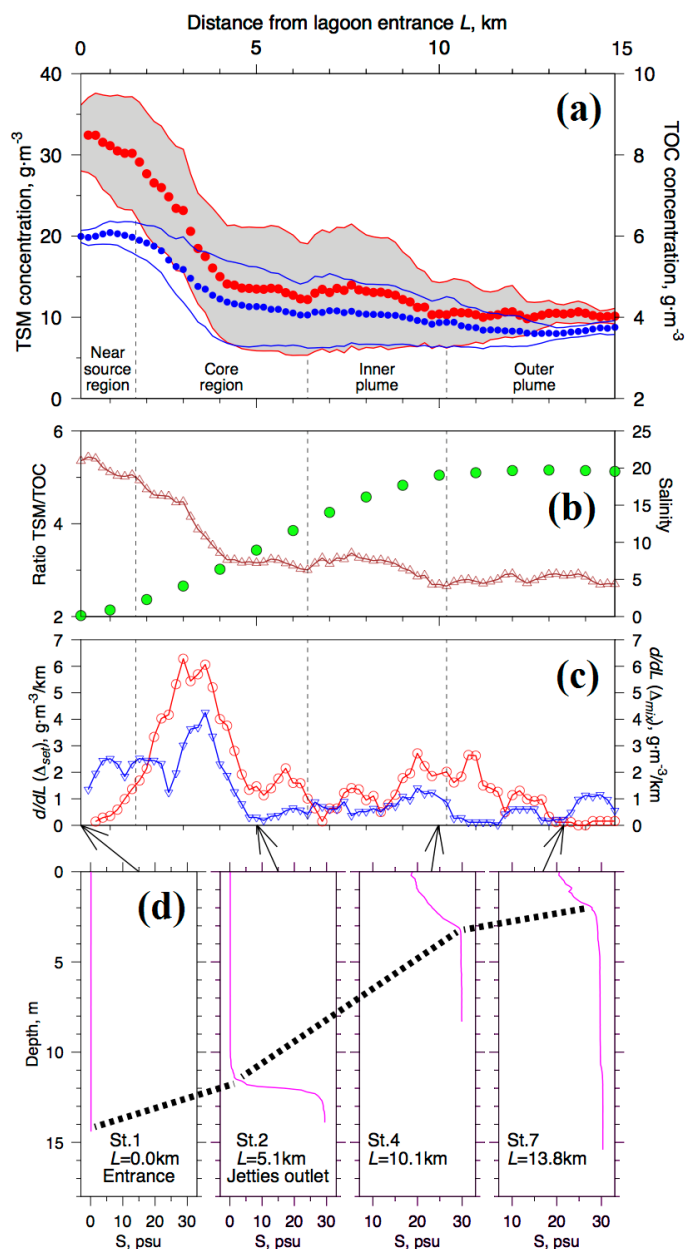


Рис. 1. (a) – Зависимости концентраций взвеси и РОУ от расстояния от устья. Интервалы вокруг точек указывают СКО; (b) – Аналогичные зависимости для отношения концентраций взвеси и РОУ (линия) и солёности (точки); (c) – Аналогичные зависимости для интенсивности выноса взвеси из плюма за счет турбулентного перемешивания (треугольники) и гравитационного осаждения (кружки); (d) – вертикальные профили солёности на разных расстояниях от устья.



По нашему мнению, подход, связанный с высокоразрешающими измерениями и совместным анализом растворенных и взвешенных трассеров, является перспективным средством исследования различных аспектов динамики материковых плумов в море. Более подробно методические аспекты таких измерений изложены в нашей статье [2].

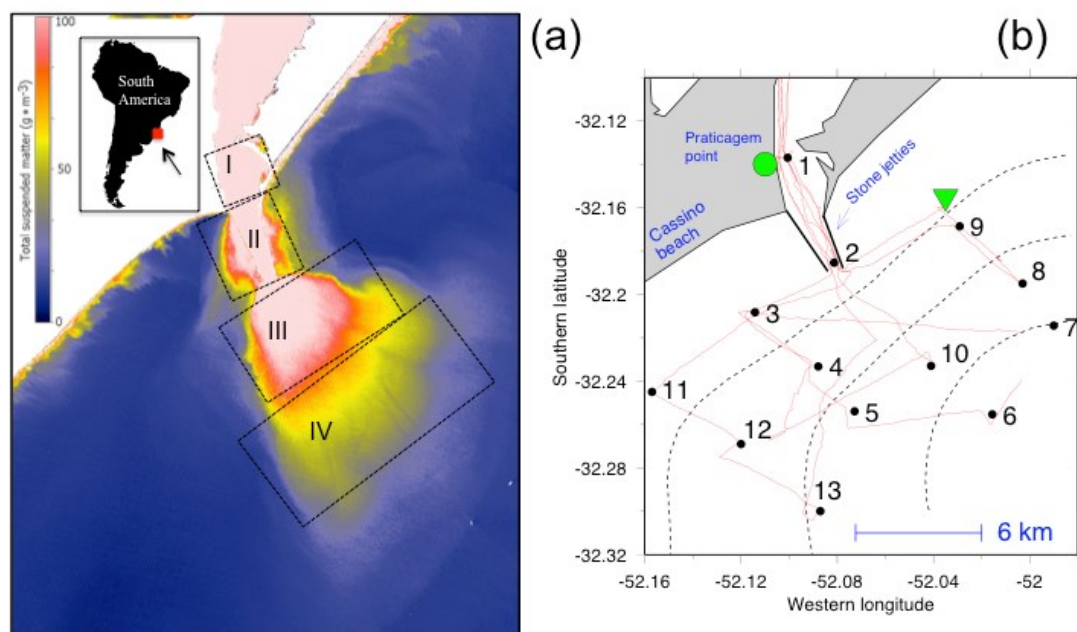


Рис. 2. Схема измерений на полигоне (справа) и представление обсуждавшихся в тексте выделенных областей плума на спутниковом изображении (слева)

### Литература

1. Horner-Devine, A.R., Hetland, R.D., and MacDonald, D.G., 2015. Mixing and transport in coastal river plumes. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 47:569-594, doi: 10.1146/annurev-fluid-010313-141408
2. Zavialov, P.O., Pelevin, V.V., Belyaev, N.A., Izhitskiy, A.S., Kononov, B.V., Kremenskiy, V.V., Goncharenko, I.V., Osadchiev, A.A., Soloviev, D.M., Garcia, C.A.E., Pereira, E.S., Sartorato, L., Moller Jr., O.O., 2018. High resolution LiDAR measurements reveal fine internal structure and variability of sediment-carrying coastal plume, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 205, 40-45, doi:10.1016/j.ecss.2018.01.008.

*Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 0149-2018-0002 при частичной поддержке гранта РФФ 14-50-00095.*

*The work was carried out as part of the theme of the state order No. 0149-2018-0002 with partial support from the grant of the Russian Science Foundation 14-50-00095.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕК СЕСТРА И ЧЕРНАЯ И ИСТОЧНИКИ ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

О.В. Задонская<sup>1</sup>, Л.П. Алексеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## ECOLOGICAL STATE OF SESTRA AND CHERNAYA RIVERS AND THEIR POLLUTION SOURCES

O.V. Zadonskaya<sup>1</sup>, L.P. Alekseev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*По данным гидрохимических и микробиологических анализов воды рек Сестра и Черная, проводившихся в 2015 и 2016 гг., выполнена оценка их экологического состояния в различные периоды года. Показано влияние гидрологических факторов и различных источников загрязнения на водосборе рек.*

*According to the water chemical and microbiological data of 2015, 2016 and 2018 the ecological status of the Sestra and Chernaya rivers was assessed at different seasons of the year. The influence of hydrological factors and various pollution sources on the catchment is described.*

### **Введение.**

В 2015-2016 гг. по заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга было выполнено комплексное обследование водохранилища Сестрорецкий Разлив и его притоков для разработки мер по улучшению его экологического состояния [1, 2]. Для определения качества воды, притекающей в водоем, проводились регулярные отборы проб воды на гидрохимический и микробиологический анализ на временных гидрологических постах на реках Сестра (пос. Белоостров) и Черная (пос. Дибунь) в период с августа 2015г. по ноябрь 2016г. Для выявления источников загрязнения рек проводились эпизодические отборы проб воды в притоках рек Сестра и Черная и в предполагаемых сбросах сточных вод. В 2015-2016 гг. было выполнено два отбора из 20-30 потенциальных источников загрязнения.

### **Методы.**

Отбор проб воды проводился согласно действующим нормативным документам [3]. Отобранные пробы в тот же день отправлялись на анализ в гидрохимическую и микробиологическую лабораторию.

Гидрохимический анализ проб проводился по следующим показателям: водородный показатель (рН), БПК<sub>5</sub>, ХПК<sub>Cr</sub>, содержание растворенного кислорода, фосфора (валового и неорганического), азота (валового, нитратного, нитритного, аммонийного), нефтяных углеводородов, взвешенных веществ, фенолов, железа общего, меди, цинка, никеля, марганца, хлоридов, сульфатов, хрома, свинца, мышьяка, кадмия и ртути. Всего было выполнено 18 серий отборов из рек Сестра и Черная с периодичностью 1 раз в месяц и чаще. Регулярные отборы проб воды на микробиологический анализ на временных гидрологических постах на реках Сестра и Черная проводились 1-2 раза в месяц в теплые периоды: август–сентябрь 2015г., май-октябрь 2016г. Всего было отобрано 9 проб воды из каждого водного объекта. Микробиологический анализ проб проводился по следующим показателям: общее микробное число, общие колиформные бактерии (ОКБ), термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), колифаги, возбудители кишечных инфекций, яйца гельминтов.

Отборы проб воды на гидрохимический и микробиологический анализ из источников загрязнений проводились из обнаруженных при маршрутных обследованиях сбросов сточных вод, а также из притоков рек Сестра, Черная и Сестрорецкого Разлива, которые потенциально могли содержать загрязняющие вещества, в период с 26 августа по 22 сентября 2015г. (30 проб) и с 29 сентября по 3 октября 2016 г. (20 проб).

Оценка экологического состояния рек Сестра и Черная, их притоков и источников загрязнения проводилась по химическим показателям - на основе УКИЗВ (удельного комбинаторного индекса загрязненности вод) [4] – и по микробиологическим показателям в сравнении с гигиеническими ПДК (предельно допустимыми концентрациями) [5].

### **Реки Сестра и Черная.**

Результаты химического анализа проб воды показывают, что кислородный режим рек Сестра и Черная является благоприятным во все периоды года. Цветность воды, а также содержание органического вещества (как по БПК<sub>5</sub>, так и по ХПК) в водах р. Сестры значительно меньше, чем в р. Черной. Высокое значение УЭП в водах р. Черной (в два раза выше, чем в р. Сестре) в период летне-осенней межени указывает как на повышенную долю подземного питания в этот период, так и на достаточно большую долю сточных вод.

Содержание взвесей в воде рек внутри года распределено крайне неравномерно. Наибольшие концентрации в притоках отмечаются в период весеннего половодья и дождевых паводков. В среднем за год концентрации взвесей в р. Сестре в 1,8 раза выше, чем в р. Черная. Концентрация валового фосфора в р. в среднем составила 0,063 мг/дм<sup>3</sup>, в р. Черной – 0,077 мг/дм<sup>3</sup>. В обоих притоках максимальные значения отмечались в период весеннего половодья. Концентрация фосфатов в р. Сестре также была ниже, чем в р. Черной в среднем в 1,3 раза и составляла 0,040 мг/дм<sup>3</sup>. Доля неорганического фосфора в общем фосфоре изменялась от 41 до 96% и была минимальной в половодья и паводки и максимальной в теплое время года.

Содержание валового азота в р. Сестре в среднем составило 0,96 мг/дм<sup>3</sup>, в р. Черной – 1,09 мг/дм<sup>3</sup>. Доля нитратов от общего содержания азота в р. Сестре составляла 54%, доля аммонийного азота 10%. В р. Черной доля аммонийного азота была выше и составила в среднем 21%, в то время как доля нитратов была 47%. Наибольший сток всех форм азота с водами рек Сестра и Черная наблюдался в январе, ноябре и марте. Содержание нитритов во всех водных объектах не превышало 0,034 мг/дм<sup>3</sup>. В р. Сестра все измеренные концентрации форм азота находились в пределах рыбохозяйственных нормативов. В р. Черной в отдельные месяцы были превышены ПДК по азоту аммонийному и по нитритам.

Содержание нефтяных углеводородов в реках было достаточно велико, и почти во всех пробах был превышен рыбохозяйственный норматив (0,05 мг/дм<sup>3</sup>). При этом максимальные концентрации (0,300 мг/дм<sup>3</sup>) были зафиксированы в р. Сестре в апреле, что говорит об антропогенном загрязнении водосбора реки. Средние концентрации фенолов в реках Сестра и Черная превышали рыбохозяйственный норматив (0,001 мг/дм<sup>3</sup>) и составили 0,0012 и 0,0017 мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

Даже средние за год концентрации железа общего превышали рыбохозяйственный норматив (0,1 мг/дм<sup>3</sup>) в обеих реках в 18 раз. Аналогичная ситуация наблюдается по марганцу, наибольшие его значения наблюдались в реке Черная – до 31,9 ПДК. Цинк в концентрациях выше предела обнаружения был зафиксирован менее чем в половине проб воды. Несколько чаще, но в меньших относительно ПДК концентрациях, встречалась медь.

Оценка загрязненности воды по гидрохимическим показателям проводилась на основе индекса УКИЗВ [4]. В период с августа 2015 по ноябрь 2016 гг. вода р. Сестры по 15 обязательным показателям оценивалась от «очень загрязненной» (класс качества 3 «б» - на рис.1 показан белым цветом) до «грязной» (класс качества 4 «б» - на рис.1 показан черным цветом), УКИЗВ изменялся от 2,42 до 4,35 (рисунок 1). В целом за период август 2015 – ноябрь 2016 гг. вода р. Сестры оценивалась как «грязная» (класс качества 4 «а»), УКИЗВ составил 4,38. Комплексность загрязнения в течение года изменялась от 27 до 47%. Характерными загрязняющими веществами являлись органические вещества (по ХПК), фенолы, нефтепродукты, железо, медь и марганец. Характерная загрязненность высокого уровня отмечалась по марганцу, среднего — по ХПК и железу. Железо и марганец относились к критическим показателям загрязнения.

Качество воды р. Черной в этот период было значительно хуже и находилось в пределах 4 класса (разряды «а» и «б») — грязная вода. УКИЗВ изменялся от 3,70 до 5,24 (рисунок 2). Вода р. Черной была более загрязненной и оценивалась как «грязная» (класс качества 4 «б»), УКИЗВ 5,30. Комплексность загрязнения составляла 40–60%. В отличие от р. Сестры к характерным загрязняющим веществам относились еще и легкоокисляемые органические вещества (по БПК<sub>5</sub>). Характерная загрязненность высокого уровня отмечалась по марганцу, среднего — по 4 показателям (ХПК, нефтепродукты, железо общее, медь). Критические показатели загрязнения не отличались от р. Сестры.

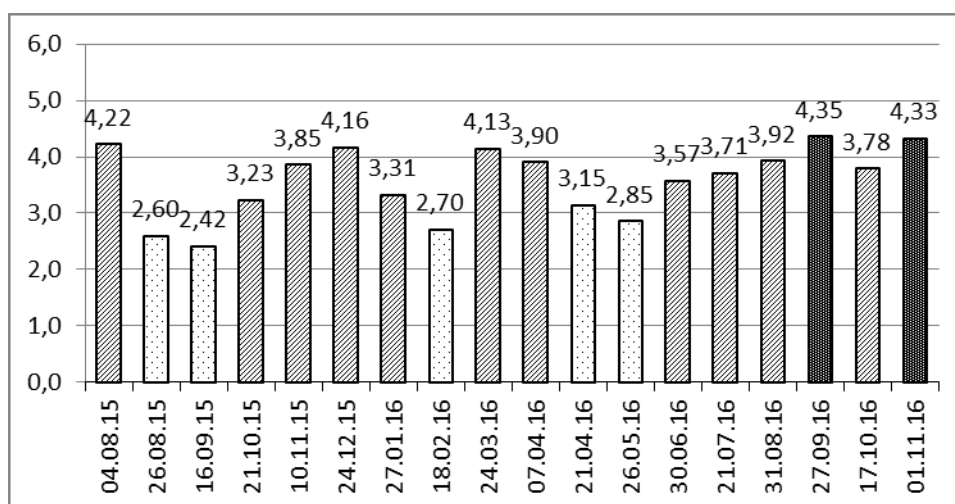


Рис. 1. УКИЗВ вод р. Сестра в 2015-2016 гг.

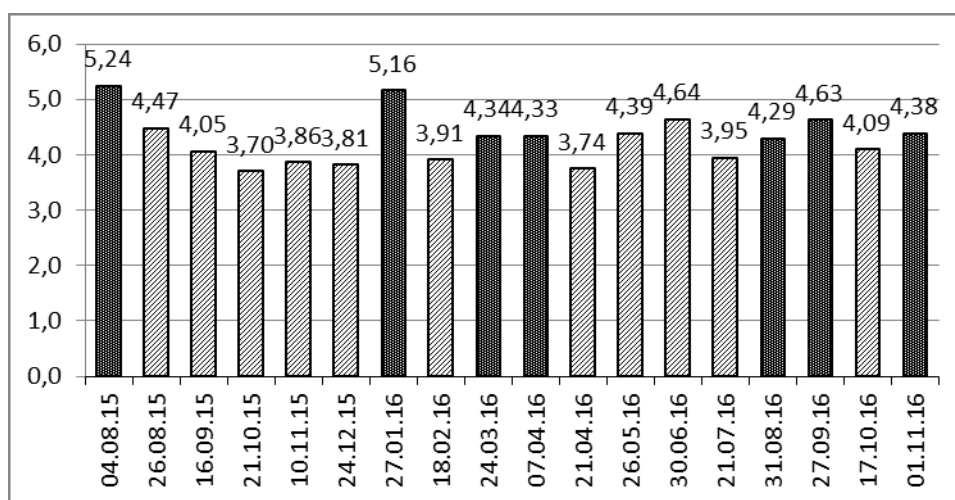


Рис. 2. УКИЗВ вод р. Черная в 2015-2016 гг.

Результаты микробиологического анализа проб воды рек Сестра и Черная показали, что в них превышены санитарно-гигиенические нормативы для водных объектов, используемых для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест [5]. В р. Сестра загрязнение по ОКБ зафиксировано в 67% случаев, по ТКБ – в 89%. Кратность превышения нормативов по ОКБ составила 2,0-5,0, по ТКБ – 1,8-7,2 раз. В р. Черная почти все пробы превысили нормативы по этим показателям. По ОКБ превышение составляло от 2 до 15 раз, по ТКБ – до 30 раз. По содержанию колифагов нормативы в воде обоих притоков были превышены не более чем в 50% случаев (в р. Сестре в 4-8 раз, в р. Черной – в 2-14 раз). Возбудители кишечных инфекций и жизнеспособные яйца гельминтов ни в одной из проб обнаружены не были.

#### Источники загрязнения.

Среди 33 обследованных источников загрязнений и притоков рек Сестра и Черная встречаются как достаточно чистые водные объекты, так и сбросы неочищенных сточных вод. Разделение всех водных объектов на три различные группы было выполнено на основе УКИЗВ по данным гидрохимического анализа. В связи с необходимостью более полного учета состава загрязняющих веществ в воде расчет проводился по свободному перечню ингредиентов и показателей качества воды — к обязательному перечню показателей №1 были добавлены рН, валовый фосфор и ртуть. В качестве норматива по валовому фосфору было принято значение 0,08 мг/дм<sup>3</sup>, соответствующее принятым для средних рек нормам в Эстонии [6].

Анализ полученных данных о качестве воды в источниках загрязнения позволил разделить их на три группы: 1) слабо загрязненные воды, 2) загрязненные воды и 3) сточные и сильно

загрязненные воды. В первую группу вошли водные объекты, класс качества воды которых оценивается как 2 (слабо загрязненная) или 3 «а» (загрязненная). Ко второй группе отнесены водные объекты с классом качества воды 3 «б» (очень загрязненная), 4 «а» и 4 «б» (грязная). К третьей группе отнесены источники с классом качества воды от 4 «в» (очень грязная) до 5 (экстремально грязная).

В 2015 г. было обнаружено 6 значительных источников загрязнения вод рек Сестра и Черная, которые являются сбросами сточных вод и имеют расход 0,5–3,0 л/с. К ним относятся два сброса сточных вод в пос. Белоостров (выше и ниже автомобильного моста), сброс сточных вод пос. Черная Речка из неработающих ОС, сброс сточных вод с частной территории напротив садоводства «Аврора», сброс сточных вод в Сертоловский ручей в районе школы №1 г. Сертолово, а также биологический отстойник ЗСД. В 2016 г. к указанным источникам загрязнений был добавлен второй пруд-отстойник ЗСД, который не связан напрямую с р. Черной. Также было показано высокое загрязнение, поступающее в р. Черная из карьеров в пос. Дибунь, которые являются местом отдыха местных жителей. Значительное загрязнение было обнаружено в руч. Дранишник и также в руч. Сертоловский в промзоне г. Сертолово и ниже.

Отборы проб воды на микробиологический анализ проводились из тех же 33 источников загрязнений. Не обнаружено превышения нормативов ни по одному из показателей в 11 пробах. Превышение по ОКБ было зафиксировано в 60% проб, причем в 3 случаях зафиксирован сплошной рост (сброс сточных вод в р. Сестра в Белоострове и сток с неработающих очистных сооружений пос. Черная Речка). Содержание ТКБ не соответствует нормативам в 60% случаев. Экстремальное загрязнение (сплошной рост) наблюдалось в тех же точках, что и по ОКБ. Высокое значение ТКБ в притоке №5 р. Сестры, близкое к величине ОКБ, указывает на свежее фекальное загрязнение этого притока. Превышение нормативов по содержанию колифагов зафиксировано лишь в 4 случаях — в трех сбросах сточных вод (от пос. Белоостров и Черная Речка) и в р. Черной в пос. Песочный.

По результатам анализов можно сделать вывод, что наиболее загрязненными по санитарно-гигиеническим нормативам являются три сброса сточных вод — в пос. Белоостров и в пос. Черная Речка, а также три точки на Сертоловском ручье в г. Сертолово.

#### **Выводы.**

В целом, реки Сестра и Черная являются достаточно загрязненными на фоне других рек Санкт-Петербурга и Северо-Запада. Река Черная загрязнена в большей степени и качество ее воды ниже, чем в р. Сестре. Санитарно-гигиеническое состояние обеих рек неудовлетворительное. Наиболее значимыми источниками загрязнений на р. Черная являются сбросы с руч. Сертоловский из промзоны г. Сертолово, на р. Сестра — сбросы в пос. Белоостров, которые в ближайшие годы «Водоканал СПб» планирует переключить в централизованную систему канализации.

#### **Литература**

1. Алексеев Л.П., Задонская О.В., Дворников В.Г., Дубровская К. А. Экологическое состояние водоохранных зон Сестрорецкого Разлива и его притоков. Журнал «Окружающая среда Санкт-Петербурга», № 2 (4), июнь 2017 г. – стр. 33-39.
2. Герасимов А.В., Голубков С.М., Задонская О.В., Педченко А.П., Поздняков Ш.Р., Решетов В.В., Рябчук Д.В., Филиппов Н.Б. Рекомендации по экологическому оздоровлению озера Сестрорецкий Разлив. Журнал «Окружающая среда Санкт-Петербурга», № 2 (4), июнь 2017 г. – стр. 62-64.
3. ГОСТ Р 51392-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб»
4. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону, ГХИ, 2002
5. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. СанПиН 2.1.5.980-00. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000.
6. Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord. Vastu võetud 28.07.2009 nr 44 (на эстонском языке) – 13 p.

## ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛЕТНЕ-ОСЕННЕЕ ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ЧЕРНОМ МОРЕ

А.Г. Зацепин<sup>1</sup>, Е.Г. Арашкевич<sup>1</sup>, А.А. Кубряков<sup>1,2</sup>, В.А. Силкин<sup>1</sup>, С.В. Станичный<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

## STORM IMPACTS ON SUMMER-AUTUMN PHYTOPLANKTON BLOOMING IN THE BLACK SEA

A.G. Zatsepin<sup>1</sup>, E.G. Arashkevich<sup>1</sup>, A.A. Kubrakov<sup>1,2</sup>, V.A. Silkin<sup>1</sup>, S.V. Stanichny<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Marin Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

*В докладе приводятся примеры и обсуждаются механизмы интенсификации летне-осеннего цветения фитопланктона в Черном море после сильных ветровых воздействий.*

*The report gives examples and discusses the mechanisms of intensification of summer-autumn phytoplankton blooms in the Black Sea after strong wind effects.*

Механизмы поддержания первичной продукции в океане в теплый период года являются малоизученными [1]. В данной работе приводятся убедительные свидетельства того, что сильные ветровые воздействия вызывают существенное увеличение первичной продукции и содержания хлорофилла «а» в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) Черного моря. Эти свидетельства основаны на результатах совместного анализа поля скорости ветра, спутниковых данных о температуре поверхности моря и содержании хлорофилла «а», данных судовых STD-зондирований, и отбора проб на содержание хлорофилла «а», а также проб фитопланктона, данных поплавков био-Арго с датчиками флуоресценции хлорофилла «а». Все эти данные показывают, что турбулентное вовлечение вод термоклина в ВКС, вызванное сильными ветровыми воздействиями, приводит к увеличению содержания хлорофилла «а» и фитопланктона в ВКС через 2-3 суток после воздействия. Данные вспышки первичной продукции длятся 1-2 недели. Несколько последовательных штормов могут существенным образом изменить сезонный уровень первичной продукции и повлиять не только на количественный состав, но и на структуру планктонного сообщества.

Так, четыре последовательных интенсивных шторма, наблюдавшиеся в августе 2015 г., вызвали возникновение аномально сильного цветения фитопланктона в центре восточной части Черного моря. Максимальная концентрация хлорофилла «а» в области цветения превышала 5 мг/м<sup>3</sup> по сравнению с 0,6 мг/м<sup>3</sup> в окружающих водах. Аномальное цветение наблюдалось в течение 3 месяцев: с августа по ноябрь. В работе на основе совместного анализа спутниковых и метеорологических данных, контактных измерений буев Арго с биооптическими датчиками исследуются причины этого аномального явления.

Цветение было вызвано совместными действиями трех физических факторов: интегральной экмановской накачкой; локальным экмановским апвеллингом на периферии шторма; ветровым турбулентным вовлечением биогенных веществ в эвфотический слой.

Горы, окружающие Черное море, существенно влияют на пространственную структуру штормов, формируя зоны интенсивных ветровых струй и ветровой тени. Градиенты скорости ветра между областями сильного и слабого воздушного потока вызывают интенсивный локальный экмановский апвеллинг и подъем вод на левой периферии штормового ветра. Экмановская накачка интенсифицирует циклоническую циркуляцию вод в черноморском бассейне и поднимает пикно-халоклин и хемоклин ближе к поверхности в центральной части циклонических круговоротов. Ветро-волновое перемешивание и турбулентное вовлечение увеличивает толщину ВКС после прохождения штормов за счет более богатых биогенами и фитопланктоном термоклинных вод.

Попадание фитопланктона в ВКС из слоя локального максимума его концентрации в термоклине послужило первой причиной увеличения концентрации хлорофилла «а» на поверхности. Измерения буев Арго показали, что шторма вызвали также значительное диапикническое перемешивание в верхнем 100 метровом слое. Это привело к увеличению

вертикального турбулентного потока биогенных элементов и их попаданию в слой локального максимума концентрации фитопланктона в термоклине. Этот процесс вызвал рост концентрации хлорофилла «а» в тонком слое (~ 5 м) вблизи нижней границы его локального максимума.

Наблюдающаяся до штормов динамическая топография хемоклина, определяемая мезомасштабными и крупномасштабными течениями существенно повлияла на пространственную структуру цветения фитопланктона. Самый интенсивный после штормовой рост концентрации хлорофилла «а» наблюдался в центральной части восточного циклонического круговорота и в мезомасштабных циклонах. В то же время в мезомасштабных антициклонах рост концентрации хлорофилла «а» был незаметен. Следует также отметить, что вихревые движения способствовали горизонтальному переносу хлорофилла «а» в западную часть моря на значительное расстояние от эпицентра штормов.

В докладе приводятся также другие примеры интенсификации цветения фитопланктона в Черном море после сильных ветровых воздействий [2-4].

### Литература.

1. Babin, S. M., Carton, J. A., Dickey, T. D., & Wiggert, J. D. (2004). Satellite evidence of hurricane-induced phytoplankton blooms in an oceanic desert. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C3).
2. Зацепин А.Г., Арашкевич Е.Г., Кубряков А.А., Паутова Л.А., Подымов О.И., Силкин В.А., Сильвестрова К.П., Станичный С.В., Часовников В.К. Влияние турбулентного вовлечения вод термоклина в верхний квазигомогенный слой на его биопродуктивность (на примере Черного моря). // 14-я Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов. С. 241. Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016 г.
3. Zatsepin A. Variability of the Black Sea coastal Ecosystem: Results of long-term observations at the SIO RAS research site near Gelendzhik // EMECS'11 SeaCoasts XXVI joint conference Abstract book. P.94. August 22-27. 2016. St. Peterburg. Russia.
4. Зацепин А.Г., Арашкевич Е.Г., Кубряков А.А. , Силкин В.А. , Станичный С.В. Роль ветрового воздействия в поддержании первичной продукции в Черном море в теплый период года //15-я Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов. С. 251. Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2017 г.

*Исследование влияния турбулентного вовлечения вод в ВКС на концентрацию хлорофилла «а» выполнено при поддержке гранта РФФИ 14-50-00095. Анализ данных и подготовка тезисов доклада выполнены в рамках государственного задания по бюджетной теме № 0149-2018-0003, а также при поддержке гранта РФФИ №17-05-00799.*

*The study of the influence of the turbulent entrainment of water in the VCS on the concentration of chlorophyll "a" was carried out with the support of grant RNF 14-50-00095. Data analysis and preparation of abstracts of the report were carried out as part of the government assignment on budget topic No. 0149-2018-0003, as well as with the support of the RFBR grant No. 17-05-00799.*

## ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ ОЗЕРАХ

Р.Э. Здорovenнов<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, А.Р. Кураев<sup>2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>LEGOS, Université de Toulouse, CNES, CNRS, IRD, UPS Toulouse, France

## ICE CONDITIONS AND ORGANIZATION OF HYDROPHYSICAL MEASUREMENTS IN ICE-COVERED LAKES

R.E. Zdorovennov<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.R. Kouraev<sup>2</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Northern water problems Institute Karelian Research Center, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>LEGOS, Université de Toulouse, CNES, CNRS, IRD, UPS Toulouse, France

*Обсуждаются требования к безопасности работ на льду, ледовые условия и общие рекомендации по планированию, подготовке и организации однодневных и длительных работ, а также по установке автономных регистраторов.*

*The requirements for the safety of work on ice, ice conditions, and general recommendations for planning, preparing and organizing one-day and long-term work as well as installation of autonomous recorders are discussed.*

### **Введение.**

Традиционно основное внимание лимнологов сосредоточено на периоде открытой воды, однако, в последние годы значительно вырос интерес к зимним исследованиям, касающимся физических, химических и биологических процессов, происходящих в водоемах под ледяным покровом [1]. Одна из актуальных проблем зимней лимнологии - оценка реакции озер средних и высоких широт на глобальное потепление [2, 3]. Зимние лимнологические исследования осложняются непростыми полевыми условиями, а также вопросами логистики при организации экспедиций. Зачастую ледовый покров водоемов суши нестабилен, в нем образуются трещины, промоины [4], что заметно осложняет проведение ледовых измерений. В результате прогресс лимнологических исследований в зимний период все еще достаточно медленный.

Лимнологические работы со льда имеют определенное преимущество, поскольку измерения выполняются с твердой поверхности, однако лед, снег и низкие температуры создают некоторые дополнительные ограничения. В данной статье мы представляем требования к толщине и состоянию льда для безопасного проведения работ на льду, приводим общие рекомендации по планированию, подготовке и организации однодневных и долгосрочных работ на льду, проведению длительных автономных измерений с использованием различных приборов.

### **Минимальные значения толщины льда для безопасной работы на льду.**

Работы на льду представляют опасность для здоровья и жизни людей: возможны падения и последующие травмы, попадание в холодную воду, отрыв прибрежных льдин, переохлаждение при длительной работе на льду в ветреную холодную погоду и т. д. Люди могут умереть в результате утопления, температурного шока и переохлаждения через 15-20 мин нахождения в холодной воде. Особенно опасны работы на льду в условиях низкой видимости (ночь, туман, снегопад).

Одним из основных условий проведения безопасной работы на льду является достаточная его толщина и прочность. Для работ, проводимых на льду водоемов суши, необходимо учитывать два основных типа льда: кристаллический лед и белый лед. Тип льда, его толщина и прочность зависят от размера и формы водоемов, температуры воздуха, продолжительности периодов отрицательных температур, наличия оттепелей, количества снега на льду, химического состава воды, влияния ветра и течений и т. д.

Кристаллический лед образуется в результате замерзания воды в морозных штилевых условиях в начальный период ледостава. В этом случае на поверхности льда нет трещин, различных предметов, торосов, снежных холмов и т. д. Этот тип льда является самым твердым. Белый лед образуется в результате замерзания снега, смешанного с водой, выступившей на поверхность кристаллического льда. Белый лед гораздо менее твердый и прочный, и при



определенных погодных условиях его прочность может быстро уменьшаться. Когда присутствует белый лед, обычно считается, что его прочность эквивалентна прочности половины толщины чистого кристаллического льда [5]. Минимальные значения толщины льда для безопасной работы на льду, по данным МЧС России, составляют 5 см для одного человека, 7 см для группы людей, 25-30 для легкого автомобиля и 30-40 см для полноприводного автомобиля. Однако наш собственный опыт показывает, что 5 см для одного человека и 7 см для группы людей являются слишком низкими значениями. Мы рекомендуем, по крайней мере, 15-20 см льда для безопасных научных работ. При организации ледового лагеря в течение нескольких дней толщина льда должна составлять 20 см и более.

Толщина льда не является однородной по различным участкам озера. Тонкий лед типичен для районов под мостами, вблизи выходов рек и ручьев, мест сброса теплой воды и канализационного дренажа, а также вблизи природных источников воды. Поэтому расположение ледового лагеря должно выбираться из соображений безопасности на максимальном удалении от перечисленных мест. Кроме того, безопасные работы в районах с тонким льдом могут проводиться с применением судна на воздушной подушке.

#### **Правила безопасности и практические вопросы.**

Достаточная толщина льда является важным параметром, но для успешной и безопасной работы на льду должны соблюдаться общие правила безопасности. Полевые работы должны быть организованы таким образом, чтобы ни один человек не находился в одиночку на льду. До начала работ требуется оценить ледовые условия конкретного водоема с использованием спутниковых снимков ледяного покрова, нужно учитывать прогноз погоды, чтобы избежать работы в тумане, снегопаде, дожде, при сильном ветре. Перед началом полевых работ должно проводиться тщательное планирование - расчет времени в пути до станций измерений, времени, необходимого для научной работы, и времени, необходимого для возвращения. Важно помнить, что передвижение на льду в темных условиях запрещено, поскольку очень опасно. Все работы должны согласовываться с МЧС с указанием даты и времени начала и окончания работ. Перед началом работ на льду все участники должны пройти инструктаж по правилам безопасности в местном отделении МЧС.

Важнейшим вопросом является вопрос экипировки участников полевых исследований на льду. Учитывая личный опыт, мы разработали предложения о том, как одеваться при проведении научной работы на льду. Необходима теплая и удобная одежда. Нужно использовать теплое нижнее белье, теплые носки, шапку, которая может полностью покрыть голову, куртки или комбинезоны с капюшоном. В холодную погоду с ветром важно хорошо покрывать лицо, голову и шею, поскольку это области, через которые организм теряет очень значительное количество тепла. Солнцезащитные очки (лучше с поляризационным фильтром) защищают глаза не только от сильного солнечного света, но и от ветра. Хорошо иметь запасной набор нижнего термобелья и носков, а также, при работе в отдаленных районах, расположенных далеко от базы, полный комплект одежды и обуви для переодевания в случае попадания в воду. Требуется, по крайней мере, две пары перчаток. Очень полезными являются защитные накладки на колени, которые надеваются поверх брюк или комбинезона - они будут защищать ноги от травм в случае падения, а также защитят одежду от намокания при работе на коленях. Обувь должна быть водостойкой или, по крайней мере, водоотталкивающей, подошвы должны быть нескользящими. При работе на скользком льду также хорошо иметь обувь со встроенными маленькими шипами или резиновый слой с шипами, которые можно надеть на подошвы.

Медицинский комплект, содержащий, по крайней мере, повязки, жгут, пластыри, перекись водорода, должен быть неотъемлемой частью оборудования. Защитный крем для сухой кожи очень полезен, так как при работе с водой, особенно при низких температурах воздуха и сильном ветре, руки быстро становятся сухими. Если вы планируете долго работать, не забудьте взять с собой воду, горячий кофе или чай, бутерброды.

Перед тем, как идти на лед, все оборудование должно быть полностью заряжено - необходимо проверить заряд телефонов, приемников GPS, также нужно взять резервные батареи или зарядные устройства. Все коммуникационное оборудование, а также личные документы должны быть помещены в водостойкие пакеты.

### **Организация работ и практические решения.**

В зависимости от объема, продолжительности и типа планируемых ледовых измерений, научная работа должна быть организована соответствующим образом. Большинство ледовых исследований можно подразделить на работы, проводимые в течение одного дня и непрерывные длительные работы в ледовом лагере. Установка на длительный срок автономного измерительного оборудования также имеет определенные особенности. Основываясь на личном опыте, мы представляем различные решения для этих задач, которые могут быть полезны для других исследователей, работающих на льду.

#### **Однодневная работа.**

Типичный набор оборудования, необходимый для однодневных работ на льду, включает ледобур, ледоруб, L-образный металлический ледяной измерительный стержень (для измерения толщины льда, но также полезный для извлечения кусков льда из воды), ковш для очистки проруби от плавающего льда, пилу, снежную лопату, свисток, факел, водостойкие спички, компас, санки. Необходима плавающая полипропиленовая веревка длиной 15-30 м и диаметром 10 мм для помощи людям, провалившимся по лед. Лезвия ледобура, пилы, ледоруба всегда должны быть покрыты защитными чехлами, как только сверление или пиление закончено, в противном случае возможно получение серьезных травм при подскользывании и попадании частей тела на лопасти и лезвия этих приспособлений.

Оборудование никогда не должно оставаться лежать на льду, чтобы не быть сдутым ветром, не быть заваленным снегом. Все оборудование, которое в данный момент не используется, должно быть помещено в палатку (в случае ледового лагеря) или на судно на воздушной подушке или на сани. Сочетание низких температур и ветра может привести к быстрому обмерзанию научного оборудования, а иногда и к повреждению приборов (замораживание воды, приводящее сначала к ухудшению водоизоляционных свойств корпуса приборов, а затем к проникновению воды внутри прибора и т. д.). Как только оборудование извлекается из воды, оно должно помещаться в сухое, защищенное от ветра место (чехол).

Работы на льду - это всегда творческий процесс. Довольно часто необходимо решать некоторые нетривиальные и необычные задачи, кроме того, ледовые исследования часто являются очень тяжелым трудом и нужно быть готовым к этим особенностям.

#### **Стационарный многодневный ледовый лагерь.**

Для долгосрочных измерений требуется организация базового ледового лагеря. Для проведения многодневной работы нужно использовать зимние палатки с древесными печками внутри (для отдыха и сна научных работников), палатки для оборудования и инструментов, палатку с био туалетом. Необходимы спальные мешки, складные кровати, складные столы и стулья. Палатки должны иметь яркий цвет, а ночью должны быть оснащены включенными осветительными приборами, чтобы они были легко видны издали, и чтобы избежать случайного попадания в них людей, перемещающихся по льду на снегоходах или другом виде транспорта.

Ориентация палаток должна быть выбрана с учетом преобладающего направления ветра, так, чтобы ветер не дул во входное отверстие палатки. В противном случае палатка быстро теряет тепло, дверь будет трудно открыть и закрыть, и под сильным ветром она может быть повреждена. Все палатки должны быть надежно закреплены на льду. Для жилых палаток и палаток с оборудованием необходимо подготовить пол. Для теплоизоляции на пол палатки должны быть помещены деревянные щиты, на которые можно установить дополнительный изоляционный непроницаемый материал. Все это помогает избежать таяния льда и скопления воды внутри палатки.

Транспортировка между побережьем и ледовым лагерем осуществляется с использованием судов на воздушной подушке. С первого по последний день работ для случая срочной эвакуации в ледовом лагере должен находиться снегоход.

#### **Установка приборов для длительных автономных измерений.**

Оборудование, установленное на льду, должно быть надежно закреплено и отмечено яркими знаками (флажками). Это помогает найти оборудование после снегопада, а также служит предупреждением для передвигающихся по поверхности водоема людей, рыбаков о том, что этого места следует избегать. В некоторых случаях необходимо отмечать места расположения приборов светоотражающими лентами, которые видны ночью.

Некоторое оборудование устанавливается на штативах, других деревянных или металлических конструкциях. В солнечных условиях эти конструкции имеют тенденцию к нагреванию, что приводит к таянию льда и перекосу этих конструкций либо к опусканию приборов, которые должны быть закреплены в воде на определенной глубине. Чтобы избежать этого, или, по крайней мере, замедлить этот процесс, мы предлагаем между конструкцией и льдом помещать сплошной слой толстого белого пластика.

Одной из основных проблем при установке научного оборудования для длительных автономных измерений является вмерзание тросов, на которые крепится оборудование, в лед. При извлечении инструментов в конце измерений существует высокий риск разрыва троса при попытках вырвать его из льда с использованием ледобура, ледоруба или ледяной пилы и, как следствие, риск потери оборудования. Чтобы избежать вмерзания троса в лед, мы рекомендуем использовать пластиковый шланг темного цвета с длиной чуть больше толщины льда, через который пропускается трос в месте его контакта со льдом. Пластиковый шланг защищает трос от вмерзания в лед и от случайного повреждения при извлечении оборудования. Темный шланг нагревается солнцем, и даже если вокруг него образуется лед, то он не очень твердый, и извлечение приборов перестает быть сложной задачей.

#### **Заключение.**

В рамках выполнения нескольких научных проектов мы получили ценный опыт проведения уникальных научных экспериментов на льду, которые мы представили в этой статье. Несмотря на то, что приведенные здесь сведения далеко не исчерпывающие и универсальные для других покрытых льдом озер мира, мы надеемся, что наш опыт (иногда полученный с большим трудом) и предлагаемые решения могут помочь и стимулировать других исследователей, участвующих или планирующих провести зимнюю лимнологическую работу со льда.

#### **Литература**

1. Kirillin G., Leppäranta M., Terzhevik A., Granin N., Bernhardt J., Engelhardt C., Efremova T., Golosov S., Palshin N., Sherstyankin P., Zdrovennova G., Zdrovennov R. Physics of seasonally ice-covered lakes: a review // *Aquatic Sciences*. 2012. V. 74. N 4. P. 659-682.
2. Salonen K., Leppäranta M., Viljanen M., Gulati R. Perspectives in winter limnology: closing the annual cycle of freezing lakes // *Aquatic Ecology* 2009. V. 4, P. 609-616.
3. Bengtsson L. Ice-covered lakes: environment and climate required research // *Hydrol. Process*. 2011. V. 25, P. 2767–2769. doi:10.1002/hyp.8098
4. Kondratyev K.Y., Filatov N.N. *Limnology and Remote sensing. A Contemporary approach*. Springer-Praxis, London, 1999. 412 p.
5. *Workplace Health and Safety Bulletin*. Government of Alberta, 2008-2009. SH010 - General Safety. Revised August 2008. available online at <http://www.ceaa.gc.ca/050/documents/29913/29913E.pdf>

*Это исследование выполнено при финансовой поддержке мультидисциплинарного международного Швейцарско-Российского проекта «Lake Ladoga: Life under ice - Interplay of under-ice processes by global change» (фонд FEEL Foundation, “Fondation pour l’Etude des Eaux du Léman”), а также при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-00436\_a).*

*This study was supported by the multidisciplinary international Swiss-Russian project “Lake Ladoga: Life under ice - Interplay of under-ice processes by global change” (FEEL Foundation, “Fondation pour l’Etude des Eaux du Léman”), as well as with financial support from the Russian Foundation for Basic Research (project no. 16-05-00436\_a).*

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ ОЗЕРАХ

Г.Э. Здорovenнова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Р.Э. Здорovenнов<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, С.Р. Богданов<sup>1,2</sup>, д-р физ.-мат. наук, С.Ю. Волков<sup>1</sup>, Г.Г. Гавриленко<sup>1</sup>, Н.И. Пальшин<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Т.В. Ефремова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, А.Ю. Тержевик<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

## SPATIAL INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE FIELD IN ICE-COVERED LAKES

G.E. Zdorovennova<sup>1</sup>, Cand.Sc., R.E. Zdorovennov<sup>1</sup>, Cand.Sc., S.R. Bogdanov<sup>1,2</sup>, Dr.Sc., S.Yu. Volkov<sup>1</sup>, G.G. Gavrilenko<sup>1</sup>, N.I. Palshin<sup>1</sup>, Cand.Sc., T.V. Efremova<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.Yu. Terzhevnik<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Northern water problems Institute Karelian Research Center, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

*Изучение пространственной неоднородности температурного поля в зимний период проводилось на основе экспериментов 2016-2017 гг. в небольшом мелководном озере с целью изучения механизмов появления и разрушения внутренних волн и их влияния на процессы теплообмена и теплопереноса в водной толще покрытого льдом озера.*

*The study of the spatial inhomogeneity of the temperature field in the winter period was conducted on the basis of experiments of 2016-2017. in a small shallow lake in order to study the mechanisms of the appearance and destruction of internal waves and their influence on the processes of heat exchange and heat transfer in the water column of an ice-covered lake.*

### Введение.

На небольших озерах умеренного пояса период ледостава продолжается несколько месяцев [1], оказывая большое влияние на функционирование их экосистем. Зимой гидрофизические процессы в озерах замедлены. В условиях практически полной изолированности от ветрового воздействия, сейши, короткие внутренние волны, течения, вихри, циркуляции, развивающиеся в покрытых льдом водоемах, играют решающую роль в перераспределении растворенных и взвешенных веществ, хотя скорости их очень малы [2] и редко превышают 1-10 мм/с.

На этапе осеннего охлаждения водная масса небольших бореальных озер находится в состоянии, близком к гомотермии [3]. Температура водной массы уменьшается при понижении температуры воздуха, при этом тепло теряет не только водная масса озера, но и верхние слои донных отложений [4]. После появления сплошного ледяного покрова, препятствующего переходу тепла из водной массы в атмосферу, начинается повышение температуры воды придонных слоев вследствие теплообмена с донными отложениями. При этом в поверхностных слоях водной толщи температура меняется слабо. Уже в течение нескольких недель ледостава формируется профиль температуры с выраженным скачком градиента вблизи границы с донными отложениями [5], что указывает на немоллекулярную природу процессов теплопередачи. Поток тепла из донных отложений в воду максимален на прибрежных мелководьях в первые дни и недели ледостава, когда он достигает 10 Вт/м<sup>2</sup>. В течение зимнего сезона теплоток постепенно истощается и в конце зимы не превышает 0.5-1 Вт/м<sup>2</sup> [6, 7].

Длительные непрерывные измерения температуры в небольших бореальных озерах зимой с использованием высокочувствительного оборудования позволили установить, что по всему водному столбу в течение всего зимнего сезона отмечаются колебания температуры широкого спектра периодов – от минут до часов и дней [8, 9]. Существует предположение, что атмосферное воздействие на покрытое льдом озеро, а именно, перепады атмосферного давления и интенсификация ветра, могут приводить к усилению подледной гидродинамики [9, 10]. На фоне резких перепадов давления происходит рост амплитуды колебаний температуры по всему водному столбу и кратковременное усиление теплоточка на границе вода-дно [11], а в штилевых условиях отмечается полное затухание колебаний [9]. Возникновение коротких внутренних волн в покрытом льдом озере и их взаимодействие с сейшами обсуждается в работе [5], где также отмечается периодическая интенсификация колебаний температуры в

течение зимнего сезона. Развитие в подледных слоях озер вихрей и циркуляций различного масштаба, обусловленных особенностями топографии дна, неравномерным распределением плотности, влиянием вращения Земли, обсуждается в ряде работ [12-14]. В весенний период поток солнечной радиации, проникающей под лед, становится главным фактором, определяющим развитие подледной гидродинамики. Наряду с постепенным увеличением толщины конвективно-перемешанного слоя и ростом его температуры отмечается интенсификация волновой активности в нижележащем стратифицированном слое [15], обусловленная, предположительно, неравномерным поступлением тепла в подледный слой мелководных и глубоководных участков и развитием плотностных вдоль склоновых течений.

Таким образом, очевидно, что спектр атмосферного воздействия на малое бореальное озеро, покрытое льдом, достаточно широк, при этом физические механизмы теплопереноса, происходящие как в его водной толще, так и в придонных слоях, остаются слабо изученными.

Настоящая работа посвящена изучению температурных полей в покрытом льдом озере. Анализируются данные длительных непрерывных измерений температуры воды в небольшом карельском озере Вендюрском в зимние месяцы 2016-2017 гг. Рассмотрены особенности термического режима его водной толщи в начале периода весенней подледной конвекции.

#### **Материалы и методы.**

Измерения температуры проводились на небольшом мезотрофном озере Вендюрском (южная часть Карелии), подробное описание которого приводится в ряде работ [5, 7, 9, 11]. В центральной глубоководной части озера была размещена коса, оснащенная высокочувствительными температурными датчиками «RBR Ltd.», закрепленными на косе через 0.05-0.5 м, дискретность измерений составляла одну минуту. Верхний датчик косы располагался в 1.5 м ниже уровня воды, нижний – вблизи границы с донными отложениями. Рядом с косой на дне озера была установлена придонная платформа, также оснащенная температурными датчиками «RBR Ltd.», часть которых находилась в придонном слое воды, часть – в верхнем слое донных отложений, общая зона измерений придонной платформы составляла 20 см по вертикали. По данным придонной платформы была получена оценка величины теплопотока на границе вода-дно с использованием широко известного градиентного метода [7]. Коса и придонная платформа находились в озере в период с октября 2016 по июнь 2017 г. В период с 31 марта по 11 апреля 2017 г. в восточной части озера на глубинах порядка 4-6 м были размещены три косы, оснащенные также температурными датчиками «RBR Ltd.», закрепленными с дискретностью 0.25-0.50 м и регистрирующими температуру с дискретностью по времени 10 секунд. Косы были разнесены на расстояние порядка 10 м по продольной оси озера.

#### **Результаты и обсуждение.**

В 2016 г. озеро замерзло 6 ноября при температуре водной толщи около 1.8°C, на границе с донными отложениями 2.1-2.7°C, взлом льда происходил 18-19 мая 2017 г., то есть ледостав продолжался 193 дня. Поскольку озеро замерзло очень рано – в первую неделю ноября, при относительно высокой температуре водной массы, температура в придонных слоях глубоководной котловины превысила 5°C уже к 27 ноября, то есть всего через три недели существования льда, а к середине января достигла 5.8°C, оставаясь на таком уровне до конца зимы 2016-2017 гг. Весенняя подледная конвекция началась 6 апреля 2017 г. и продолжилась до взлома льда (конец второй декады мая), достигнув глубины 7 м. Температура поверхностного слоя повысилась до 4.7°C непосредственно перед взломом льда. Озеро вышло из-под льда слабо стратифицированным и было перемешано полностью лишь через 10 суток.

С первых же дней ледостава по всему водному столбу наблюдались резкие скачки температуры, которые были наиболее выражены в придонных слоях озера, где достигали 0.1-0.5 °C и продолжались от нескольких минут до нескольких часов. Возможно, такая выраженная динамика температуры в первые дни ледостава являлась проявлением динамических явлений предледоставного периода. Величина теплопотока на границе вода-дно непосредственно перед появлением сплошного льда достигала 6-8 Вт/м<sup>2</sup>, в первые дни ледостава начала резко снижаться, через три недели ледостава не превышала 2 Вт/м<sup>2</sup>, а с середины января – была менее 1 Вт/м<sup>2</sup>.

В период проведения гидрофизических измерений 30 марта - 11 апреля 2017 г. поверхность льда была покрыта сплошным слоем снега толщиной 2-10 см, общая толщина льда по площади озера изменялась в пределах 56-63 см, слой кристаллического льда в среднем достигал 27 см,

белого – 32 см. В период измерений на фоне холодной облачной погоды интенсивного таяния снежно-ледяного покрова не происходило, дважды выпадал свежий снег. Значения альbedo поверхности озера достигали 0.7-0.9 (за исключением 6, 7 и 10 апреля, когда на фоне солнечной погоды и таяния наблюдалось снижение альbedo поверхности снежно-ледяного покрова до 0.3-0.5). Поток солнечной радиации, проникающей под лед, в период с 31 марта по 5 апреля, а также 8 и 9 апреля после выпадения свежего снега не превышал 5-10 Вт/м<sup>2</sup>, 6 и 7 увеличился до 50 Вт/м<sup>2</sup>, 10 апреля незначительно превысил 25 Вт/м<sup>2</sup>.

По данным придонной платформы и косы, размещенных в центральной части озера, установлено, что в течение всего зимнего сезона по всему водному столбу отмечались высокочастотные колебания температуры, амплитуда которых была наибольшей в придонных слоях, где достигала 0.5°C. Очевидно, что процессы теплопереноса и, соответственно, формирования температурных профилей, определялись мелкомасштабными пульсациями и были обусловлены турбулентной теплопроводностью. Подобные пульсации, в свою очередь, могут быть результатом разрушения или взаимодействия присутствующих в толще воды коротких внутренних волн. Усиление пульсаций температуры происходило на фоне резких перепадов атмосферного давления (на 2-3 мм рт. ст. за 3 ч) и усилений ветра (до 10-15 м/с). При уменьшении скоростей ветра амплитуда высокочастотных пульсаций температуры быстро снижалась.

Высокие значения амплитуды температурных пульсаций и отсутствие четкой зависимости между этими пульсациями и горизонтальной координатой является серьезным аргументом в пользу рассмотрения температурных колебаний как индикатора внутренних волн. Для проверки этого предположения было проведено исследование зависимости амплитуд колебаний температуры от глубины. Результаты варьировали в зависимости от времени и положения измерительной станции, однако в большинстве случаев была обнаружена выраженная зависимость амплитуды пульсаций температуры от глубины. В некоторых случаях отмечалась заметная вертикальная неоднородность столба воды вплоть до разделения на несколько отдельных слоев с высокой амплитудой колебаний, разделенных узловыми линиями с подавленными колебаниями. Подобный результат был обнаружен по данным предыдущих лет исследований [5].

Данные термокос, установленных в апреле, показали наличие высокочастотных пульсаций по всему водному столбу, наиболее выраженных в придонном слое. Формирование конвективного слоя происходило 6 и 7 апреля, однако выпадение свежего снега остановило этот процесс. Интересно, что высокочастотные пульсации температуры имели хорошо выраженный суточный цикл – интенсификация колебаний происходила в дневные часы. В работе [15] сообщается об усилении волновой активности в стратифицированном слое, расположенном ниже конвективно-перемешанного, в вечерние и ночные часы. Высказывается предположение о возможной связи этого явления с неравномерным подледным прогревом мелководных и глубоководных участков акватории Петрозаводской губы Онежского озера. Развивающиеся вследствие этого плотностные вдоль склоновые течения вторгаются между конвективным и стратифицированным слоями и могут провоцировать развитие внутренних волн. В нашем случае измерения проводились, когда конвективный слой еще не был сформирован, однако интенсификация пульсаций температуры именно в дневные часы позволяет предполагать связь с поступлением солнечной радиации в подледный слой озера.

#### **Заключение.**

Анализ данных измерений температуры в небольшом мелководном озере Вендюрском позволил выявить основные особенности его теплового режима в зимний период. Характер изменения температурного профиля в первые дни ледостава позволяет предполагать немоллекулярный характер теплопереноса. В течение всего зимнего сезона по всему водному столбу присутствовали колебания температуры широкого диапазона амплитуд и периодов. Анализ пульсаций температуры позволил обнаружить ряд особенностей, совершенно не характерных для баротропных сейш, в частности, зависимость колебаний от глубины. Пульсации температуры по водному столбу в весенний период интенсифицировались в дневные часы, что позволяет предполагать связь этого явления с потоком солнечной радиации, поступающей под лед.

## Литература

1. Kirillin G., Leppäranta M., Terzhevik A., Granin N., Bernhardt J., Engelhardt C., Efremova T., Golosov S., Palshin N., Sherstyankin P., Zdrovennova G., Zdrovennov R. Physics of seasonally ice-covered lakes: a review // *Aquatic Sciences*. 2012. V. 74. N 4. P. 659-682.
2. Rizk W., Kirillin G., Leppäranta M. Basin-scale circulation and heat fluxes in ice-covered lakes // *Limnol. Oceanogr.* 2014. V. 59. N 2. P. 445-464.
3. Зайков Б.Д. Очерки по озераведению. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1955. 271 с.
4. Kirillin G., Engelhardt C., Golosov S., Hintze T. Basin-scale internal waves in the bottom boundary layer of ice-covered Lake Müggelsee, Germany // *Aquatic Ecology* 2009. V. 43, N 3. P641-651.
5. Palshin N.I., Bogdanov S.R., Zdrovennova G.E., Zdrovennov R. E., Efremova T. V., Belashev B. Z., Terzhevik A. Yu. Short Internal Waves in a Small Ice-Covered Lake // *Water Resources*. 2018. V. 45, N 5. P. 695-705.
6. Bengtsson L., Svensson T. Thermal regime of ice-covered Swedish lakes // *Nordic Hydrology*. 1996. V. 27. P. 39-56.
7. Гавриленко Г.Г., Здрoвеннова Г.Э., Здрoвеннов Р.Э., Пальшин Н.И., Митрохов А.В., Терзевик А.Ю. Теплопоток на границе вода-донные отложения в небольшом озере // Труды КарНЦ РАН. 2015. Серия Лимнология. № 9. С. 3-9 DOI: 10.17076/lim72.
8. Kirillin G., Engelhardt C., Golosov S., Hintze T. Basin-scale internal waves in the bottom boundary layer of ice-covered Lake Müggelsee, Germany // *Aquatic Ecology*. 2009. V. 43. №3. P. 641-651. doi:10.1007/s10452-009-9274-3
9. Здрoвеннов Р.Э., Здрoвеннова Г.Э., Пальшин Н.И., Терзевик А.Ю. Изменчивость термического и кислородного режимов мелководного озера зимой // Тр. КарНЦ РАН. 2011. №4. С. 57-63.
10. Петров М.П., Терзевик А.Ю., Здрoвеннов Р.Э., Здрoвеннова Г.Э. Движения воды в мелководном озере, покрытом льдом // *Водные Ресурсы*. 2007. Т. 34. № 2. С. 131-140.
11. Здрoвеннова Г.Э., Здрoвеннов Р.Э., Пальшин Н.И., Ефремова Т.В., Гавриленко Г. Г., Богданов С. Р., Терзевик А. Ю. Тепловой режим мелководного озера зимой // Труды Карельского научного центра РАН. Серия Лимнология. 2016. №5, С. 3-12.
12. Forrest A. L., Laval B. E., Pieters R., Lim D.S.S. A cyclonic gyre in an ice-covered lake // *Limnology and Oceanography*. 2013. 58(1). P. 363-375. doi: 10.4319/lo.2013.58.1.0363.
13. Kouraev A. et al. Giant ice rings on lakes Baikal and Hovsgol: Inventory, associated water structure and potential formation mechanism // *Limnol. Oceanogr.* 2016. V. 61. P. 1001-1014.
14. Пальшин Н.И., Здрoвеннова Г.Э., Богданов С.Р., Волков С.Ю., Гавриленко Г.Г., Ефремова Т.В., Здрoвеннов Р.Э., Терзевик А.Ю. Геострофические течения в малом озере подо льдом // *Успехи современного естествознания*, 2017. №11, С. 89-94.
15. Bouffard D., Zdrovennov R.E., Zdrovennova G.E., Pasche N., Wüest A., Terzhevik A. Ice-covered Lake Onega: effects of radiation on convection and internal waves // *Hydrobiologia*. 2016. V. 780. N 1. P. 21-36. doi:10.1007/s10750-016-2915-3

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-00436\_a).*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-05-00436\_a).*

## МЕЗОМАСШТАБНАЯ ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА НОРВЕЖСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

В.А. Зинченко<sup>1,2</sup>, А.В. Колдунов<sup>1</sup>, С.М. Гордеева<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## MESOSCALE EDDY DYNAMICS OF THE NORWEGIAN SEA BY SATELLITE ALTIMETRY DATA

V.A. Zinchenko<sup>1,2</sup>, A.V. Koldunov<sup>1</sup>, S.M. Gordeeva<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>St.Petersburg University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*В работе приводится анализ характеристик мезомасштабных вихрей Норвежского моря, выделенных за период с 1993 по 2017 гг. методом автоматической идентификации по данным аномалий уровня моря.*

*In this study an analysis of properties of mesoscale eddies of the Norwegian sea that have been identified by an automatic method of detection using data of sea level anomalies since 1993 to 2017 years is given.*

Мезомасштабными вихрями переносится большое количество энергии, тепла и соли [3], они вызывают вертикальное перемешивание вод, таким образом, исследование вихрей является важной задачей научного сообщества.

Областью исследования работы является один из активных вихревых районов – Норвежское море, через восточную часть которого проходит Норвежское течение, перенося теплые воды Атлантики на север.

В качестве исходной информации были использованы альтиметрические измерения AVISO из базы данных на портале Copernicus [2], с пространственным разрешением 0.25° x 0.25° в области 66-74°с.ш., 9°з.д.-19°в.д. 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 закон «обратного барометра», приливы и различные эффекты атмосферы, тропосферы и ионосферы. Данные были интерполированы по времени для получения суточной дискретности. При помощи алгоритма автоматической идентификации вихревых образований [1, 4], основывающегося на данных аномалий уровня моря, были выделены мезомасштабные вихри и определены их характеристики: положение центра вихря, радиус, амплитуда, азимутальная скорость, рассмотрено перемещение вихрей в пространстве с течением времени (треки).

На акватории в среднем за год выявляется 13-14 тысяч циклонических и антициклонических вихревых образований (вместе). В их пространственном распределении (рис. 1) можно отметить, что в летний период циклонические вихри чаще обнаруживаются в северо-западном районе акватории, вдали от Норвежского течения, в то время как в зимний период они находятся вблизи берегов Норвегии, в случае антициклонов наблюдается обратная ситуация.

За весь период исследования было выделено 22090 антициклонических и 23242 циклонических треков, т.е. индивидуальных вихревых образований. Около 99% из них были отсеяны по времени жизни менее 35 суток, что короче временной дискретности спутниковых измерений в исследуемой акватории. Для оставшихся 330 треков в целом для всей акватории были рассчитаны статистические параметры основных характеристик вихрей, а также треков (таблица 1). Как видно из таблицы 1 по экстремальным оценкам, эмпирическое распределение характеристик сильно асимметрично и медиана лучше отражает центральный статистический момент. Параметры циклонических и антициклонических вихрей близки: радиус  $53 \pm 15$  км, возвышение (понижение) уровня моря в центре невелико,  $4 \pm 3-4$  см, что немного выше точности альтиметрических измерений.



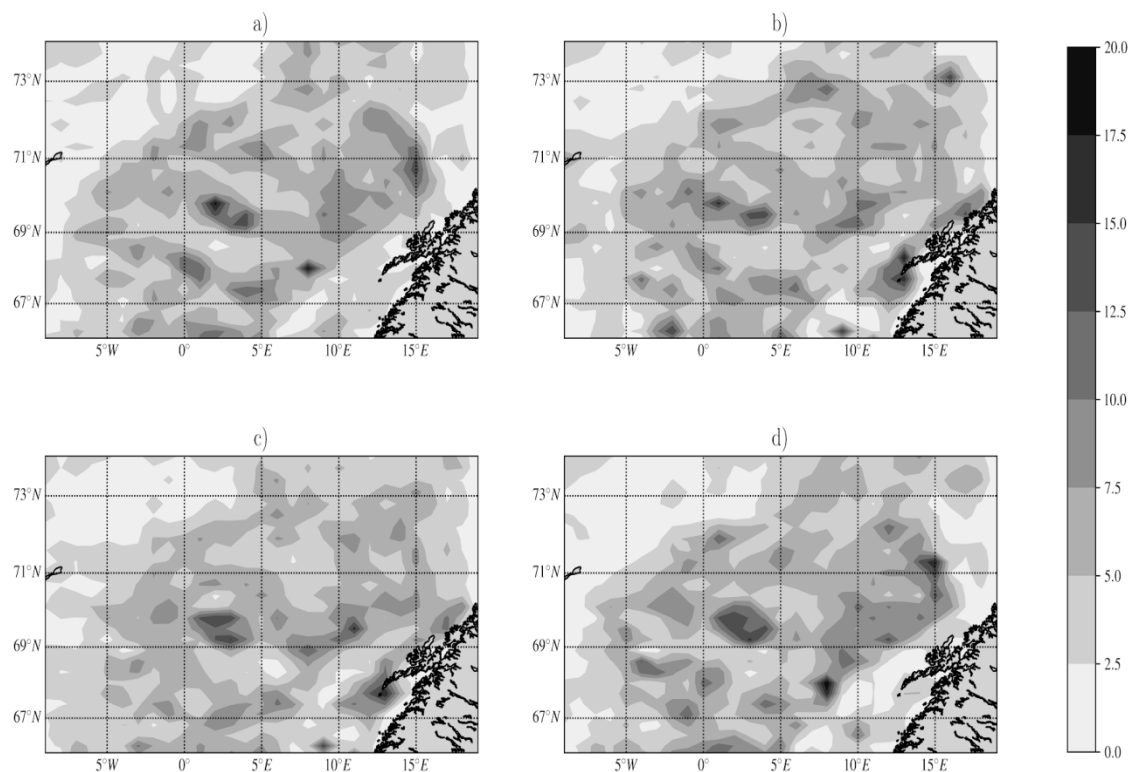


Рис. 1. Пространственное распределение частоты появления мезомасштабных вихрей в ячейке ( $1^{\circ}$  долготы,  $0.3^{\circ}$  широты), выделенных методом автоматической идентификации в Норвежском море за 1993-2017 гг. Циклонические – верхняя панель: (а) октябрь-март; (б) апрель-сентябрь; антициклонические – нижняя панель: (с) октябрь-март; (д) апрель-сентябрь.

Таблица 1. Статистические параметры характеристик циклонических (Ц) и антициклонических (А) вихревых образований на треках в Норвежском море за 1993-2017 гг.

Характеристика	Тип вихря	Статистический параметр				
		Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Радиус, км	Ц	55,0	53,3	15,8	24,3	122,9
	А	55,1	53,0	15,6	24,3	136,2
Амплитуда, см	Ц	5,2	4,2	3,5	1,0	29,3
	А	6,2	5,0	4,3	1,0	26,6
Азимутальная скорость, см/с	Ц	28,2	6,2	46,6	0,5	348,6
	А	32,3	7,7	54,0	0,6	395,1
Продолжительность жизни, сутки	Ц	46,4	43,0	10,2	35,0	80,0
	А	50,8	46,0	16,6	35,0	131,0
Скорость перемещения, км/сут	Ц	4,0	3,1	3,20	0,0	21,4
	А	4,0	3,1	3,1	0,0	21,2

Однако эти параметры неравномерно распределены по акватории. В пространственном распределении радиуса вихрей просматривается его увеличение по мере удаления от течения по направлению к северу. Амплитуда мезомасштабных вихрей, а именно значение экстремума аномалии уровня внутри контура вихря, заметно превышает свое среднее значение вблизи Норвежского течения и в зоне Лофотенского вихря (рис. 2).

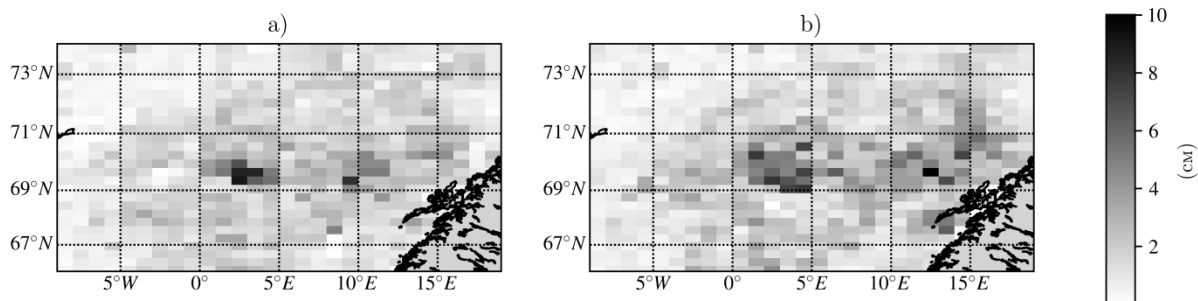


Рис. 2. Средняя амплитуда (в ячейке  $1^{\circ}$  долготы,  $0.3^{\circ}$  широты) вихрей, идентифицированных методом автоматической идентификации в Норвежском море за 1993-2017 гг. а) циклонических, б) антициклонических.

В среднем антициклоны живут на четверо суток дольше, нежели чем циклоны, в то время как максимальная разница может достигать полутора месяцев. Средняя скорость перемещения циклонических вихрей на треках и антициклонических равна и обладает ярко выраженным сезонным ходом: зимой (февраль-апрель) проявляются максимумы скоростей перемещения обоих типов вихрей. К лету скорость их перемещения значительно снижается, осенью отмечается небольшой всплеск активности у антициклонических образований.

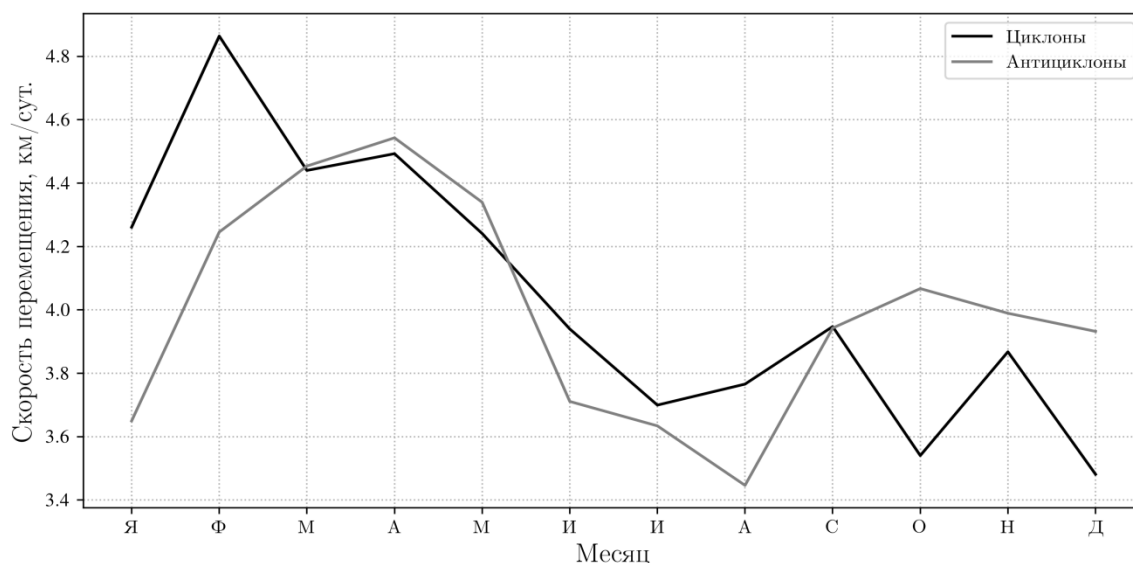


Рис. 3. Внутригодовая изменчивость скорости перемещения вихревых образований по трекам в Норвежском море за период 1993-2017 гг.

### Литература

1. Faghmous J. H., Frenger I., Yao Y., Warmka R., Lindel A., Kumar V. A daily global mesoscale ocean eddy dataset from satellite altimetry // Sci. Data. 2015. No. 2. Doi: 10.1038/sdata.2015.28.
2. Global ocean gridded l4 sea surface heights and derived variables reprocessed (1993-ongoing). URL: [http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIO NS\\_008\\_047](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIO NS_008_047)

3. Kubryakov A.A., Bagaev A.V., Stanichny S.V., Belokopytov V.N. Thermohaline structure, transport and evolution of the Black Sea eddies from hydrological and satellite data // Progress in Oceanography. 2018. No.167. Pp. 44-63. DOI: 10.1016/j.pocean.2018.07.007
4. Mason E., Pascual A., McWilliams J.P. A New Sea Surface Height–Based Code for Oceanic Mesoscale Eddy Tracking // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2014. Vol. 31, No. 5. Pp. 1181–1188. Doi: 10.1175/jtech-d-14-00019.1

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.*

*This work was financially supported by the Russian Science Foundation, grant No. 18-17-00027.*

## КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА Р. МАЙМА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) В ПЕРИОД С 1940-2016 ГГ.

В.В. Зуев<sup>1</sup>, Е.М. Короткова<sup>1</sup>, В.А. Уйманова<sup>1</sup>, Н.Ф. Харламова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

## CLIMATE-RELATED VARIATIONS IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE MAIMA RIVER (MOUNTAIN ALTAI) DURING 1940-2016

V.V. Zuev<sup>1</sup>, E.M. Korotkova<sup>1</sup>, V.A. Uymanova<sup>1</sup>, N.F. Kharlamova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Altai State University, Barnaul, Russia

*Рассмотрен водный и ледовый режим р. Майма в условиях изменения климата. Показано, что преимущественное влияние на гидрологические характеристики оказывают изменения метеопараметров в зимний период.*

*The water and ice regimes of the Maima River under modern climate change and considered. Changes in meteorological parameters in the winter period are shown to have a predominant effect on the hydrological characteristics.*

Современные изменения климата выражаются в росте глобальной температуры воздуха и региональном перераспределении количества осадков. Являясь продуктом климата, реки отвечают на изменение метеорологических параметров изменениями в гидрологическом режиме. Реки Горного Алтая играют ключевую роль в формировании поверхностного стока в бассейне Верхней Оби. Однако именно территория Алтайских гор относится к районам наибольшего увеличения повторяемости и продолжительности опасных наводнений и паводков вследствие наблюдаемых климатических изменений [1]. Так, например, катастрофический паводок на р. Майма в мае 2014 года, вызванный выпадением обильных ливневых осадков в период снеготаяния, нанес значительный ущерб столице Республики Алтай г. Горно-Алтайску.

Майма – малая река на севере Республики Алтай, правый приток Катуня. Длина реки составляет 57 км, превышение истока над устьем 800 м, средняя отметка водосбора 670 м. Притоками Маймы являются более 20 малых рек и ручьев протяженностью до 10–25 км. Бассейн р. Майма площадью 780 км<sup>2</sup> приурочен к низко-среднегорной умеренно увлажненной и залесенной зоне Северного Алтая, и характеризуется единством условий формирования стока, что делает его перспективным модельным объектом для ландшафтно-гидрологических исследований на Алтае [2]. По типу водного режима р. Майма относится к рекам с весенним половодьем и летними паводками. В бассейне Маймы имеется один гидропост в замыкающем створе с. Майма и одна длительно функционирующая метеостанция, так же расположенная в низовьях бассейна – с. Кызыл-Озёк. В нескольких точках на водосборе в 2014 году Институтом мониторинга климатических и экологических систем СО РАН была установлена система автономного гидрометеорологического мониторинга [3].

Данные гидропоста и метеостанции за период 1940-2016 гг. были использованы для анализа климатически обусловленных изменений гидрологического режима реки. Оценка изменчивости климатических характеристик осуществлялась за теплый (апрель-октябрь) и холодный (ноябрь-март) периоды; изменчивости стока – за гидрологический год (апрель-март) с разделением на гидрологические сезоны: половодье – апрель-июнь, летне-осенняя межень – июль-октябрь, зимняя межень – ноябрь-март. Расчеты коэффициентов корреляции приведены для уровня значимости 0,05.

Началом периода современного изменения климата принято считать 1976 год, с которого наблюдается наиболее интенсивный рост температуры воздуха, в том числе в Алтайском регионе [4]. Для анализа сезонной и годовой динамики температуры воздуха и осадков рассмотрены их аномалии относительно климатической нормы за 1961-1990 гг., рекомендованной ВМО. Выявлен устойчивый переход 11-летнего скользящего среднего температуры воздуха через ноль, начиная с 1976 года (рис. 1), что согласуется с началом периода современного изменения климата. В

течение 1976-2016 гг. отрицательные среднегодовые температурные аномалии, обусловленные снижением температуры как теплого, так и холодного периодов, наблюдались в середине 1980-х и конце 2000-х/начале 2010-х гг. Как годовые, так и сезонные суммы осадков, в основном, не превышали климатическую норму.

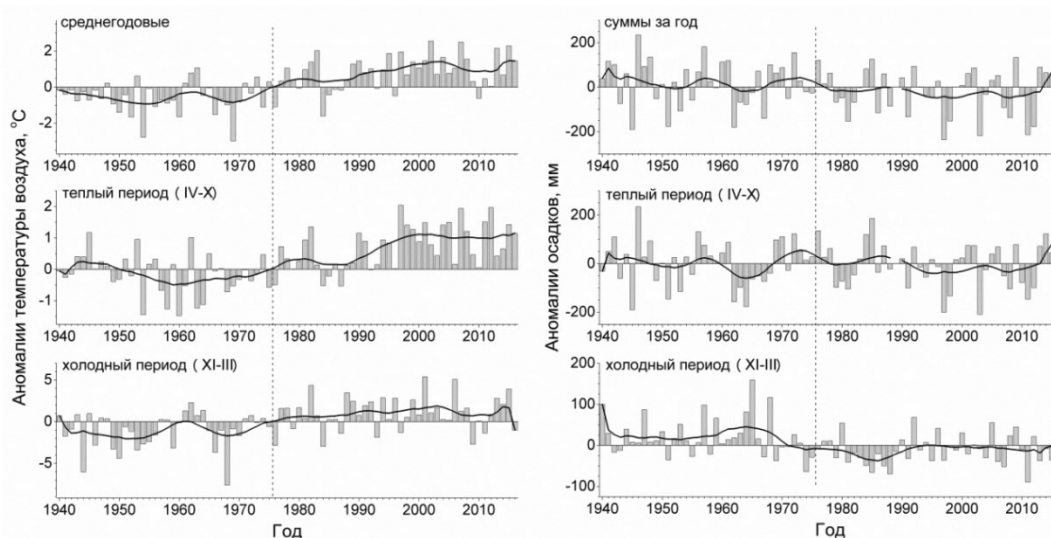


Рис. 1. Годовые и сезонные аномалии средней температуры воздуха и суммарных осадков относительно климатической нормы 1961-1990 гг., сглаженные 11-летним скользящим средним

На фоне повышения температуры воздуха и снижения количества осадков наблюдаются изменения годового и сезонного стока р. Майма (рис. 2). Так, динамика среднегодового расхода воды за весь период наблюдений, при отсутствии значимого тренда, характеризуется тенденцией к сокращению (рис. 2а). Значимая корреляция со среднегодовой температурой воздуха отмечается с 1976 года, в особенности, с температурой теплого периода (таблица 1). Коэффициенты корреляции среднегодового расхода воды, как с суммарными осадками, так и с осадками теплого периода до и после 1976 года близки по величине. Достоверный отрицательный тренд выявлен в динамике средних расходов воды в период половодья (рис. 2б). Подавляющая часть объема половодья р. Майма формируется за счет таяния снега на водосборе [5]. Сокращение количества осадков холодного периода, наблюдаемое с 1976 года, способствует уменьшению талого стока. В то же время, на объеме половодья сказывается воздействие и термического фактора. Повышение температуры воздуха в холодный период года способствует уменьшению глубины промерзания почвы и ранней водоотдаче из снежного покрова. Это приводит к пополнению запасов грунтовых вод, расходуемых на формирование зимнего стока, в результате чего к началу весеннего снеготаяния влагозапасы снежного покрова уменьшаются. Таким образом, потепление зим, наряду с уменьшением количества осадков холодного периода, создает условия для снижения стока половодья. Однако для территории исследования значимой корреляционной связи между средним расходом воды в половодье и температурой воздуха холодного периода не обнаружено, а коэффициенты корреляции расхода воды с зимними осадками в 1940-1975 и 1976-2016 гг. сопоставимы по величине (таблица 1). Изменения стока летне-осенней межени за весь период наблюдений характеризуются близким к нулю трендом и высокой корреляционной связью с осадками теплого периода (рис. 2в, таблица 1). При этом важно отметить, что при отсутствии значимых изменений водности, начиная с 1976 года, вклад температуры воздуха теплого периода в изменение среднего расхода воды летне-осенней межени возрастает, в то время как вклад количества осадков теплого периода снижается. С начала 1990-х гг. наблюдается увеличение водности зимней межени (рис. 2г). Слабая, но значимая корреляционная связь между зимним расходом воды и осадками холодного периода проявляется в 1976-2016 гг., что подтверждает описанный выше механизм увеличения зимнего стока в результате потепления зим. Тем не менее, с температурой холодного периода значимой связи не обнаруживается, хотя увеличение коэффициента корреляции в 1976-2016 гг. по

сравнению с 1940-1975 гг. свидетельствует о возрастании вклада температурного фактора в формирование стока зимней межени.

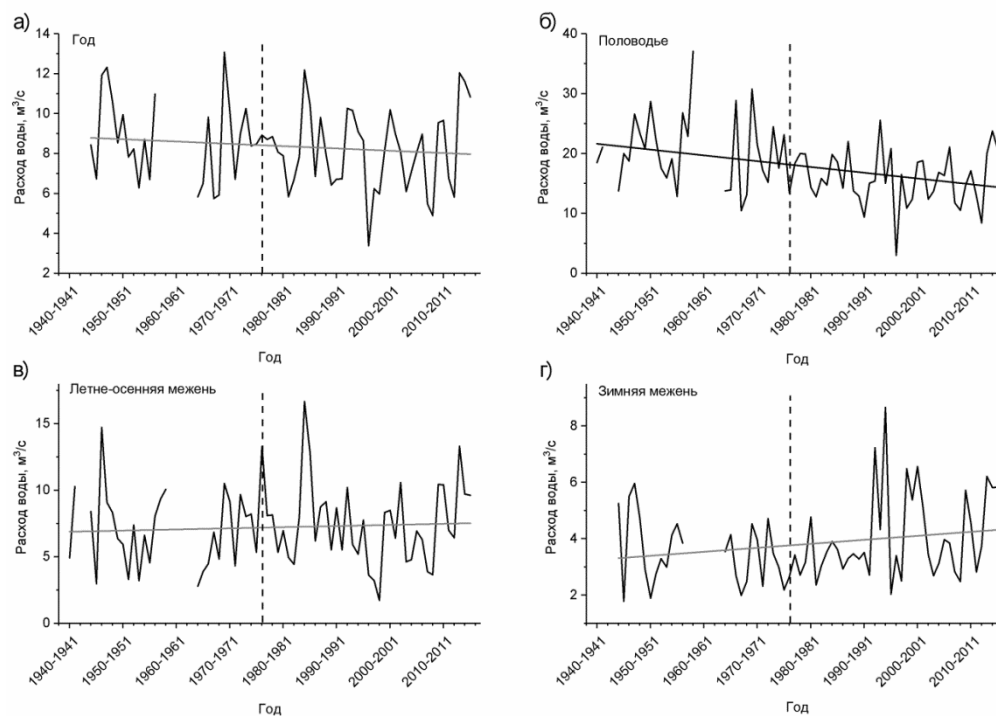


Рис. 2. Динамика изменения средних расходов воды р. Майма а) за гидрологический год, б) за половодье, в) за летне-осеннюю межень, г) за зимнюю межень

Таблица 1. Коэффициенты корреляции средних расходов воды и метеопараметров (1940-1975/1976-2016 гг.)

Средний расход воды, м³/с	N	Средняя годовая температура, °С	Сумма осадков за год, мм	Температура холодного периода, °С	Осадки холодного периода, мм	Температура теплого периода, °С	Осадки теплого периода, мм
Год	25/40	-0,22/-0,33	<b>0,62/0,6</b>	-0,15/-0,08	0,25/0,25	<b>-0,33/-0,42</b>	<b>0,71/0,68</b>
Половодье	30/40	-	-	-0,22/0,05	<b>0,41/0,46</b>	-	-
Летне-осенняя межень	30/40	-	-	-	-	-0,3/-0,53	<b>0,9/0,74</b>
Зимняя межень	25/40	-	-	0,07/0,26	0,15/0,37	-	-

\*Жирным шрифтом отмечены достоверные при уровне значимости 0,05 значения коэффициентов

При потеплении климата наиболее чувствительным элементом гидрологического режима водных объектов является ледовый режим. Даты установления и разрушения ледового покрова, а также продолжительность ледостава зависят от температуры воздуха холодного и переходных периодов, продолжительности устойчивого морозного периода и теплозапаса водной массы. На р. Майма с 1976 года наблюдается сокращение продолжительности ледостава (рис. 3а). Если в 1940-1975 гг. продолжительность ледостава изменялась в диапазоне от 117 до 164 дней и составляла в среднем 140 дней при средней температуре холодного периода -12 °С, то в 1976-2015 гг. средняя продолжительность ледостава уменьшилась почти в 2,5 раза и составляла 58 дней. При этом в некоторые годы ледостав отсутствовал полностью либо имел продолжительность не более двух недель (1996-1997, 2003-2004, 2005-2007). С 1976 года значительно возросла изменчивость дат вскрытия и замерзания реки, что отразилось и на изменчивости продолжительности ледостава (рис. 3б). Так, среднеквадратические отклонения продолжительности ледостава, дат вскрытия и замерзания в 1940-1975 гг. составляли

11, 8 и 13 дней соответственно, в 1976-2015 гг. – 19, 32 и 39 дней соответственно, т.е. изменчивость возросла в 2-3 раза. В период до 1976 года ледостав на Майме устанавливался в ноябре или в первой декаде декабря – средняя дата замерзания 19 ноября. В период 1976-2015 гг. образование ледостава стало наблюдаться позже (средняя дата 10 декабря); в отдельные годы замерзание реки приходилось на первую декаду января, а в 2005 году река покрылась льдом только 3 февраля. Вскрытие р. Майма до 1976 г. наблюдалось преимущественно в апреле и последней декаде марта – средняя дата вскрытия 6 апреля; после 1976 года даты вскрытия сместились на февраль-март, а в отдельные годы – на январь и даже декабрь, средняя дата вскрытия 25 февраля. Очевидна зависимость продолжительности ледостава от средней температуры холодного периода – коэффициент корреляции параметров за весь период наблюдений равен 0,61, что свидетельствует о средней связи. Невысокую величину коэффициента корреляции можно объяснить ростом вклада в процесс замерзания реки теплозапаса водной массы, возросшего вследствие увеличения температуры воздуха в теплый период года и поступления талой снеговой воды в реку в периоды зимних оттепелей.

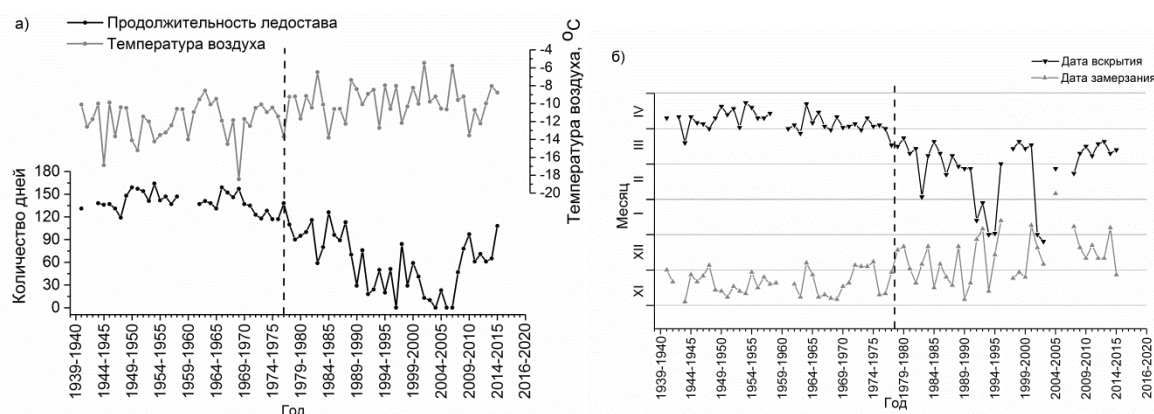


Рис. 3. Динамика а) средней температуры воздуха холодного периода и продолжительности ледостава; б) дат вскрытия и замерзания

Результаты исследований показывают, что на фоне наблюдающегося увеличения температуры воздуха и уменьшения количества осадков годовой сток р. Майма проявляет тенденцию к снижению. Статистически значимое снижение стока отмечается в половодье и связано с потеплением и уменьшением количества осадков в холодный период года. С потеплением зим так же связано и увеличение зимнего стока в 1990-2000-х годах. Таким образом, в соответствии с полученными результатами можно сделать вывод о перераспределении стока внутри года с весеннего на окончание зимнего сезона, вследствие наблюдающегося роста температуры воздуха в холодный период года. Потепление зим проявилось и в ледовом режиме р. Майма: с начала периода современного изменения климата (1976 г.) наблюдается сокращение продолжительности ледостава, смещение дат замерзания реки – на более поздние, а дат вскрытия – на более ранние.

## Литература

- Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России // Метеорология и гидрология. 2011. №2. С.74-83.
- Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне р. Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2012. №2. С. 360–369.
- Зуев В.В., Кураков С.А., Уйманова В.А. Комплексный мониторинг погодного-климатического и гидрологического режима бассейна р. Майма (Горный Алтай): первые результаты // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 70–75.
- Харламова Н. Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона: монография / Н. Ф. Харламова; АлтГУ. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2013. - 156 с.
- Галахов В.П. Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне реки Майма) // Известия Алтайского отделения географического общества. № 3(38). Барнаул, 2015, с. 35-40.

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕГО СЛОЯ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

В.В. Иванов<sup>1,2</sup>, д-р физ.-мат. наук, П.Н. Головин<sup>2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно – исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## INTERANNUAL VARIABILITY OF THERMOHALINE PARAMETERS IN THE DEEP ARCTIC OCEAN

V.V. Ivanov<sup>1,2</sup>, Dr.Sc., P.N. Golovin<sup>2</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

*На основе данных наблюдений проанализированы закономерности изменчивости температуры и солености в верхнем 20-ти метровом слое океана, обусловленные постепенным сокращением арктического морского льда в 1990-2010-е годы.*

*Temperature and salinity variability, caused by the gradual reduction of the Arctic sea ice in the 1990-2010s, is analyzed on the basis of observational data in the upper 20-meter ocean layer.*

Уменьшение объема арктического морского льда в 1990-2010-е годы изменило энергетический баланс в системе «океан – морской лед – атмосфера». Одним из последствий произошедших изменений стала трансформация вертикальной структуры вод, обусловленная более интенсивным атмосферным воздействием на верхний слой океана. Генеральной тенденцией при усилении атмосферного форсинга, на первый взгляд, должно было стать углубление верхнего перемешанного слоя, возрастание его теплозапаса к концу летнего сезона и замедление ледообразования в последующий зимний сезон [1]. Однако, в реальности, последствия сокращения морского льда оказываются менее предсказуемыми и регионально-зависимыми. Ключевую роль, при этом, играет распреснение верхнего слоя океана, вызванное интенсивным таянием льда и речным стоком, а также горизонтальная адвекция, зависящая от особенностей атмосферной циркуляции [2].

Временную изменчивость термохалинных параметров в фиксированной точке пространства можно проследить с помощью непрерывных наблюдений на заякоренных буйковых станциях (напр., проект НАБОС: <http://nabos.iarc.uaf.edu/>). В СЛЮ таких наблюдений немного и они непродолжительные. Другой подход, являющийся исторически более ранним, предполагает квази-регулярное выполнение гидрологических съемок в определенном районе (напр., экспедиции «Север»: [3]). Имевшийся в распоряжении авторов массив гидрологических данных позволил выделить локальные области в различных частях Арктического бассейна с высоким покрытием данным наблюдений. Для анализа было выбрано четыре характерные области: Западная (З), Восточная-1 (В1), и Восточная-2 (В2), а также и Приполюсная область (П) (см. рис 1). Размер выбранных областей в среднем составил ~150 x 150 км. В основу выбора именно этих областей были положены условия минимальной пространственной изменчивости термохалинных параметров внутри области и максимальная удаленность области от зон влияния речного стока. Результаты анализа представлены на рисунках 2 и 3 в виде временных зависимостей температуры и солености в слое 8-20 м отдельно для зимнего (ноябрь-май) и летнего сезона (июнь-октябрь).

Западная область расположена в котловине Нансена к северу от архипелага Северная Земля на значительном удалении как от путей распространения распресненных поверхностных вод из Карского моря, так и от трансарктического переноса распресненных речным стоком вод из моря Лаптевых. В этой области был выделен самый продолжительный ряд наблюдений за зимний период, включающий данные, полученные во время исторического дрейфа «Фрама» 1893-96 гг., а также значительное число наблюдений в современную эпоху, характеризующуюся резким сокращением морского льда (1990–2014 гг.). На рисунке 2а представлена межгодовая изменчивость температуры и солености в Западной области. Пространственная изменчивость этих параметров характеризуется разбросом точек вдоль вертикальных осей температуры и солености в каждый год, охваченный измерениями. В зимний сезон этот разброс значительно



меньше, чем летом по причинам указанным выше. В течение почти всего 20-го века (до начала 1990-х годов), когда большая часть Арктического бассейна была покрыта многолетними льдами, временная изменчивость солености была мала, в пределах 0.5-0.7 ед. практической солености (ЕПС). Температура также менялась незначительно, оставаясь вблизи точки замерзания. На рубеже 1990-х годов произошло скачкообразное осолонение поверхностного слоя на 2 ЕПС, сопровождавшееся уменьшением температуры. Это изменившееся состояние поверхностного слоя в Западной области сохраняется до настоящего времени, что подтверждают и менее продолжительные летние наблюдения.

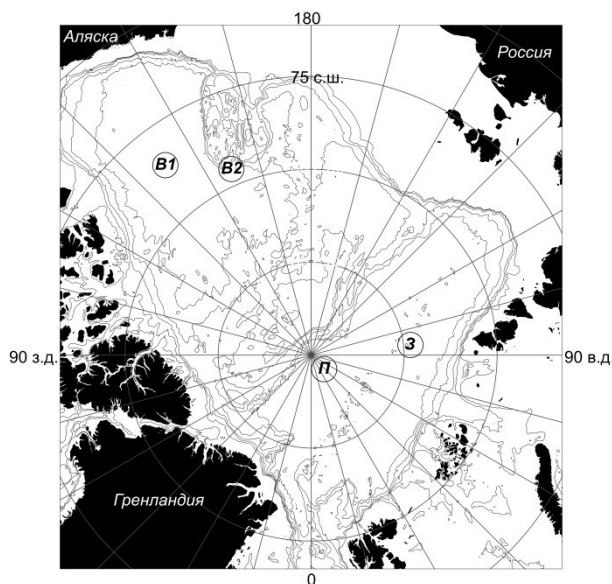


Рис. 1. Рельеф дна Северного Ледовитого океана. Положение выбранных для анализа областей показано кружками с соответствующей аббревиатурой.

Область V1 расположена в море Бофорта вдали от влияния пресноводного стока канадских рек, а область V2 - в Канадской котловине к северо-западу от V1. Обе восточные области насыщены данными, особенно V1, в которой в зимний период присутствуют наблюдения с начала 1950-х годов. В области V2 зимой имеются наблюдения с начала 1970-х годов, а летом – с конца 1980-х годов. Основной отличительной особенностью зимних наблюдений в обеих восточных областях является малая пространственная и временная изменчивость термохалинных параметров до начала 1990-х годов. Колебания солености составляют 0.5-0.7 ЕПС, а температуры - около 0.15°C. Очевидно, это обусловлено тем, что обширные районы восточной Арктики были покрыты массивами многолетнего пакового льда. С начала 1990-х годов в V1, а с конца 1990-х годов в V2 наблюдается значительное распреснение. В 2000-х годах соленость уменьшилась на 4-5 ЕПС, а температура возросла на 0.2-0.3°C. В этот же период зимой наблюдается увеличение пространственной изменчивости температуры и солености в обеих восточных областях, которое вероятно также связано с общей деградацией ледяного покрова и постепенном переходом от многолетнего льда к однолетнему льду. Многолетняя временная изменчивость температуры и солености в летний сезон в целом согласуется с временной изменчивостью в зимний сезон. Наблюдается сильное распреснение и прогрев в обеих восточных областях в 1990-е годы, с задержкой в V2 на несколько лет, по сравнению с V1, что вероятно связано с исчезновением многолетних льдов, интенсивное таяние которых началось раньше в более южных районах. Необходимо подчеркнуть, что в летний сезон в 2000-2010-е гг., существенно возросла пространственная изменчивость температуры и солености в обеих восточных областях. Пространственная изменчивость солености в этот период составляет 4-5 ЕПС, что сопоставимо с многолетней временной изменчивостью солености с начала 1990-х годов. Пространственная изменчивость температуры в восточных областях достигает 1.6-2.0 °C, что вдвое превышает многолетнюю временную изменчивость температуры в верхнем слое в летний сезон в этих областях и на порядок превышает временную изменчивость в зимний сезон.

Такая большая пространственная изменчивость в восточных областях вероятнее всего связана с отступлением постоянного ледяного покрова в 2000-2010-е гг.

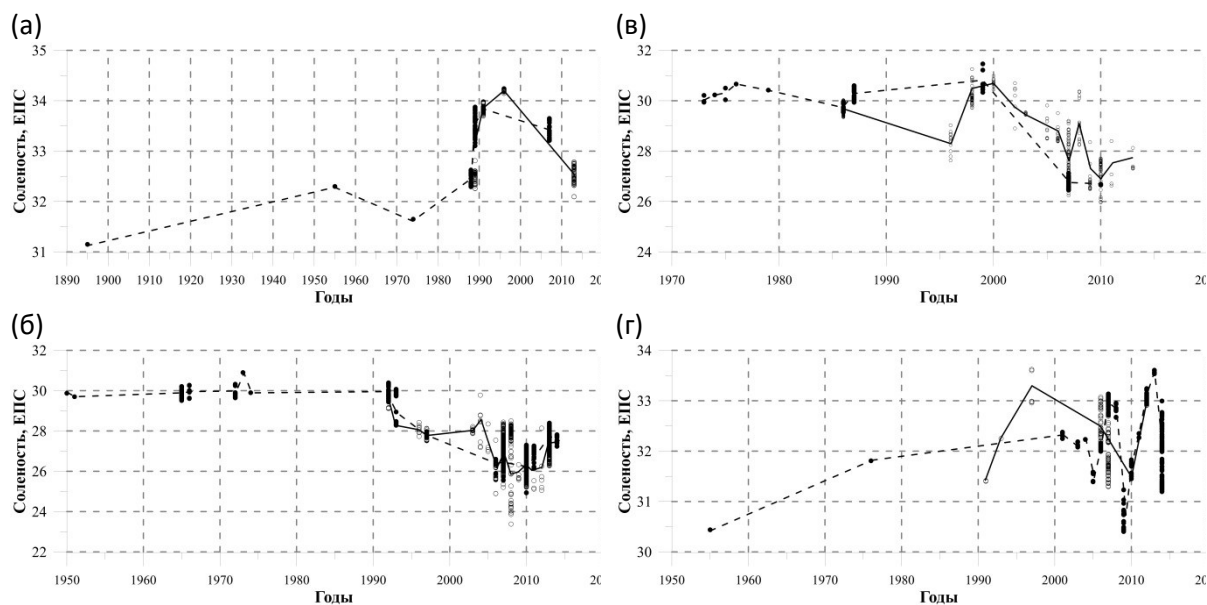


Рис. 2. Пространственно-временная изменчивость солёности верхнего 8-20 м слоя в Западной области (а), в Восточной-1 области (б), в Восточной-2 области (в) и в Приполюсной области (г).

Пунктирная линии и черные кружки – зима; сплошная линия и открытые кружки – лето.

Приполюсная область всегда была и остается труднодоступной для проведения прямых измерений, но при этом она всегда представляла интерес для исследований. Многолетняя изменчивость температуры и солёности в этой области в зимний сезон мала с 1950-х годов до конца 1990-х годов. Отмечаются слабые тренды на увеличение солёности (на 1 ЕПС) и уменьшение температуры (на 0.1-0.15 °С), сходные с трендами в Западной области. С конца 1990-х годов до середины 2000-х наблюдается быстрый рост солёности (на ~1 ЕПС), после чего, к концу 2000-х годов происходит резкое падение солёности (на 2.5 ЕПС). 2010-е годы характеризуются квази-периодическими колебаниями солёности с амплитудой 2-3 ЕПС. В 2014 г., наблюдается необычно большая для зимнего сезона пространственная изменчивость солёности (2 ЕПС), сравнимая с величиной межгодовой изменчивости. Следует подчеркнуть, что типичная пространственная изменчивость солёности зимой с 2000 по 2013 г. была на порядок меньше (0.2-0.7 ЕПС). Межгодовые колебания температуры согласованы с колебаниями солёности и достигают 0.15-0.2 °С. (см. рис. 3г). Вероятнее всего, выделенные в Приполюсной области межгодовые колебания температуры и солёности с периодом 4-5 лет не имеют прямой связи с климатическим изменениям. Столь значительные межгодовые колебания термохалинных характеристик в зимний период, формально являясь показателем временной изменчивости, скорее всего, отражают пространственную изменчивость смещения фронтальной зоны. Эта фронтальная зона разделяет распресненные речным стоком поверхностные воды, достигающие приполюсного района из моря Лаптевых, и более солёные воды, проникающие в этот район с запада. Т.е. обнаруженная межгодовая изменчивость температуры и солёности характеризуют временную изменчивость в положении фронтального раздела относительно выбранной области у полюса. С учетом этого, с большой долей вероятности можно говорить о том, что фронтальный раздел в 2014 г. располагался непосредственно в границах области П. Можно предположить, что наблюдаемая величина межгодовой изменчивости солёности 2.5-3.0 ЕПС (которая сопоставима с максимально наблюдаемой пространственной изменчивостью 2.0 ЕПС), характеризует величину перепада солёности через фронтальный раздел.

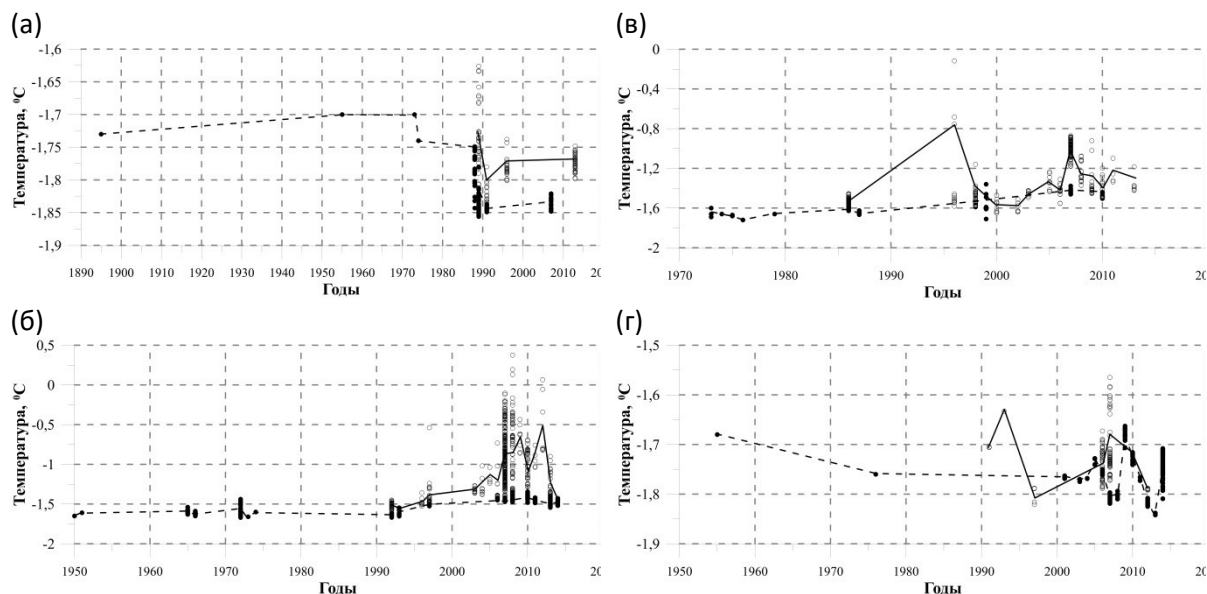


Рис. 3. Пространственно-временная изменчивость температуры верхнего 8-20 м слоя в Западной области (а), в Восточной-1 области (б), в Восточной-2 области (в) и в Приполюсной области (г). Пунктирная линии и черные кружки – зима; сплошная линия и открытые кружки – лето.

Результаты выполненного исследования можно кратко обобщить в виде следующих основных выводов. До начала 1990-х годов, когда большая часть Арктического бассейна была круглогодично покрыта многолетними льдами, временная изменчивость термохалинных параметров в верхнем перемешанном слое 8-20 м во всех рассмотренных областях была мала в течение всего года. С начала 1990-х годов наблюдаются заметные изменения температуры и солёности в зимний сезон, однако направление этих изменений неодинаково в различных областях. В Западной области отмечается осолонение и охлаждение поверхностных вод, тогда как в восточной Арктике (области В1 и В2), наоборот наблюдается сильное распреснение, обусловлено замещением многолетних льдов однолетними. Осолонение поверхностных вод в западной Арктике связано с увеличением поступления солёных атлантических вод из пролива Фрама и подъемом их к поверхности [5]. Малая площадь ледяного покрова или полное отсутствие льда в летний сезон в последние двадцатилетия увеличивает пространственную изменчивость температуры и солёности в поверхностном слое во всех районах Арктического бассейна, вследствие усиления термического и динамического воздействия атмосферы.

### Литература

1. Stroeve, J. C., Serreze, M. C., Holland, M. M., Kay, J. E., Malanik, J., Barrett, A. P. The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis. *Climatic Change*. 2012. 110 (3), 1005-1027. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0101-1>.
2. Morrison, J., R. Kwok, C. Peralta-Ferris, M. Alkire, I. Rigor, M. Steele. Changing Arctic Ocean freshwater pathways. *Nature*. 2012. 481, 66-70. doi.10.1038/nature10705.
3. Константинов Ю.Б., Грачев К.И. Высокоширотные воздушные экспедиции «Север» (1937, 1941-1993 гг.). СПб.: Гидрометеоиздат, 2000, 176 с.
4. Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А., Колдунов Н.В., Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? Исследования Земли из космоса. 2013, № 4. с. 50–65.
5. Polyakov I.V., A. V. Pnyushkov, M. B. Alkire, I. M. Ashik, T. M. Baumann, E. C. Carmack, I. Goszczko, J. Guthrie, V. V. Ivanov, T. Kanzow, R. Krishfield, R. Kwok, A. Sundfjord, J. Morison, R. Rember, A. Yulin, Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean, *Science*. 2017. 356, 285–291. <http://science.sciencemag.org/>.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ 17-05-41197.*

*The study was carried out with the financial support of the RFBR project 17-05-41197.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, РЕГИСТРИРУЕМОГО СО СПУТНИКОВ, В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ В АВГУСТЕ 2018 Г

Е.С. Игнатьева<sup>1</sup>, Д.А. Яковлева<sup>1</sup>, А.И. Шупило<sup>1</sup>, П.А. Салюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия

## RESEARCH OF THE SEA SURFACE COLOR FORMATION MECHANISMS MEASURED BY SATELLITES IN THE AMUR BAY IN AUGUST 2018

E.S. Ignateva<sup>1</sup>, D.A. Iakovleva<sup>1</sup>, A.I. Shupilo<sup>1</sup>, P.A. Salyuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia

*Для создания алгоритмов восстановления биооптических параметров из спутниковых данных по цвету моря проведены подспутниковые эксперименты по определению оптически-активных компонентов морской воды.*

*Subsatellite experiments were carried out to determine the optically-active components of seawater for creating algorithms for retrieving biooptical properties from ocean color satellite data.*

Амурский залив расположен в заливе Петра Великого в Японском море (рис. 1). Его воды испытывают значительную антропогенную нагрузку за счет стока реки Раздольная, сброса сточных вод (в том числе неочищенных) г. Владивосток, активного малого и крупного судоходства, осуществления бункеровки, существенной рекреационной деятельности на побережье. Ситуация усугубляется сезонным формированием гипоксии в придонных водах за счет микробиологического окисления «избыточной» биомассы диатомовых водорослей, оседающих на дно в условиях слабой динамики вод и при низкой интенсивности фотосинтетически активной радиации [1]. Также в заливе могут наблюдаться вредоносные цветения водорослей [2].

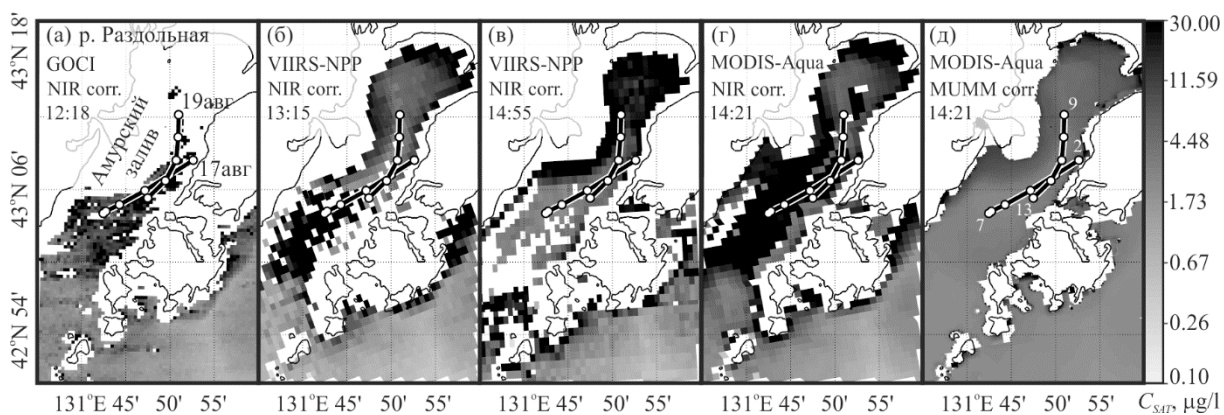


Рис. 1. Оценки концентрации хлорофилла  $C_{SAT}$  различными спутниковыми сканерами в Амурском заливе 19.08.2018. Станции 2-7 измерены 17 августа, станции 9-13 измерены 19 августа 2018 г.

Таким образом, необходимо проведение регулярного многоуровневого мониторинга и контроля состояния залива. Одним из наиболее эффективных инструментальных методов является спутниковое зондирование цвета поверхности моря, которое позволяет исследовать распределение оптически активных компонентов морской воды (далее – ОАК), значимо влияющих на распространение света в толще. Основными ОАК являются клетки фитопланктона (за счет поглощения света пигментами, в основном хлорофиллом-а (хл.-а), и за счет рассеяния света), растворённые органические вещества (далее – РОВ, за счет поглощения света) и взвешенные вещества (далее – ВВ, за счет рассеяния света). В свою очередь изучение данных

компонентов позволяет судить о множестве гидрологических процессов, происходящих в поверхностных водах [3].

Основными преимуществами спутникового зондирования является возможность одномоментных измерений на синоптических масштабах и возможности регулярных измерений над одной и той же акваторией. К главным недостаткам при зондировании поверхности моря в оптическом диапазоне относятся: невозможность получения данных при наличии облаков; сильная зависимость регистрируемого сигнала цвета моря от изменчивости состояния атмосферы в ясную погоду [4]; непостоянность соотношений между вкладом ОАК в цвет моря [5].

Важным является правильная интерпретация спутниковых данных о цвете моря, чтобы отделить инструментальные и природные факторы, формирующие сигнал, распознать проявление атмосферных процессов на данных о цвете моря, правильно разделить или учесть различный вклад ОАК в цвет моря за счет смены типов вод или при изменении стратификации вод.

Особенно внимательно необходимо подходить к спутниковым данным для оптически сложных вод, где присутствует большое количество ВВ, приводящее к сбоям алгоритмов атмосферной коррекции спутниковых данных [4], наблюдается существенное поступление РОВ, не связанных с жизнедеятельностью клеток фитопланктона, и наблюдаются существенные вариации в соотношениях между концентрациями РОВ и хл.-а.

Именно к таким водам относятся воды Амурского залива, в котором дополнительными факторами, которые могут отрицательно влиять на результаты спутникового зондирования, являются возможное влияние отраженных сигналов от дна и полей придонных макроводорослей.

Цель работы заключается в выявлении механизмов формирования цвета моря в Амурском заливе и в проверке возможностей оптического спутникового зондирования для изучения гидрооптических характеристик залива.

Для этого были проведены подспутниковые измерения вертикального распределения гидрооптических и гидрологических параметров вдоль двух разрезов в Амурском заливе 17 и 19 августа 2018г., показанные на рис. 1., и накоплен массив спутниковых данных со сканеров цвета моря с ежедневным покрытием над исследуемой акваторией: GOCI, VIIRS-NPP, MODIS-Aqua, MODIS-Terra. На рис. 1 также показаны соответствующие пространственные распределения спутниковых оценок концентрации хл.-а  $C_{SAT}$ .

Подспутниковые исследования включали в себя судовые и лабораторные измерения контактными методами основных оптически-активных компонентов, связанных с окрашиванием морской воды. С помощью гидрологического профилографа SeaBird SBE 19plus V2 были осуществлены измерения глубинных профилей температуры, электропроводности и давления с помощью встроенных датчиков, мутности и концентрации хл.-а вспомогательными датчиками Seapoint, и концентрации РОВ с помощью датчика WetLabs. Также проводился отбор проб на определение концентрации хл.-а по ГОСТ, коэффициентов поглощения света РОВ и массы ВВ. Каждая отобранная проба подвергалась фильтрации с использованием мембранных фильтров с порами 0.4 мкм.

В работе использованы спутниковые данные второго уровня L2, полученные с сайта [oceancolor.gsfc.nasa.gov](http://oceancolor.gsfc.nasa.gov), где они были обработаны с атмосферной коррекцией по алгоритму Near-infrared (NIR), и с сайта Центра спутникового мониторинга Дальневосточного отделения Российской академии наук <ftp://ftp.satellite.dvo.ru/pub/MODIS/PROJ/PGB/>, где осуществляется потоковая обработка данных MODIS-Aqua и MODIS-Terra для Залива Петра Великого с применением алгоритма атмосферной коррекции MUMM[4] и использованием спектральных каналов с пространственным разрешением 250 м для оценки содержания ВВ, что позволяет получить интерполированные данные по цвету моря для акватории Амурского залива с соответствующим пространственным разрешением.

Результаты вертикального профилирования водной толщи Амурского залива за 17 августа показаны на рис. 2. Выявлено, что наибольшие концентрации РОВ наблюдаются в верхнем 8-метровом слое и соответствуют наиболее прогретой воде с наименьшими концентрациями солей и плотностью, и высокой мутностью, что может говорить об их речном происхождении.

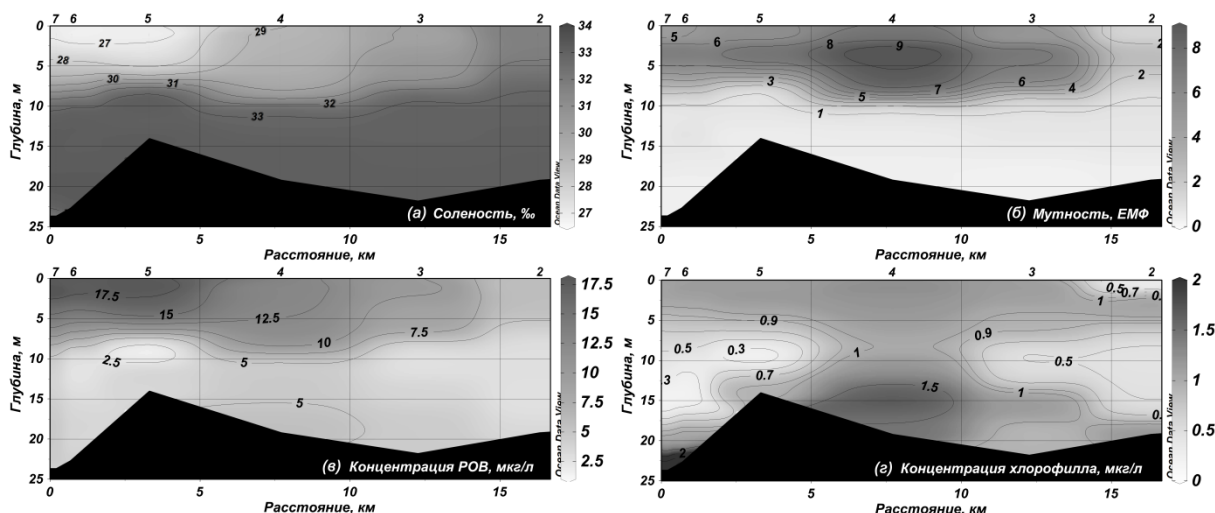


Рис. 2. Поперечные разрезы: а– солёности, б – мутности, в – концентрации РОВ и г – хл.-а в Амурском заливе за 17 августа 2018 г. Цифрами сверху показаны номера станций.

Распределение концентрации хл.-а имеет два слоя с наибольшими значениями: верхний до 2-3 метров и придонный. Виден приход вод, более богатых хл.-а, из Японского моря через пролив Босфор Восточный (станция 4). По диаграмме рассеяния хл.-а и РОВ выделяются два разных оптических типа вод в слое 0-10 и 10-25 метров (рис. 3). В слое 0-10 метров РОВ имеет отрицательную корреляцию с солёностью, что говорит о существенном вкладе веществ терригенного происхождения. В слое 10-25 метров РОВ определяется жизнедеятельностью фитопланктона, данные воды могут быть отнесены к первому оптическому типу.

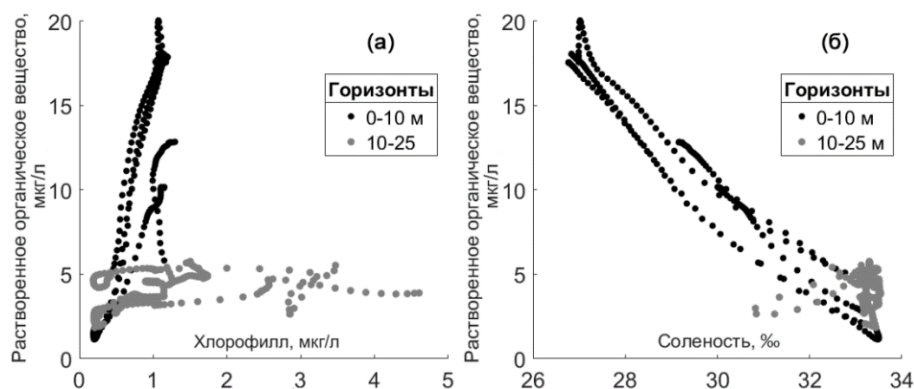


Рис. 3. Диаграммы рассеяния «хл.-а – РОВ» и «солёность – РОВ» за 17 августа 2018 г.

На основе архивных данных о связи коэффициентов ослабления света и содержания хл.-а и РОВ в водах залива Петра Великого была произведена оценка вклада каждого из выделенных слоев в формирование цвета морской поверхности для измеренных значений хл.-а и РОВ. Получено, что 95-97% вариаций цвета моря, регистрируемого дистанционно, без учета атмосферы, связаны с вертикальным распределением ОАК в верхнем 10м. слое и 3-5% определяются изменчивостью в слое 10-15м.

При анализе рис. 1 обращает на себя внимание тот факт, что данные, полученные с разных спутников крайне неоднородны. Например, в районе между широтами  $43^\circ\text{N}$  и  $43^\circ\text{N}'6'$  различие в оценках  $C_{SATC}$  разных сканеров достигает десяти раз: около 30  $\mu\text{kg/l}$  для рис. 1а,б,г и около 3  $\mu\text{kg/l}$  для рис. 1в,д. Причем такая разница наблюдается даже для одного сканера VIIRS-NPP снимки которого получены с интервалом в полтора часа, что не может быть объяснено океанологическими причинами. Основная причина наблюдаемых несоответствий заключается в неправильной работе алгоритмов атмосферной коррекции над водами Амурского залива, богатыми ВВ в верхнем слое. Также необходимо отметить, что сгеостационарного сканера

GOCIполучен только один снимок в 12 часов 19 августа 2018, при том, что он позволяет проводить измерения 8 раз в день, однако остальные измерения в этот день были не корректны.

Для того, чтобы сравнить разные алгоритмы атмосферной коррекции NIR и MUMM было проведено сопоставление между оптически-взвешенными концентрациями хл.-а  $C_{CTD}$ , измеренных с помощью профилографа SBE-19 plus, и индексами цвета  $R_{SAT}$ , рассчитанных из спутниковых измерений коэффициентов яркости моря  $Rrs$  на длинах волн 488 и 555 нм (рис. 4):

$$R_{SAT} = \log_{10}(Rrs(488)/Rrs(555)) \quad (1)$$

Сравниваемые величины должны иметь значимую обратную корреляцию, однако на рис. 4а видно, что при использовании стандартной обработки спутниковых данных с атмосферной коррекцией NIR наблюдается облако точек. В то время как на рис.4б при использовании атмосферной коррекции MUMM только одна точка выпадает из обратной зависимости. Причина данного выброса скорее всего связана уже не с атмосферной коррекцией, а с процессами распространения света в морской толще или с инструментальными ошибками подспутниковых измерений.

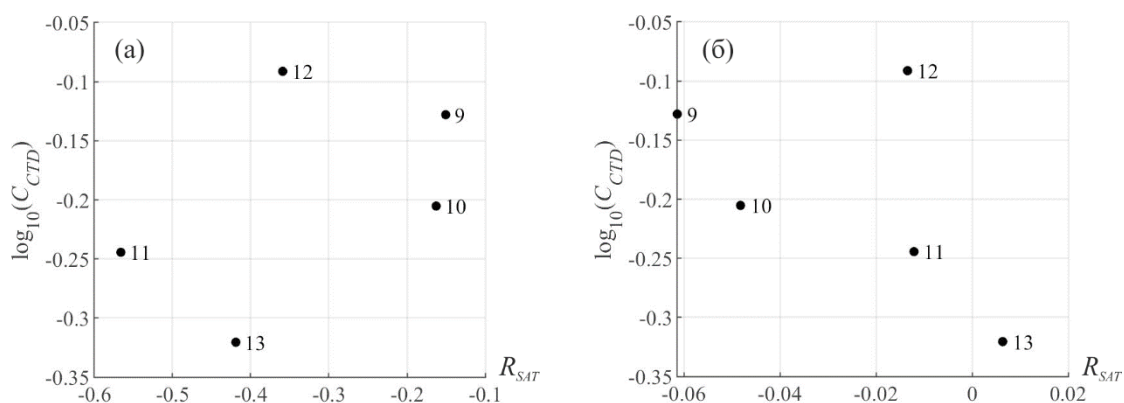


Рис. 4. Диаграмма рассеяния судовых измерений концентрации хл.-а  $C_{CTD}$  и спутниковых измерений индексов цвета  $R_{SAT}$ , посчитанных с применением алгоритма NIR(а) и MUMM (б). Цифрами около точек отмечены номера станций.

Таким образом можно сделать следующие выводы для вод Амурского залива. На всей акватории строго обязательно применение атмосферной коррекции спутниковых данных о цвете моря по алгоритму MUMM. Спутниковые данные корректны при глубинах от 15 м и больше. Основной вклад в формирование цвета поверхности оказывают ОАК до 8-10 метров от поверхности в слое, содержащем большое количество РОВ и ВВ терригенного происхождения. Необходима разработка сезонных биооптических алгоритмов для оценки содержания ОАК в различные сезоны. Спутниковый сканер GOCI требует улучшений алгоритмов обработки для использования данных в водах Амурского Залива.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Дальний Восток» (проект № 18-01-10).

### Литература

1. Тищенко П.Я. и др. Сезонная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 165. – С. 136-157.
2. Вершинин А.О., Орлова Т.Ю. Токсичные и вредные водоросли в прибрежных водах России // Океанология. – М.:2008. – № 104. – С. 568-582.
3. Штрайхерт Е.А., Захарков С.П.О пространственно-временной изменчивости концентрации хлорофилла-а на шельфе залива Петра Великого при зимне-весеннем цветении фитопланктона по спутниковым и подспутниковым данным // Исследование Земли из космоса. – 2016. – №1-2. – С. 173.
4. Алексанин А.И., Качур В.А. Особенности атмосферной коррекции спутниковых данных цвета океана в дальневосточном регионе // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 6. – С. 56-57.
5. Салюк П.А. и др. Разработка эмпирических алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла-а и окрашенных растворенных органических веществ для дальневосточных морей из дистанционных данных по цвету водной поверхности // Исследование Земли из космоса. – 2013. – №3. – С. 45.

## ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЛИВНОГО РЕЖИМА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ КЕРЕТЬ, КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ

В.В. Ионов<sup>1</sup>, Р.И. Май<sup>1</sup>, Г.В. Пряхина<sup>1</sup>, А.В. Рубченя<sup>1</sup>, Р.Е. Смагин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## EXPERIENCE OF THE COMPLEX RESEARCH OF THE TIDAL MODE OF ESTUARIAL AREA OF THE RIVER KERET, KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

V.V. Ionov<sup>1</sup>, R.I. Mai<sup>1</sup>, G.V. Pryakhina<sup>1</sup>, A.V. Rubchenia<sup>1</sup>, R.E. Smagin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Изучение устьев рек затруднено сложным взаимодействием стока речных вод и приливов. Это требует подхода, сочетающего наблюдения in situ, неконтактные (георадарные) исследования толщи вод и гидродинамическое моделирование управляющих процессов.*

*Investigation of estuaries is complicated by difficult interaction of river waters and tides. It demands the approach which combines observations in situ, distant (georadar) researches of thickness of waters, and hydrodynamic modeling of the operating processes.*

### Введение.

Важность изучения динамики устьевых областей рек обуславливается сложностью взаимодействия стока речных вод с приливной динамикой морской акватории. Именно там имеют место столь интересные и всё ещё малоизученные явления и процессы как приливной бор, гидрофронт, маргинальный фильтр, приливная осушка.

Изучение названных и других феноменов требует комплексного подхода, сочетающего постановку стандартных натуральных гидрологических, океанографических и метеорологических наблюдений, неконтактного метода подповерхностной радиолокации (георадиолокации) для исследования особенностей явлений в толще вод в почти реальном масштабе времени и метода численного гидродинамического моделирования управляющих процессов. Приливной эстуарий реки и губы Кереть – части губы Чупа, Кандалакшского залива Белого моря – едва ли не идеальный природный полигон для проведения подобного изучения. (Рис. 1)



Рис. 1. Губа Кереть – воронкообразная акватория, отделенная от Белого моря островами Средний и Горельый. В вершине расположено устье р. Кереть. Водообмен с Белым морем происходит через три пролива: Средняя Салма, Узкая Салма и пролив Подпахта.



По предлагаемой "новой схеме районирования устьевой области реки в неё может входить до четырёх основных частей: устьевой участок реки, дельта, эстуарий и устьевая зона приёмного водоема"[1, с. 245]. В то же время, "сущность эстуария состоит в происходящих в нём процессах взаимодействия разнородных водных масс (как правило, пресных и солёных) ... при участии внешних источников энергии (как правило, приливов)" [2, с. 278]. Таким образом, полигон наших исследований вполне вправе называться приливным эстуарием.

#### **Наблюдения колебаний уровня моря.**

Ежечасные наблюдения за уровнем моря выполнялись в бухте Ноговица о. Средний визуально с помощью рейки, установленной вблизи берега. Измерения производились в летние периоды 2011-2015 гг. во время полевых практик с участием студентов кафедры океанологии СПбГУ. Временные ряды наблюдений были подвергнуты классическому гармоническому анализу приливов по методу наименьших квадратов. Вычислены амплитуды и фазы 33 составляющих прилива: 2 долгопериодные гармоники, 7 суточных гармоник, 6 полусуточных гармоник, 18 мелководных гармоник. Полученные гармонические постоянные описывают 96% дисперсии измеренного уровня моря и могут быть использованы для предвычисления приливов на произвольный отрезок времени летнего периода [3].

#### **Измерения течений в проливах губы Кереть.**

В проливах Средняя Салма и Узкая Салма проводились суточные серии измерений течений на горизонтах 1, 3 и 6 м. с дискретностью 30 минут. Для устранения бароклинной моды течения осреднялись по горизонтам. Поскольку течения в проливах Средняя Салма и Узкая Салма имеют реверсивный характер, то для гармонического анализа достаточно взять составляющую течений, ориентированную вдоль оси пролива. Гармонические постоянные продольной составляющей приливного течения для пролива Средняя Салма рассчитаны по двум суточным сериям наблюдений Адмиралтейским методом («парный метод»). Гармонические постоянные течений в проливе Узкая Салма рассчитаны Адмиралтейским методом по одной суточной серии наблюдений («метод сравнения») [4].

#### **Особенности распространения и трансформации толщи речных вод в эстуарии.**

Взаимодействия речных и морских вод исследовались неконтактным методом – подповерхностной вертикальной радиолокации (методом георадиолокации) [5]. Он чётко и точно фиксирует границу между солёной и пресной водой с высоким пространственно-временным разрешением. Применение этого метода позволяет визуализировать области распространения пресной воды в эстуарии на разных фазах приливо-отливного цикла; "увидеть", где и как происходит перемешивание пресной и солёной воды, при разных величинах стока реки, различных погодных условиях и пр. (Рис. 2).

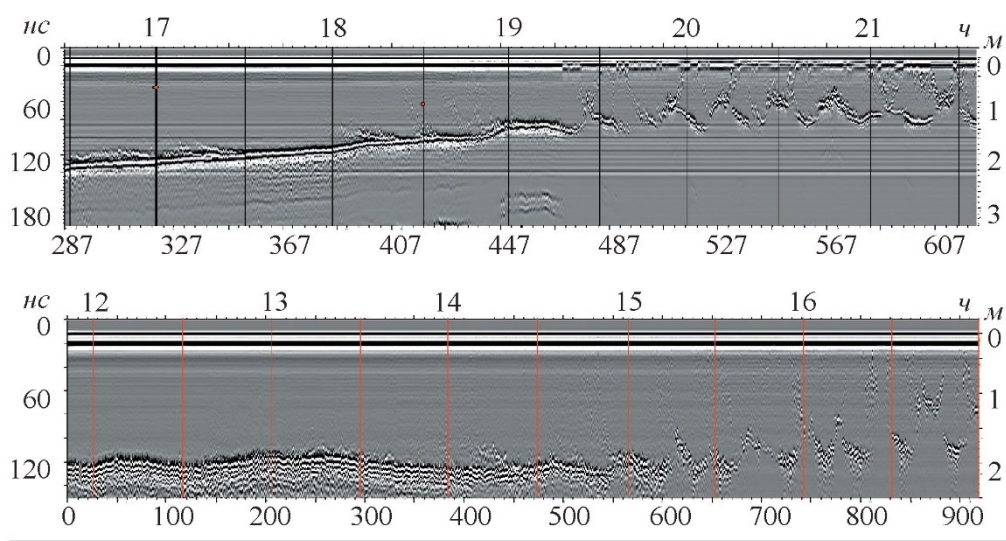


Рис. 2. Радарограммы, полученные при измерениях в той же точке на фазе прилива. По верху радарограмм отложено время – часы, по бокам слева – время прихода сигнала, наносекунды, справа – глубина, м. Вверху – 16.08. 2011 г., внизу – 15.08. 2012 г.

### Гидродинамическая модель, как компонент комплекса исследований эстуария.

Исследование приливных эстуариев исключительно с помощью инструментальных рядов наблюдений *in situ* не позволяет полностью выявить пространственно-временные особенности изменений гидрофизических полей. Восполнить недостаток данных наблюдений может численная гидродинамическая модель. Она дает возможность получать почти непрерывное пространственно-временное распределение гидрофизических характеристик изучаемой акватории. Специальные реализации модели позволяют рассмотреть гипотетически возможные изменения различных параметров, их влияние на общий гидрологический режим вод. Эффективность комплексного исследования динамики вод приливного эстуария возрастает при совместном использовании модели и массива данных инструментальных наблюдений; правдоподобность моделирования оценивается данными измерений *in situ*, с другой стороны, результаты моделирования позволяют интерполировать и экстраполировать по пространству и во времени имеющиеся данные наблюдений.

### О принятой модели Принстонского университета POM (Princeton Ocean Model). [6]

Модель POM многократно использовалась для моделирования динамики и термодинамики различных акваторий: от Мирового океана, отдельных океанов и морей, до бухт, эстуариев, рек и даже небольших озер, расположенных на суше. Есть положительный опыт применения модели POM для моделирования акваторий с пространственным шагом от 10 м. Для аппроксимации пространственных производных конечно-разностными аналогами, в модели используется сетка «С» по классификации Аракавы. (Рис. 3).

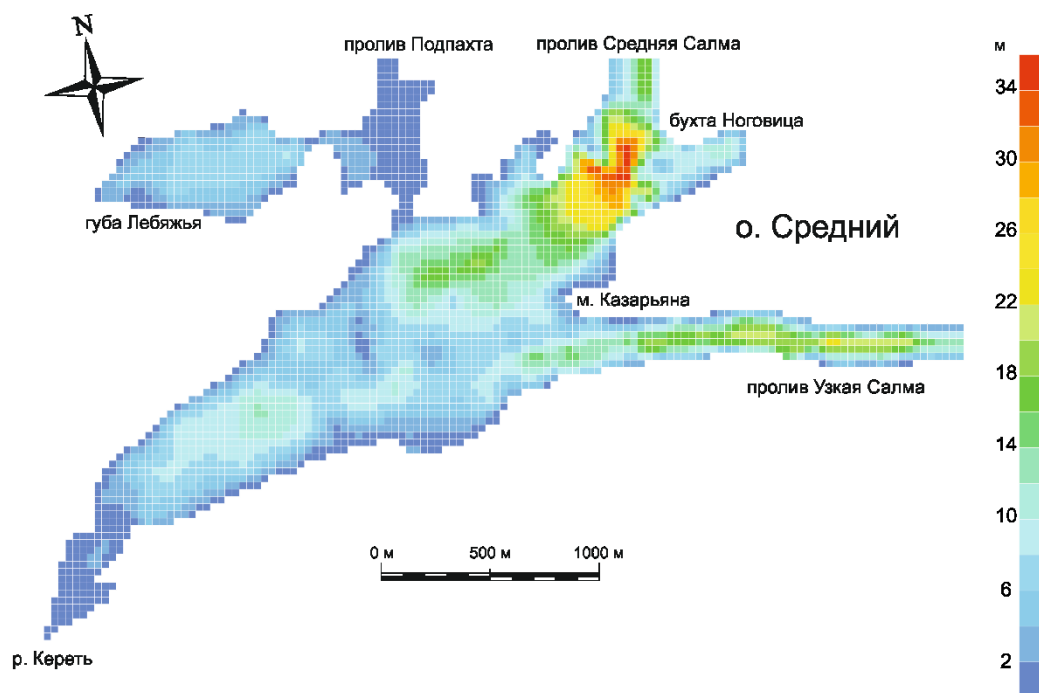


Рис. 3. Сеточная область модели приливного эстуария р. Кереть.

Система уравнений движения и неразрывности в приближении мелкой воды реализована в так называемых сигма-координатах, где вертикальная дискретизация выполняется не для горизонтов с фиксированной толщиной, а для задаваемого количества слоев. Для оптимизации расчета модели на компьютере, вертикально интегрированные уравнения (двумерный модуль) и уравнения вертикальной структуры (трехмерный модуль) разделены.

Начальными условиями модели служат невозмущенные поля течений и уровня моря, которые впоследствии выводятся из равновесия приливными колебаниями, заданными на открытой границе. Корректное задание граничных условий – залог приемлемых результатов численной гидродинамической модели. Существует множество вариантов задания условий на открытой границе.

Самым простым представляется задание колебания уровня на открытых границах, когда высота уровня на открытой границе приравнивается к известным или рассчитанным высотам уровня моря (1). Аналогично можно задать течения на открытой границе (2): когда течения, известны по данным измерений или расчета.

$$\xi_{bc} = \xi_{data} \quad (1)$$

$$U_{bc} = U_{data} \quad (2)$$

Наиболее интересен вариант условия излучения, учитывающий не только колебания уровня моря на открытой границе, но также и изменение течений (3) где  $\xi$  – колебания уровня моря возле открытой границы, воспроизведенные моделью.

$$U_{bc} = U_{data} + (\xi - \xi_{data}) \sqrt{\frac{g}{H}} \quad (3)$$

### Верификация численной гидродинамической модели приливного эстуария Кереть.

Таблица. 1. Проверка корректности воспроизводства моделью изменений приливных явлений по сравнению с данными наблюдений за уровнем и инструментальными измерениями течений.

Условия на открытой границе	Уровень моря			Течения		
	RMSE, см	MAE, см	r	RSME, см/с	MAE, см/с	r
$\xi_{bc} = \xi_{data}$ (1)	12,7	10,7	0,98	22,7	15,3	0,49
$U_{bc} = U_{data}$ (2)	44,2	39,9	0,85	13,5	10,9	0,78
$U_{bc} = U_{data} + (\xi - \xi_{data}) \sqrt{\frac{g}{H}}$ (3)	15,6	12,9	0,97	9,8	7,5	0,88

RMSE– среднеквадратическая ошибка результатов моделирования, MAE – средняя абсолютная ошибка результатов моделирования, r – коэффициент парной корреляции между рядами измерений и результатами моделирования.

Таким образом, качество моделирования с граничным условием (3) можно считать приемлемым, а модель верифицированной.

#### Заключение.

Все три компонента заявленного нами комплексного подхода к исследованию режима взаимодействия речных и морских вод в приливном эстуарии представлены работающими на деле.

#### Литература

1. Михайлов В.Н., Горин С. Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, 2012, том 39, № 3, с. 243–257.
2. Пантюлин А.Н. Гидрологические и экологические исследования Белого моря // География, общество, окружающая среда. Том VI, с. 265-281. М.: Изд. Дом “Городец”, 2004.
3. Ионов В. В., Май Р. И., Смагин Р. Е. Новые гармонические постоянные приливных колебаний уровня моря в губе Кереть Белого моря (по данным экспедиционных работ 2011 года) // Вестн. С.-Петербург. ун-та. 2013. Сер.7., Вып. 2. С. 94-107.
4. Ионов В. В., Май Р. И., Смагин Р. Е. Течения в проливах губы Кереть // Вестн. С.-Петербург. ун-та. 2016. Сер. 7., Вып. 1. С. 73-89.
5. Крылов С. С., Бобров Н Ю., Пряхина Г. В., Бричева С. С., Ионов В. В. Особенности распространения и трансформации речных вод в приливном эстуарии р. Кереть // Метеорология и гидрология. 2014. № 10. С. 54-64.
6. Ионов В. В., Май Р. И., Смагин Р. Е. Численная гидродинамическая модель приливных явлений в губе Кереть (Кандалакшский залив, Белое море) // Известия РГО. 2015. Т. 147. № 2. С. 22-37.

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ГРОЗ И ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ НА АЗОВСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

А.Р. Йошпа<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, С.М. Хартиев<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## ESPECIALLY EDUCATION AND REPEATABILITY OF THUNDERSTORMS AND TORRENTIAL RAIN ON THE AZOVSKOM COAST OF KRASNODAR REGION

A.R. Ioshpa<sup>1</sup>, Cand.Sc., S.M. Khartiev<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-na-Donu, Russia

*Обобщены и проанализированы многолетние (1966—2016 гг.) данные метеорологических наблюдений по 3 метеостанциям. Выявлены основные синоптические процессы характерные для образования конвективной облачности в данном регионе. Проведена оценка повторяемости и продолжительности гроз и ливневых осадков в районе.*

*Compiled and analyzed by the perennial (1966-2016) data of meteorological observations by manned and 3. Identifies the main synoptic processes characteristic of convective cloud formation in this region. Estimation of occurrence and duration of thunderstorms and torrential rainfall in the area.*

Анализ данных по природным катастрофам, которые произошли на Земле во второй половине XX столетия и начале XXI столетия (до 25% всех природных катастроф пришлось на наводнения, за которыми следуют лесные пожары -893 случая (12%) и на третьем месте грозы и удары молний - 819 случаев или 11%), позволяет говорить об определенных тенденциях в развитии природных опасностей как у нас в стране, так и в мире в целом. Эти тенденции выражаются в:

- росте количества природных катастроф,
- увеличении социальных и материальных потерь,
- зависимости защищенности людей и техносферы от социально-экономического уровня развития стран.

Мировой опыт показывает, что затраты на прогнозирование и обеспечение готовности к природным событиям чрезвычайного характера в 15 раз меньше по сравнению с затратами на предотвращение ущерба [1].

Наводнение в Южном федеральном округе происходят в основном из-за сильных ливневых дождей. Особую угрозу для населения представляют так называемые внезапные паводки, связанные с кратковременными, но очень интенсивными ливнями. Сравнительно кратковременные поднятия уровня воды в долинах рек в результате обильных дождей, а также значительное затопление местности являются типичными погодными явлениями в Краснодарском крае. Кубанские паводковые кризисы возникают регулярно. Ежегодно они наносят огромный ущерб экономике края. За последние 10 лет ущерб от наводнений, вызванных опасными метеорологическими явлениями в Краснодарском крае составил около 40 млрд рублей [2,3].

Поэтому современное экономическое планирование немыслимо без учета природных опасностей, без учета степени риска, целиком базирующегося на принципах прогноза.

Для изучения закономерностей и тенденций в распределении и оценки интенсивности опасных явлений погоды (ОЯП) были рассмотрены случаи повторяемости их за период 1966-2016 гг. по данным метеонаблюдений трех метеостанций, расположенных на Азовском побережье Краснодарского края (Ейск, Должанская, Пр. Ахтарск), включая НАО (неблагоприятное атмосферное явление).

Из опасных явлений погоды, зафиксированных на территории побережье, наиболее значимыми как по частоте наблюдения, так и по воздействию на жизнедеятельность и производственные сферы, являются такие ОЯП как конвективная облачность и связанные с ней ливневые осадки и грозы.

Мощная атмосферная конвекция является объектом пристального внимания специалистов, занимающихся изучением особенностей формирования погоды и климата на Северном Кавказе. Являясь основным условием реализации таких особо опасных явлений погоды как

разрушительные ураганы, крупный град, ливневые осадки и грозы, приводящие к катастрофическим последствиям, восходящие движения, с другой стороны, способствуют очищению воздушной среды от естественных и антропогенных примесей.

Грозы и ливневые осадки, как было уже сказано, неразрывно связаны с образованием кучево-дождевых облаков. Кучево-дождевые облака могут образовываться в однородной воздушной массе (внутримассовые кучево-дождевые облака) или на атмосферных фронтах (фронтальные кучево-дождевые облака), повторяемость такой облачности представлена в таблице 1.

Таблица 1 Повторяемость форм облаков вертикального развития (% от общего количества форм облачности) на побережье Азовского моря (Краснодарского края) за период с 1966 по 2016 гг.

форма облаков месяц	Ейск		Пр.Ахтарск		Должанская	
	Сu	Сb	Сu	Сb	Сu	Сb
Январь	-	-	-	-	-	-
Февраль	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Март	3,3	0,4	3,4	0,6	3,4	0,7
Апрель	12,1	1,0	7,0	1,1	11,0	1,1
Май	20,0	3,8	20,0	6,5	20,0	5,6
Июнь	38,8	8,4	18,9	9,6	38,9	8,7
Июль	35,1	6,9	17,3	10,3	37,3	8,1
Август	24,0	8,3	20,0	19,8	24,0	9,6
Сентябрь	19,5	4,0	10,4	9,6	18,9	6,2
Октябрь	2,5	0,2	3,5	0,9	3,1	0,6
Ноябрь	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Декабрь	-	-	-	-	-	-

В теплую половину года (апрель-октябрь) над сушей и морем формируются внутримассовые грозы. Внутримассовые грозы над сушей образуются за счёт термической конвекции в полуденные и послеполуденные часы. Морские внутримассовые грозы чаще всего возникают во второй половине ночи в результате конвекции над морем.

Как видно из таблицы 1, наибольшая повторяемость облаков вертикального развития наблюдается в период с мая по сентябрь (23,5-47,6 %), с максимумом в июне, при этом максимум развития кучево-дождевой облачности приходится также на июнь (6,9%). Небольшая повторяемость мощно-кучевой облачности объясняется стремительным развитием конвективной облачности и непродолжительной ее «жизнью» в данной фазе. В зимние месяцы облака вертикального развития практически не наблюдаются, хотя встречаются редкие исключения (гроза в феврале 2001 года).

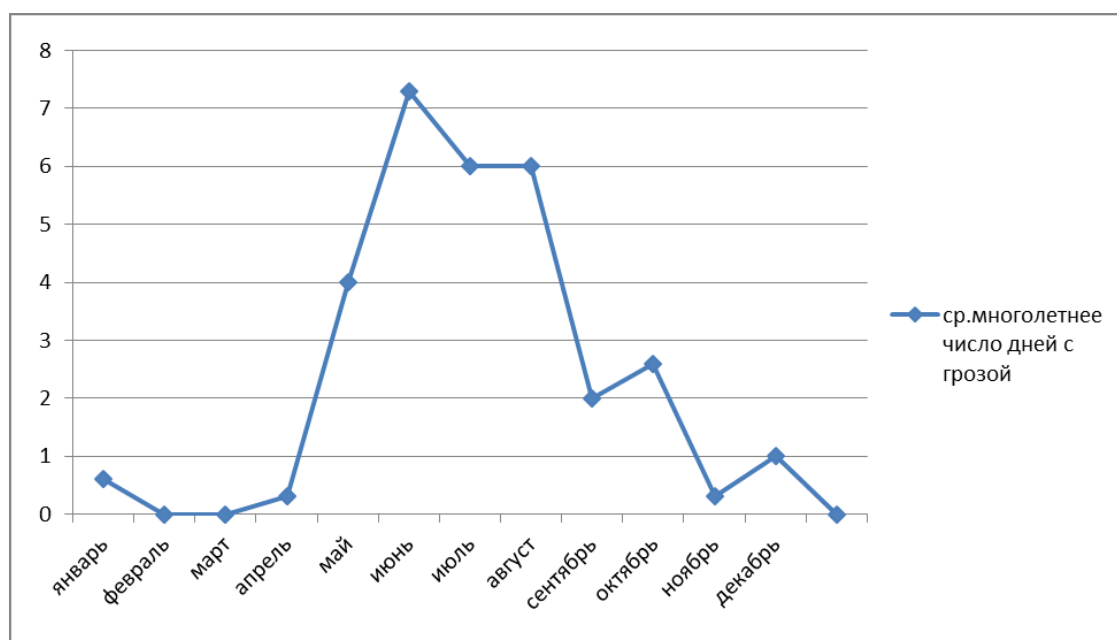


Рис. 1. Среднее многолетнее число дней с грозой на Азово-Черноморском побережье Краснодарского края за период 1966-2016 гг.

В апреле и октябре месяце внутримассовые грозы единичны, число их растёт с ростом температуры воздуха. Максимальное число внутримассовых гроз наблюдается с мая по август.

При возникновении внутримассовых гроз можно выделить два типовых процесса:

I тип. Грозы, возникшие за фронтом:

- а) в размытом барическом поле;
- б) в области гребня;
- в) в восточной периферии антициклона.

II тип. Грозы, связанные с депрессией, занимающей районы Ближнего Востока или её ложбиной.

Для возникновения внутримассовых гроз на побережье Азовского моря необходимы следующие условия:

1. Наличие у земли над юго-восточной частью ЕТС и Северным Кавказом размытого барического поля давления.

2. Сохранение хорошо выраженного циклона по высотам над Черным морем и Каспием до 300 мб поверхности, неустойчивая стратификация воздушной массы.

3. Адвекция холода над Северным Кавказом.

4. Слабые ветры у земли и на высотах.

5. Большая влажность воздуха во всём слое от земли до 500 мб поверхности (сумма дефицитов на трёх поверхностях менее 20 градусов; при грозах, образовавшихся на восточной периферии антициклона, сумма дефицитов равна 12-15°C. При втором типе влагосодержание воздуха недостаточное, сумма дефицитов влажности на трёх поверхностях менее или равна 30°C);

Фронтальные грозы наблюдаются в районе в течение всего года при прохождении холодных, вторичных холодных фронтов и фронтов окклюзии по типу холодного фронта.

Интенсивность и продолжительность фронтальных гроз зависит от интенсивности фронта, от температурных контрастов у земли и на высотах, и от распределения влажности воздуха.

При всех типовых процессах возникновения внутримассовых и фронтальных гроз над Азовским побережьем Краснодарского края наблюдается:

1. Высотная барическая ложбина или самостоятельный высотный циклон.
2. Термическая ложбина или самостоятельный очаг холода и отступающий перед фронтом к востоку гребень тепла при фронтальных грозах.
3. Неустойчивая или безразличная стратификация атмосферы.

## Литература

1. В.И. Осипов Природные катастрофы на рубеже XXI века Вестник Российской академии наук, том 71, №4, С. 291-302, 2001
2. Котляков В.М., Асоян Д.С., Кононова Н.К., Осокин Н.И., Рототаева О.В. Особенности катастрофических природных процессов на Северном Кавказе на рубеже XX – XXI вв. Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы 8 т. / Пред. ред. кол. Н.П. Лавёров, РАН. Т. 3. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия/ Отв. ред. В.М. Котляков – М.: ИГ РАН, ИФЗ РАН, 2008, с. 190-209.
3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Южном федеральном округе РФ / [коллектив. моногр.] /Под общ. ред. С.К. Шойгу-М.2010,324 С.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 18-05-80082 «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений».*

*The work was carried out as part of the RFBR grant 18-05-80082 «Regularities in the formation of dangerous coastal processes in the Sea of Azov and the socio-economic consequences of their manifestations».*

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ ЯПОНСКОГО (ВОСТОЧНОГО) МОРЯ

В.М. Кайстренко<sup>1</sup>, Ю. Таниока<sup>2</sup>, Б.Х. Чой<sup>3</sup>, Х.Дж. Ли<sup>4</sup>

Институт морской геологии и геофизики дальневосточного отделения РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Университет Хоккайдо, Саппоро, Япония

Университет Сунгкёнкван, Суwon, Республика Корея

Национальный институт предупреждения бедствий, Сеул, Республика Корея

## QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE TSUNAMI HAZARD FOR THE JAPAN SEA (EAST SEA) COAST

V.M. Kaistrenko<sup>1</sup>, Yu. Tanioka<sup>2</sup>, B.H. Choi<sup>3</sup>, H.J. Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>2</sup>Hokkaido University, Sapporo, Japan

<sup>3</sup>Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea

<sup>4</sup>National Institute for Disaster Prevention, Seoul, Republic of Korea

*Японское море (в Корее используется термин – Восточное море) – практически замкнутый водоем, и его цунами-режим формируется практически исключительно очагами внутри его акватории. При этом акваторию Японского (Восточного) моря отличает достаточно высокий уровень сейсмичности, и, соответственно, цунамиактивности, причем все известные цунамигенные очаги расположены вдоль восточного побережья моря. Начиная с 1940 года, в Японском море произошло несколько цунамигенных землетрясений: 2 августа 1940 г., 16 июня 1964 г., 6 сентября 1971 г., 26 мая 1983 г., 12 июля 1993 г., 2 августа 2007 г. Теоретическое обоснование структуры функции повторяемости цунами позволило выявить определяющие параметры: региональная асимптотическая частота сильных цунами  $f$  в рассматриваемой части моря и характеристическая высота цунами  $H^*$  в рассматриваемой точке побережья. Величина частоты сильных цунами в акватории Японского моря равна  $f = 0,055 \pm 0,005$  1/год. Характеристические высоты цунами  $H^*$  расположены в диапазоне значений 0.3–3.5 м. Эта вероятностная модель цунамиактивности позволила построить «скелет» карты цунамирайонирования для 49-ти базовых пунктов на побережье трех стран – России, Японии и Республики Корея. Построенный «скелет» карты показывает наличие участков побережья с увеличенными значениями  $H^*$ , которым отвечают особенности береговой линии и донного профиля, способствующие усилению цунами. Такими участками бухта Кит – Рудная Пристань на побережье Приморья, район Кангвондо в Корее и побережье Акита на Хонсю. Эти участки побережья следует считать наиболее опасными.*

*The Japan sea (another neutral term “East sea” is used in Korea as official one) is closed enough from Pacific ocean and its tsunami-activity is related to the sources located inside this sea. The seismicity and tsunami activity in the Japan sea (East sea) area are rather high and all the earthquake sources created tsunami are localized along the East coast of the sea. Since the 1940 several tsunamis were happened in the Japan sea. They are: 2 August 1940, 16 June 1964, 6 September 1971, 26 May 1983, 12 July 1993, 2 August 2007. Theoretic consideration of the tsunami recurrence function gave possibility to reveal the governing parameters for tsunami activity. They are: regional asymptotical frequency  $f$  of strong tsunamis and characteristic tsunami height  $H^*$  for the considered location. The asymptotical frequency  $f$  of strong tsunamis for Japan sea area is  $f = 0,055 \pm 0,0051$ /year. Values of the characteristic tsunami heights  $H^*$  are locating in the range 0.3–4 meter. A such probabilistic model of tsunami activity gave the possibility to create the “skeleton” for the tsunami hazard map for 49 locations along the sea coast of three countries – Russia, Japan and Korea. Craeted “skeleton” of the map shows that several locations are related to the increased values of the characteristic tsunami height  $H^*$  corresponding to the local tsunami amplifications due to the specific structure of the coast line and bottom profile. They are coast between Kit bay and RudnayaPristan settlement in Primorye, Kangwondo coast in Korea and Akita coast on the Honshu Island. These coastal parts should be considered as the most tsunami dangerous.*

Японское море (в Корее используется термин – Восточное море) – практически замкнутый водоем, и цунами от Тихоокеанских очагов проникают в Японское море через узкие проливы сильно ослабленными, вследствие чего его цунами-режим формируется практически исключительно очагами внутри его акватории. При этом акваторию Японского (Восточного) моря отличает достаточно высокий уровень сейсмичности, и, соответственно, цунамиактивности, причем все известные цунамигенные очаги расположены вдоль восточного



побережья моря (рис.1 а).

Данных о сильных цунами в Японском море до середины XX века крайне мало для использования их при оценке цунамиопасности. Начиная с 1940 года в Японском море произошло несколько цунамигенных землетрясений, проявления которых достаточно хорошо документированы. Наиболее значительные из них, определяющие цунамиопасность в регионе – следующие.

Цунами 2 августа 1940 г. было вызвано землетрясением с магнитудой  $M = 7,5$ , очаг которого располагался у северо-западного побережья Хоккайдо. В портах Осидомари на о. Рисири и Томамаэ на Хоккайдо это цунами сопровождалось заплесками до 3 м. В других местах побережья Хоккайдо и близлежащих островов заплески были большей частью менее 2 м. Удивительно, что наибольшая величина заплеска 3,5 м была зарегистрирована в порту Рудная Пристань на противоположном берегу Японского моря. У побережья Кореи наибольшая высота заплеска 2 м была зарегистрирована на о. Уллундо. В порту Невельск на о. Сахалин мареограф зарегистрировал подъем уровня 0,5 м над приливом.

Очаг цунами 16 июня 1964 г. располагался почти напротив крупного портового города Ниигата. На ближайшем к очагу побережье в районе Сёя и Нецугасеки высоты заплесков были выше 4 м, и местами достигали 6-метровой отметки. В остальных местах япономорского побережья о. Хонсю заплески лишь в отдельных местах превышали 2 м. На побережье Кореи, Приморья и юго-западном побережье о. Сахалин это цунами проявилось слабо и регистрировалось только мареографами.

Цунами 6 сентября 1971 г. было вызвано землетрясением с магнитудой  $M=7,5$ , очаг которого располагался вблизи о. Монерон. Основные данные, касающиеся данного события, были систематизированы Н.А. Щетниковым в 1981. Наиболее значительно цунами проявилось в южной части Сахалинского побережья Татарского пролива. На о. Монерон высота заплесков цунами достигала 1,5 м. Наибольшие высоты – до 2 м наблюдались у поселков Горнозаводск и Шебунино. На побережье Японии высоты подъемов уровня не превышала 0,3 м.

Цунами 26 мая 1983 г. было вызвано землетрясением с магнитудой  $M = 7,8$  у побережья Акита, о. Хонсю. Наиболее сильные проявления наблюдались в близочаговой зоне (например, 14,93 м в Минехама и 12,7 м в Носиро) и на все побережье северного Хонсю. Заплески опасной величины наблюдались на всем япономорском побережье Хоккайдо (например, 3,5 м в порту Мацумаэ), в Корее (5 м на о. Уллундо и 4 м в порту Имвон), а также в Приморье (4, 8 м в порту Рудной Пристань, до 5 м в бухте Лидовка, 3 м в бухте Кит, до 4 м на открытых участках побережья в районе Владивостока – бухте Горностай, пос. Рыбачий). Нужно отметить, что в закрытой бухте Владивостока Золотой Рог подъем уровня над приливом был 0,3 м.

Основные данные по цунами 26 мая 1983 г. собраны в работах [1, 2].

Цунами 12 июля 1993 г. было вызвано землетрясением с магнитудой 7,7, очаг которого располагался вблизи о. Окусири, недалеко от побережья Хоккайдо. Наибольшие заплески наблюдались на самом о. Окусири (до 32 м) и япономорском побережье Хоккайдо (например, м у города Сетана). На противоположном берегу Японского моря в Корее и Приморье заплески в целом были немногим ниже таковых при цунами 1983 года: 2,39 м в порту Имвон, 3,78 м в порту Рудной Пристань, 4,43 м в бухте Кит). На юго-западном побережье о. Сахалин цунами отмечалось только мареографами.

Проявления этого цунами на побережье Японии подробно документированы в японской научной литературе. Проявлениям этого цунами на побережье Приморья посвящена обзорная статья [3].

2 августа 2007 г. в акватории Татарского пролива вблизи о-ва Сахалин произошло землетрясение с магнитудой  $M_w = 6,2$ , вызвавшее достаточно сильное цунами, которое было названо Невельским по ближайшему населенному пункту. Масштаб проявлений этого цунами неожиданно оказался большим, хотя обычно землетрясения такой магнитуды вообще не сопровождаются цунами. Максимальный заплеск 3,2 м наблюдался у поселка Заветы Ильича, и на участке юго-западного побережья о. Сахалин длиной порядка 100 км высоты заплесков местами превышали 1 м. Проявления этого цунами подробно описаны в книге (*Невельское землетрясение и цунами...*, 2009). Ниже на рис 1 б приведены распределения заплесков двух цунами с сильнейшими проявлениями на Сахалинском побережье Татарского пролива - Монеронского (1971,  $M=7.5$ ) и Невельского (2007,  $M=6.2$ ).

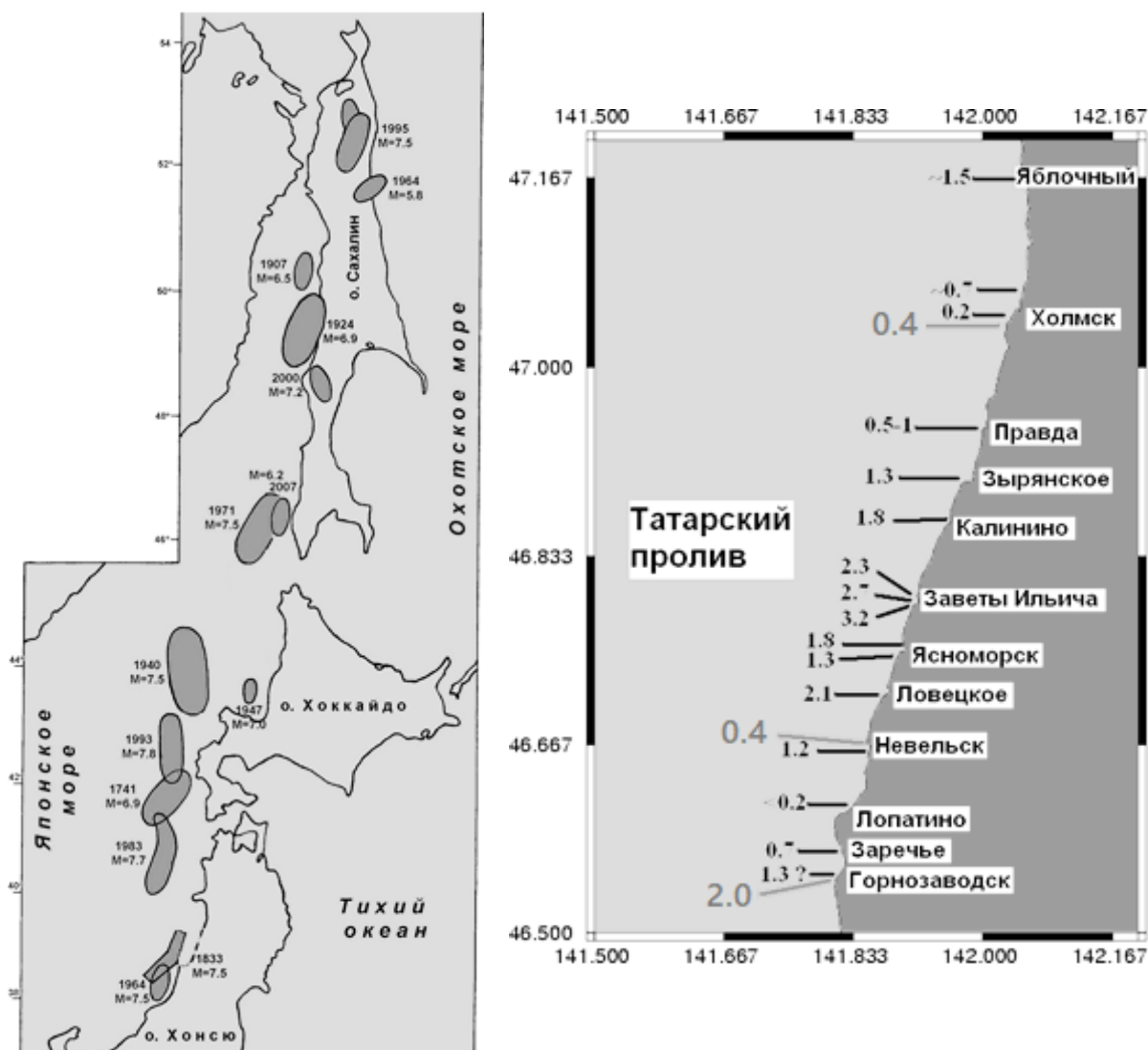


Рис. 1. (а) - Очаги сильных землетрясений в Японском море и на о. Сахалин [4], (б) - распределения заплесков двух цунами с сильнейшими проявлениями на Сахалинском побережье Татарского пролива: Монеронского (1971, M=7.5 –серые цифры) и Невельского (2007, M=6.2 – черные цифры) [5].

Анализ данных по побережью Мирового океана показал, что последовательность цунами можно рассматривать как приближенно Пуассоновский поток событий. При этом вероятность того, что за период времени  $T$  произойдет  $n$  цунами с максимальной высотой, равной или превосходящей пороговую высоту  $h$ , дается формулой

$$P_n(\text{заплеск} \geq h) = e^{-\varphi(h) \cdot T} \cdot \frac{[\varphi(h) \cdot T]^n}{n!}, \quad (1)$$

где  $\varphi(h)$  - функции повторяемости высот цунами в данном месте.

Показано, что функцию повторяемости для больших высот цунами (цунами с малыми высотами не опасны) можно аппроксимировать экспонентой:

$$\varphi(x, h) = f \cdot e^{-\frac{h}{H^*(x)}}, \quad (2)$$

содержащей два параметра: региональный параметр – асимптотическая частота сильных цунами  $f$  в рассматриваемой части моря, и локальный параметр – характеристическая высота цунами  $H^*$  в заданной точке побережья, пропорциональная среднему коэффициенту

трансформации высоты цунами при ее распространении из океана к берегу [6].

Так, асимптотическая частота сильных цунами в акватории Японского моря равна  $f = 1/\text{год}$ . Характеристические высоты цунами  $H^*$  расположены в диапазоне значений 0.3–4 м. Эта вероятностная модель позволила построить «скелет» карты цунамирайонирования для 49-ти базовых пунктов на побережье трех стран – России, Японии и Республики Корея (рис. 2) по  $h_{100}$ –максимальной высоте цунами с повторяемостью раз в сто лет:

$$h_{100} = H^* \ln(100f) \quad (3)$$

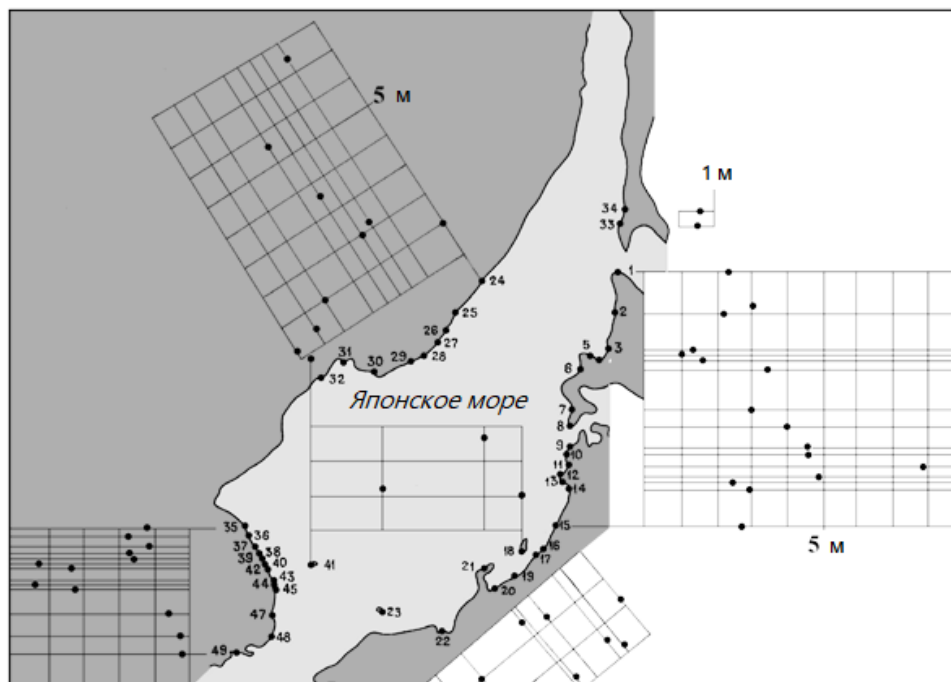


Рис. 2. «Скелет» карты цунамирайонирования для 49-ти базовых пунктов побережья Японского моря по  $h_{100}$ –максимальной высоте цунами с повторяемостью раз в сто лет.

Обращает на себя внимание наличие участков побережья с увеличенными значениями  $H^*$ , которым отвечают особенности акватории, способствующие усилению цунами. Таковы участки Кит – Рудная Пристань на побережье Приморья, район Кангвондо в Корее и побережье Акита на Хонсю. Эти участки побережья следует считать наиболее опасными.

### Литература

1. Полякова А.М. Цунами в Приморье 26 мая 1983 года и его последствия - Владивосток: ТОИ ДВНЦ, 1988, 37 с.
2. Проявления Япономорского цунами 26 мая 1983 года на побережье СССР / ЧН Го, АИ Иващенко, КВ Симонов, СЛ Соловьев Накат цунами на берег. – Горький: ИПФ АН СССР, 1985, С.171-180
3. Обследование проявлений цунами 12-13 июля 1993 года на побережье Приморского края / Горбунова Г.В., Диденко Г.В., Дьяченко В.Д., Нагорных Т.В., Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Харламов А.А., Шелепов Г.П. // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – Т. VIII. – С. 74-92. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией).
4. Тихонов, И.Н. Сильные землетрясения в Сахалинской области: исследования и прогнозы / И.Н. Тихонов // Вестник ДВО РАН. – 2006. – № 1. – С. 67-80.
5. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин. Москва: Янус-К, 2009. - 204 с.
6. Kaistrenko, V. Tsunami Recurrence Function: Structure, Methods of Creation, and Application for Tsunami Hazard Estimates / V. Kaistrenko // Pure Appl. Geophys. – 2014. – Vol. 171. – P. 3527-3538.

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНИЧЕСКИХ И АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

К.А. Калавиччи<sup>1</sup>, И.Л. Башмачников<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

## INTERANNUAL VARIABILITY OF THE OCEANIC AND ATMOSPHERIC HEAT FLUXES IN THE BARENTS SEA

K.A. Kalavichchi<sup>1</sup>, I.L. Bashmachnikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Scientific Foundation «Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre», St. Petersburg, Russia

*Выявлена ведущая роль океанических потоков тепла в межгодовой и междекадной изменчивости суммарного переноса тепла океаном и атмосферой в район Баренцева моря за период 1993-2014 гг.*

*The study showed the leading role of the oceanic heat fluxes in the interannual and inter-decadal variability of the overall heat transport to the Barents sea region by the ocean and atmosphere during 1993-2014.*

### Введение.

Несмотря на замедление скорости повышения среднегодовой приземной температуры воздуха в северном полушарии с начала XXI века, в Арктике она продолжает повышаться теми же темпами [1]. Тепло, переносимое океаном в регион Баренцева моря, является одним из факторов этого «арктического усиления» формируя ледовые условия в Баренцевом море и оказывая влияние на климат всего Евразийского сектора Арктики [2, 3]. Потоки океанического и атмосферного тепла в Баренцево море сравнимы по величине. При этом, потоки океанического тепла во многом определяются полем ветра [4]. В данной работе, на основе современных массивов комбинированных натуральных, спутниковых и модельных данных, были рассмотрены тенденции в изменчивости атмосферных и океанических потоков в регион за последние 25 лет.

### Материалы и методы.

Для расчета океанических и атмосферных потоков тепла использовались данные по температуре воздуха и скорости ветра базы ERA-Interim (<http://apps.ecmwf.int/datasets/>), а также данные по температуре воды и скорости течения базы ARMOR (<http://marine.copernicus.eu>).

Атмосферные потоки тепла через границы Баренцева моря (рис.1) рассчитывались по формуле:

$$Q_A = t_b * v_b * \rho * C_p * dz * dx, \quad (1)$$

где  $t_b$  – температура воздуха, К;  $v_b$  – скорость ветра,  $\rho$  – плотность воздуха;  $C_p$  – удельная теплоемкость воздуха;  $dz$  – высота;  $dx$  – расстояние.

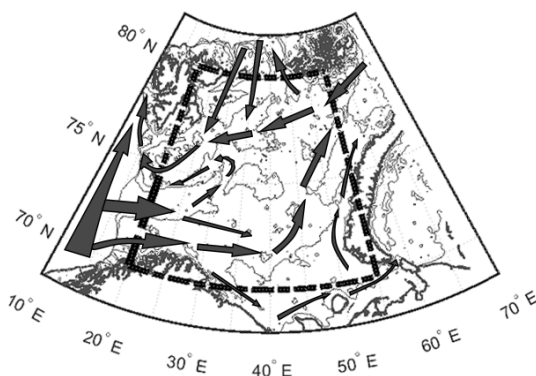


Рис. 1. Стрелками показана схема распространения атлантических и арктических вод в Баренцевом море, пунктирными линиями отмечены разрезы, через которые оценивались потоки тепла

Конвергенция атмосферного переноса тепла, отчасти компенсирующая отрицательный радиационный баланс региона, рассчитывалась путем суммирования потоков тепла по всем четырем разрезам на границах Баренцева моря.

Океанический поток тепла рассчитывался по формуле (2), как перенос тепла через разрез на западной границе моря (70°с.ш., 20°в.д. и 75°с.ш., 20°в.д.). Для количественной оценки переносимого океаном тепла в Баренцево море был использован только приток атлантических вод ( $t > 2^\circ\text{C}$ ) через указанный разрез. Для сравнимости атмосферных и океанических потоков использовалась температура в градусах Кельвина.

$$Q_0 = t_o * v_T * \rho * C_p * dz * dx, \quad (2)$$

где  $t_o$  – температура воды, К;  $v_T$  – скорость течения,  $\rho$  – плотность воды;  $C_p$  – удельная теплоемкость воды;  $dz$  – глубина;  $dx$  – расстояние.

#### Результаты.

Были рассчитаны среднегодовые и сезонные значения океанических и атмосферных потоков тепла за период 1993-2014 гг. и выделены их линейные тренды (Рис.2а,б).

Для данного исследования было выбрано пять сезонов года с учетом особенностей ледового режима Баренцева моря: январь-апрель – период устойчивого ледяного покрова, май – период максимальных значений ледяного покрова, июнь-август – период активного льдотаяния, сентябрь – период минимальных значений ледяного покрова, октябрь-декабрь – период активного ледообразования [4]. В таблице 1 представлены статистические оценки рассчитанных океанических и атмосферных потоков тепла.

Таблица 1. Характеристики океанических и атмосферных потоков тепла. В скобках указаны критические величины значимости тренда

	Январь- Апрель	Май	Июнь- Август	Сентябрь	Октябрь- Декабрь	Год
океанические потоки тепла						
среднее, ТВт	3314	2070	2002	2423	3126	2761
ско, ТВт	792	534	520	799	585	252
тренд, ТВт/год	50 (17)	29 (11)	57 (11)	90 (17)	63 (12)	57 (9)
атмосферные потоки тепла						
среднее, ТВт	838	528	-122	235	742	496
ско, ТВт	672	809	442	1068	664	369
тренд, ТВт/год	16 (14)	58 (17)	30 (9)	32 (3)	3 (14)	21 (8)

Средние значения океанического потока тепла выше, чем атмосферного, как по сезонам, так и в целом за год. Максимальные средние значения достигаются в зимний период (январь-апрель), минимальные значения приходятся на июнь-август. Изменчивость и коэффициент вариации атмосферных потоков, в целом, выше. Особенно значительна изменчивость атмосферных потоков, по сравнению с океаническими в межсезонье (май и сентябрь). Линейные тренды потоков океанического и атмосферного тепла показывают рост в течении всего промежутка наблюдений (Рис.2 а,б). Рост потоков океанического потока превышает рост потоков атмосферного тепла, как в среднем за год, так и по сезонам, за исключением мая (таблица 1).

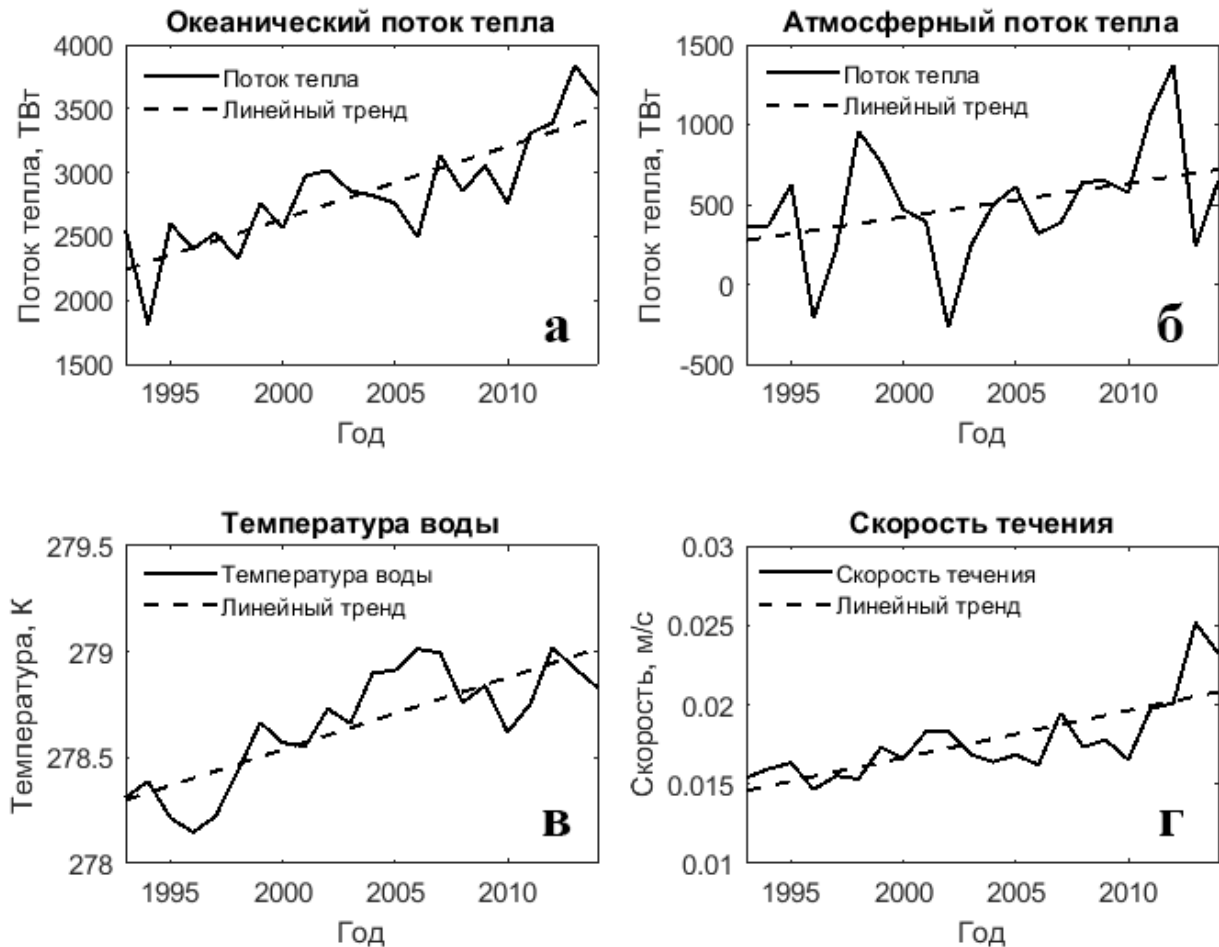


Рис. 2. Среднегодовые значения и линейный тренд конвергенции океанических (а) и атмосферных (б) потоков тепла относительно  $0^{\circ}\text{K}$ , температуры воды (в) и скорости течения (г)

Тренд в потоке океанического потока зависит как от изменения температуры воды, так и от скорости течения. В среднегодовых значений скорости течения и температуры воды также наблюдались линейные тенденции к их росту (Рис.2в,г). Вклад каждого из этих параметров определялся по формуле (3), где за глубину потока была принята средневзвешенная глубина всех точек разреза (весовыми коэффициентами выступали средние значения параметров в столбе воды в точке разреза).

$$T_2V_2 - T_1V_1 = \frac{1}{2}(T_2 + T_1)(V_2 - V_1) + \frac{1}{2}(V_2 + V_1)(T_2 - T_1), \quad (3)$$

где  $T_1, T_2$  – начальная и конечная температура вдоль линии тренда, соответственно;  $V_1, V_2$  – начальная и конечная скорость течения вдоль линии тренда, соответственно.

Изменение количества тепла, переносимого океаном, за весь период исследования, рассчитанное с использованием правой части формулы (3), составило 1295 ТВт, что близко к значению линейного роста суммарного потока по левой части формулы (3) – 1254 ТВт. Незначительное расхождение связано с погрешностью, вносимой при замене суммы реальных глубин потока в точках разреза его средневзвешенной глубиной. Вклад изменения скорости течения при фиксированной средней температуре (первое слагаемое формулы (3)) составил 1286 ТВт (99%), а вклад изменения температуры воды при фиксированной средней скорости (второе слагаемое формулы (3)) – 9 ТВт. Таким образом, можно отметить подавляющее влияние изменения скорости течения в формировании тренда потока океанического тепла.

Аналогично, при удаленных трендах, коэффициенты корреляции (таблица 2) между потоком тепла в океане и скоростью течения превышают значимые значения во все сезоны и за год,

достигая максимального значения 0,82 в мае. Значимые корреляции между океаническим потоком тепла и температурой воды обнаружены не были.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции (жирным цветом выделены коэффициенты, превышающие уровень значимости)

	Январь- Апрель	Май	Июнь- Август	Сентябрь	Октябрь- Декабрь	Год
Океанический поток/скорость течения	<b>0,72</b>	<b>0,82</b>	<b>0,77</b>	<b>0,77</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>
Океанический поток/температура воды	0,16	0,03	0,12	0,13	-0,15	-0,1

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что скорость течения на входе в Баренцево море является основным фактором формирования как долгопериодной, так и межгодовой изменчивости потока океанического тепла в море.

### Литература

1. Семенов В.А. Влияние океанического притока в Баренцево море на изменчивость климата в Арктике // Доклады Академии Наук, 2008, 418(1)
2. Зуев В.В., Семенов В.А., Шелехова Е.А., Гулев С.К., Колтерманн П. Оценки влияния океанического переноса тепла в Северной Атлантике и в Баренцевом море на климат северного полушария. Доклады Академии Наук, 2012, 445(5)
3. Jungclaus J. H., Koenigk, T. Low-frequency variability of the arctic climate: the role of oceanic and atmospheric heat transport variations. *Climate dynamics*, 2010, 34(2-3), 265-279.
4. Smedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li C., Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrobakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S. A. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system. *Reviews of Geophysics*, 2013, 51(3), 415-449.

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

*This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01151).*

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА РЕК ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В МНОГОВОДНЫЕ И МАЛОВОДНЫЕ ГОДЫ

В.Г. Калинин<sup>1</sup>, Е.В. Механошина<sup>1</sup>, К.А. Богданова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

## FEATURES OF INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF RIVER RUNOFF OF THE VOTKINSKY RESERVOIR CATCHMENT IN HIGH AND LOW WATER YEARS

V.G. Kalinin<sup>1</sup>, E.V. Mekhanoshina<sup>1</sup>, K.A. Bogdanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia

*На основе ежедневных, среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реках водосбора Воткинского водохранилища проведен анализ внутригодового распределения стока в экстремальные по водности годы. В результате исследований выделены характерные типы гидрографов и выполнена оценка их пространственного распределения на реках исследуемой территории.*

*Based on daily, average monthly and average annual water discharges on the rivers of the Votkinskoe reservoir catchment area an analysis of the intra-annual runoff distribution in the extreme high and low water years was carried out. As a result of the research, characteristic types of hydrographs were identified and the estimation of their spatial distribution on the rivers of the study area was made.*

### **Введение.**

Речной сток и его внутригодового распределение (ВГРС) является одним из главных объектов научных исследований в области гидрологии и обеспечения устойчивого развития регионов страны. На основе расчетов ВГРС устанавливаются основные параметры водохозяйственного предприятия, условия сработки и наполнения водохранилищ, обеспечивается безаварийная работа гидротехнических сооружений и безопасность прилегающих к водным объектам территорий. Особого внимания при изучении ВГРС требуют годы экстремальной водности (многоводные и маловодные).

Формирование речного стока определяется комплексом природных условий водосбора, где одним из основных факторов является климат, а именно, количество и характер выпадающих осадков, интенсивность испарения, влажность и температура воздуха. Другим важным фактором является подстилающая поверхность (рельеф, форма и размеры речного бассейна, почвенно-растительный покров) [1].

Целью настоящего исследования является анализ особенностей внутригодового распределения стока рек водосбора Воткинского водохранилища в годы экстремальной водности.

Территория водосбора общей площадью 184240 км<sup>2</sup> охватывает бассейн Верхней и Средней Камы и расположена на северо-востоке Европейской части России. Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в предгорьях и на западном склоне Уральских гор. Исследуемый водосбор представляет собой всхолмленную равнину (70%), повышающуюся с запада на восток, где характерной особенностью рельефа являются западные хребты Уральской горной страны (30% общей площади). В местах слабой расчлененности территория заболачивается, а в условиях сильной расчлененности сток становится более интенсивным. Уральские горы, расположенные с востока, создают преграду, что влияет на распределение осадков. Водосбор расположен в умеренно-континентальном климате с преобладающим западным переносом и сложен в основном осадочными породами (пески, глина, песчаники, конгломераты) [2]. Реки исследуемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними паводками и длительной устойчивой зимней меженью.

### **Материалы и методы.**

Исследование внутригодового распределения стока рек водосбора Воткинского водохранилища в годы экстремальной водности выполнено на основе разработанного методологического подхода, включающего в себя: выбор многоводных лет; типизацию гидрографов; расчет месячного стока и районирование исследуемой территории по ВГРС;



оценку влияния естественной зарегулированности стока на ВГРС; исследование воздействия основных факторов на формирование стока весеннего половодья в многоводные годы [3].

Исходными данными послужили значения ежедневных, среднемесячных и среднегодовых расходов воды по 49 гидрологическим постам (г/п). По каждому посту ряды со значениями среднегодовых расходов воды ранжировались в порядке убывания. Ранжированные ряды были разделены на 3 группы характерной водности согласно СП 33-101-2003 (2004): многоводные ( $P < 33,3\%$ ), средние по водности ( $33,3\% \leq P \leq 66,7\%$ ) и маловодные годы ( $P > 66,7\%$ ) [4].

Исследования проводились в два этапа. В многоводных и маловодных группах были выбраны по 5 лет так, чтобы данные имелись для большинства гидрологических постов. Затем для проверки полученных результатов в каждой группе добавлены еще пять характерных лет (таблица 1).

Таблица 1. Характерные по водности многоводные и маловодные годы

Группы характерной водности		Годы	Обеспеченность
Многоводные	И-я группа многоводных лет	1965, 1978, 1979, 1984	для 15 г/п – $P \leq 5\%$ , а для 34 г/п – $10,0\% \leq P < 33,3\%$ .
	II-я группа многоводных лет	1971, 1986, 1990, 1993, 1994	для 7 г/п – $< 5\%$ , а для 22 г/п – $5\% \leq P < 33,3\%$
Маловодные	И-я группа маловодных лет	1960, 1967, 1975, 1977, 1982	для 32 г/п – $P \geq 95\%$ , а для 17 г/п – $67,5\% \leq P \leq 95\%$
	II-я группа многоводных лет	1954, 1973, 1976, 1988, 2010	для 10 г/п – $P \geq 95\%$ , а для 39 г/п – $67,5\% \leq P \leq 95\%$

### Анализ результатов.

Исследование ВГРС рек водосбора Воткинского водохранилища в разные по водности годы выполнено по гидрографам, построенным на основе ежедневных расходов воды для каждого гидрологического поста. На основе анализа условий формирования среднегодового расхода воды в многоводные годы I-ой группы авторами предложена следующая типизация гидрографов [3]:

- 1-й тип – высокое продолжительное весеннее половодье и паводки в теплую часть года;
- 2-й тип – высокое весеннее половодье и незначительные или отсутствующие летне-осенние паводки;
- 3-й тип – невысокое весеннее половодье и значительные летне-осенние паводки.

Критерием отнесения к тому или иному типу являлось: а) оценка ВГРС по внешнему виду гидрографа (выявление фаз водного режима); б) количественный критерий – доля весеннего (IV-VI) стока в годовом и величина уменьшения среднегодового расхода воды при «срезке» дождевых паводков (если уменьшение составляло 15% и более, то считалось, что дождевые паводки оказывают существенное влияние на величину среднегодового расхода воды и гидрограф относится к другому типу).

Анализ пространственного распределения разных типов гидрографов за I-ю группу многоводных лет (таблица) показал, что они характерны для рек разных частей водосбора Воткинского водохранилища:

- 1-й тип – *северная и горная часть* (реки Кама, Весляна, Лупья, Пильва, Вишера, Колва, Язьва, Яйва, Косьва);
- 2-й тип – *юго-западная* (р. Тулва) *и юго-восточная части* (реки Сылва, Вогулка, Иргина, Бабка, Ирень, Барда, Чусовая, Сулем, Серебряная, Койва, Усьва);
- 3-й тип – *центральная часть* (реки Уролка, Кондас, Иньва, Кува, Велва, Обва, Очер, Гайва, Мулянка) (рис. 1).

Если рассматривать ВГРС рек в многоводные годы II-ой группы (таблица 1), то можно сделать вывод о том, что в эти многоводные годы также выделяются три типа гидрографов и их пространственное распределение по территории водосбора Воткинского водохранилища практически полностью совпадает [5].

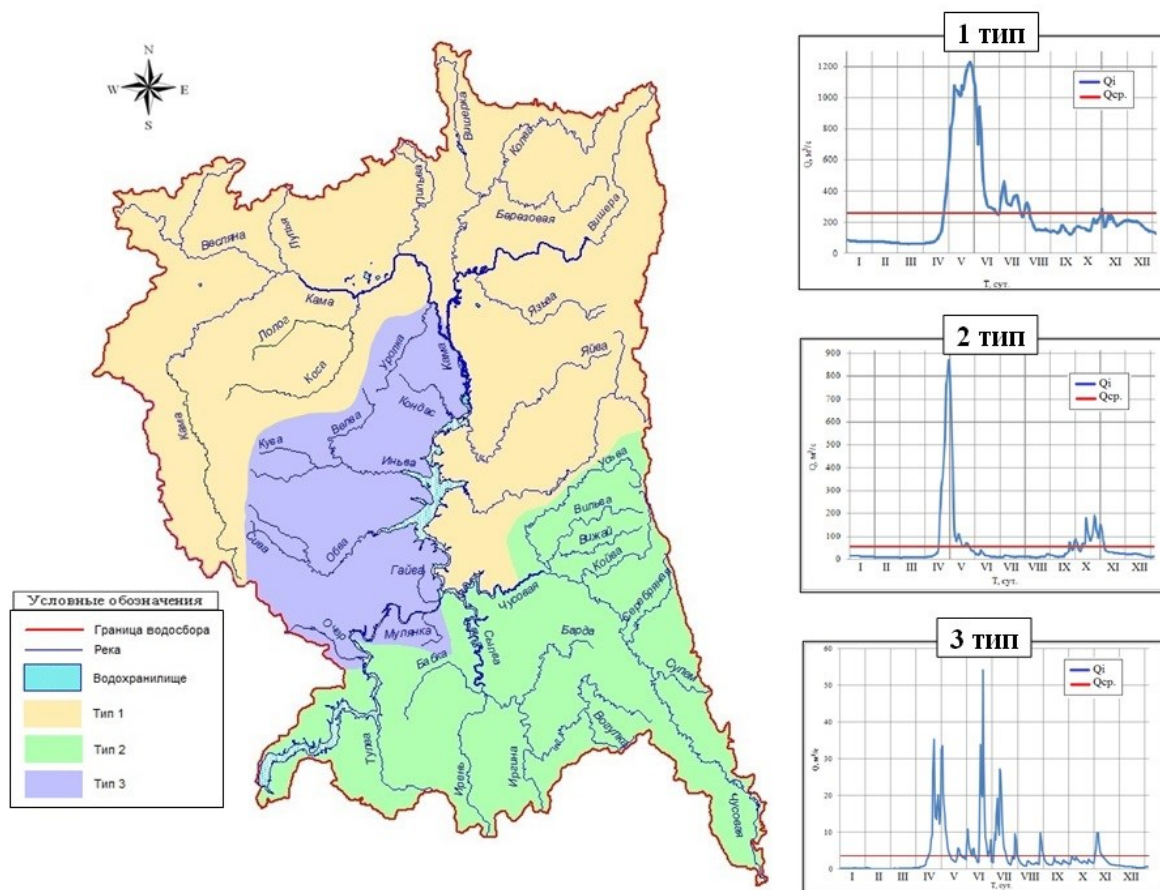


Рис. 1. Пространственное распределение типов гидрографов на реках водосбора Воткинского водохранилища в многоводные годы: 1-й тип (р. Кама – п. Гайны); 2-й тип (р. Чусовая – п. Кын); 3-й тип (р. Велва – д. Ошиб)

Анализ гидрографов в маловодные годы I-ой группы (таблица 1) показал, что на реках исследуемой территории выделяется два типа гидрографов:

1-й тип – северная, горная и юго-восточная части (реки Иньва, Кама, Весляна, Лупья, Пильва, Вишера, Колва, Язьва, Яйва, Косьва, Усьва, Вильва, Койва, Серебряная, Сулем);

2-й тип – центральная (реки Обва, Гайва, Мулянка), юго-западная (Тулва) и юго-восточная части (реки Сылва, Вогулка, Иргина, Бабка, Ирень, Барда, Чусовая) (рис. 2а).

Для II-ой группы маловодных лет (таблица 1) на всех реках водосбора Воткинского водохранилища наблюдался 1-й тип гидрографа, т.е. на величину среднегодового расхода воды наряду с высоким весенним половодьем существенное влияние оказали дождевые паводки (рис. 2б).

#### Выводы:

1. Разделение территории по преобладающему типу гидрографа обусловлено зональным характером распределения метеорологических факторов, которое определяет величину стока в характерные фазы водного режима. На территории водосбора Воткинского водохранилища в многоводные годы выделено три характерных типа гидрографа.

2. Исследование гидрографов многоводных лет второй группы (1971, 1986, 1990, 1993, 1994) показало, что внутригодовое распределение стока рек водосбора Воткинского водохранилища за эти годы соответствует типизации, предложенной на основе исследования ВГРС рек за 1965, 1978, 1979, 1984 многоводные годы.

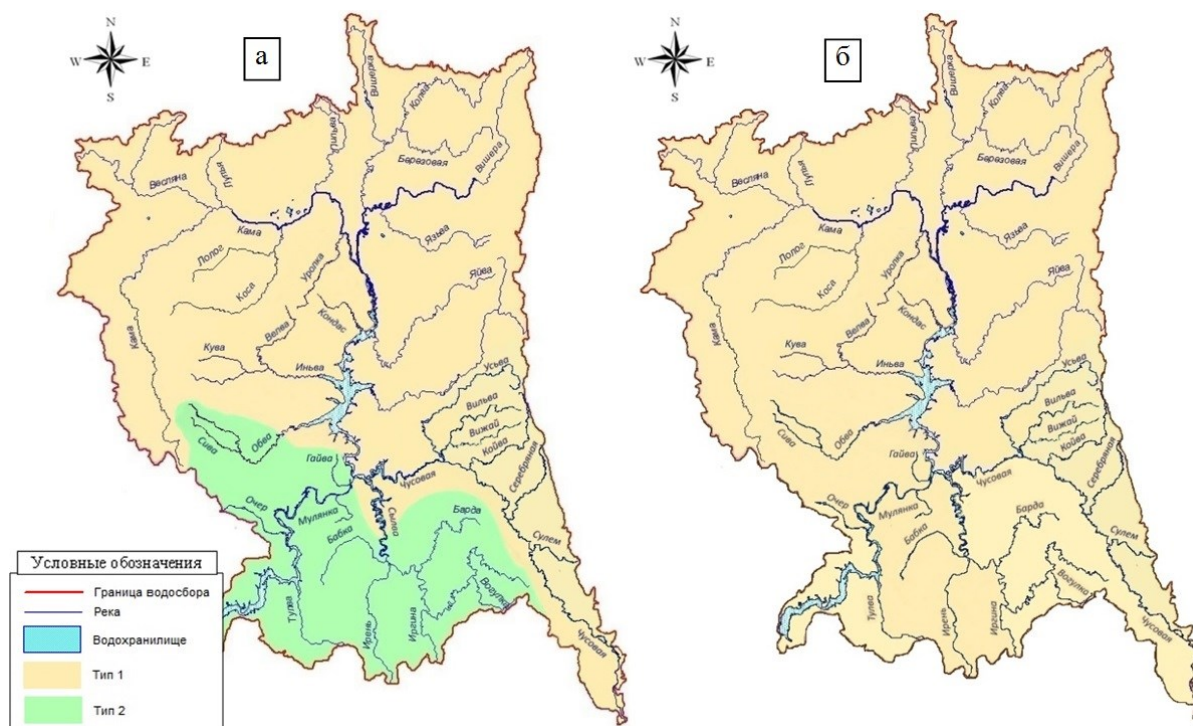


Рис. 2. Пространственное распределение типов гидрографов на реках водосбора Воткинского водохранилища в маловодные годы: а) 1960, 1967, 1975, 1977, 1982 гг., б) 1954, 1973, 1976, 1988, 2010 гг.

3. В маловодные годы на реках водосбора Воткинского водохранилища выделяется два типа гидрографов с преобладанием 1-го типа в пределах исследуемой территории. В тоже время в экстремально маловодные годы (1960, 1967, 1975, 1977, 1982) в юго-западной части территории наблюдался 2-й тип, что связано с формированием внутригодового распределения стока исключительно за счет весеннего половодья и незначительным количеством осадков в тёплый период года.

### Литература

1. Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока / А.М. Комлев. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. – 163 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 420 с.
3. Калинин В.Г., Суманеева К.И. О методологическом подходе к исследованию внутригодового распределения стока рек в годы высокой обеспеченности // V Всеросс. науч. конф. «Ледовые и термические процессы на водных объектах России» (11–14 октября 2016 г.), Владимир, 2016. С. 206–211.
4. Свод правил: СП 33-101-2003. Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2004. 84 с.
5. Калинин В.Г. Внутригодовое распределение речного стока в многоводные годы (на примере водосбора Воткинского водохранилища) / В.Г. Калинин, Е.В. Механошина, К.И. Пискарева, К.А. Богданова // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова «Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии» [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 года / под ред. О. М. Макарьевой. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2018. С. 728–732. URL: <http://publishing.intelgr.com/archive/hydrology-facets.pdf>.

## СЕЗОННЫЕ И ГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАССЕЙНАХ РЕК АМУР И ЛЕНА В XXI ВЕКЕ

А.С. Калугин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

## SEASONAL AND ANNUAL CHANGES OF CLIMATIC CHARACTERISTICS IN THE AMUR AND LENA RIVER BASINS IN THE XXI CENTURY

A.S. Kalugin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*На основе данных ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана проведена оценка пространственно-временных сезонных и годовых изменений приземной температуры воздуха и атмосферных осадков для бассейнов рек Амур и Лена в течение XXI века.*

*Based on the data of the ensemble of general circulation models of the atmosphere and the ocean, the estimation of spatial and temporal seasonal and annual changes in the surface air temperature and precipitation for the Amur and Lena river basins during the XXI century.*

В последние десятилетия происходит существенное изменение глобального климата, которое выражается в повышении приземной температуры воздуха. За период инструментальных наблюдений с 1850-х гг. среднегодовая глобальная температура увеличилась на 0.7–0.8°C. Согласно выводам Второго оценочного доклада Росгидромета, в среднем по территории Российской Федерации рост температуры приземного воздуха за предшествующее столетие в два раза превысил темпы глобального потепления. При этом по сравнению со столетним трендом в последние десятилетия скорость потепления возросла в несколько раз, увеличились годовые суммы осадков, а также частота экстремальных гидрометеорологических явлений.

В настоящее время для оценок возможных изменений климата используются результаты расчетов характеристик по ансамблю моделей общей циркуляции атмосферы и океана из проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). Для оценки изменения климата в бассейнах исследуемых рек с целью снижения существующих неопределенностей, увеличения точности и пространственно-временной детализации климатических проекций была подготовлена база метеоинформации с использованием данных расчетов глобальных климатических моделей CMIP5 по результатам проекта Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b) за исторический период (до 2005 г.) при наблюдаемых концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также проекции климата до конца XXI века при сценариях возможных изменений этих концентраций (Representative Concentration Pathways, RCP-сценариев). Данные подготовлены путем приведения первичных расчетных среднесуточных данных о приземной температуре воздуха, интенсивности осадков 4-х моделей климата (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM) за исторический период к данным реанализа EWEMBI, который представляет собой синтез суточных данных глобального реанализа ERA-Interim с пространственным разрешением 0.5°×0.5°, среднемесячных данных Climate Research Unit TS2.1 (CRU) и Глобального центра климатологии по атмосферным осадкам (GPCC), а также данных earth2Observe и NASA/GEWEX о коротковолновой и длинноволновой солнечной радиации для устранения систематических погрешностей в среднемесячных значениях [1].

Исследования проведены на примере бассейнов крупных рек Сибири и Дальнего Востока (Амур и Лена). Бассейн р.Амур (десятый по размеру речной бассейн в мире 1.85 млн. км<sup>2</sup>), для которого характерен умеренный климат с ярко выраженным муссонным характером циркуляции атмосферы и циклонической деятельностью, является одной из наиболее паводкоопасных территорий России, где в 2013 г. произошло катастрофическое по ущербу и продолжительности наводнение и экстремальное маловодье в 2008 г. В бассейне Лены (восьмой по размеру речной бассейн в мире 2.5 млн. км<sup>2</sup>), расположенном в условиях холодного резко континентального климата, происходят и прогнозируются одни из наиболее интенсивных изменений климата и речного стока в течение XX–XXI вв. Использование более совершенных данных проекций

изменения климата позволило получить более устойчивые оценки для исследуемых речных бассейнов, чем в ранее выполненных работах [2, 3].

Построение речной сети и выделение границ водосборных площадей рек выполнялось с использованием средств пакета ArcGIS на основе цифровой модели рельефа HYDRO1k с пространственным разрешением 1 км.

Для решения экstrapоляционных задач, связанных с оценкой будущих климатических изменений, необходимо, хотя и недостаточно оценить достоверность воспроизведения метеохарактеристик ансамблем GCMs (General Circulation Models) за исторический период, т.е. за период наличия данных станционных наблюдений. База станционной метеорологической информации была подготовлена на основе данных ВНИИГМИ-МЦД, а также данных, любезно предоставленных коллегами из КНР, которая включает временные ряды среднесуточных значений приземной температуры воздуха суточных сумм осадков, измеренных на 232 метеорологических станциях, расположенных в бассейне Амура или в непосредственной близости от него (169 из них приходится на российскую часть бассейна) и на 203 метеостанциях для бассейна р.Лены. Климатические модели с большой погрешностью воспроизводят ежедневные поля метеорологических характеристик. Более надежные оценки могут быть получены путем усреднения рассчитанных величин за большие временные интервалы (месяц, год). Было проведено сравнение рассчитанных среднебассейновых климатических норм метеорологических величин за базовый исторический период 1970–1999 гг. Для исследуемых речных бассейнов климатические модели воспроизводят нормы метеовеличин с высокой точностью. Погрешность определения нормы температуры воздуха по данным GCMs составила 0.1–0.2°C, суммы атмосферных осадков до 3%, а их среднеквадратического отклонения менее 0.1°C и 4.5% соответственно. Для уменьшения межмодельной неопределенности климатических характеристик применялся ансамблевый подход, т.е. проводилось усреднение результатов расчетов нескольких моделей, что дает более устойчивые оценки.

Помимо норм годовых метеовеличин была проведена оценка точности их сезонного хода. Для этого были рассчитаны нормы среднемесячной температуры воздуха, количества осадков, осредненных по площадям водосборов рек Амур и Лена (рис. 1).

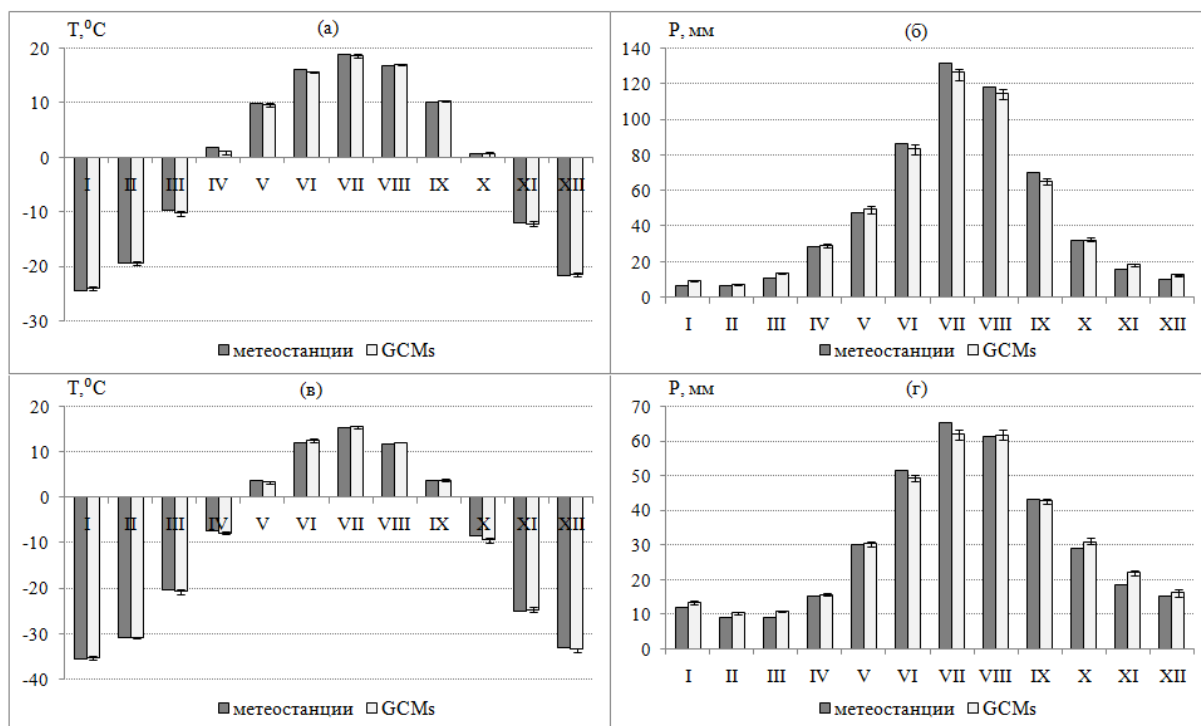


Рис. 1. Среднегодовое сезонное изменение осредненных по площади бассейна Амура (а, б) и Лены (в, г) величин температуры воздуха, атмосферных осадков, построенный по данным наблюдений и среднему по ансамблю климатических моделей с указанием диапазона оценок величин по различным GCMs за исторический период 1970–1999 гг.

Для двух речных бассейнов сезонный ход температуры воздуха воспроизводится климатическими моделями весьма точно. По температуре отмечено занижение значений GCMs для Амура в период с марта по июль в среднем на 0.4 °С и для Лены в марте-мае, октябре на 0.5 °С, завышение на 0.5 °С в январе для Амура и в июле для Лены в сравнении с данными стационарных наблюдений. По осадкам для бассейна Амура отмечено завышение величин по GCMs с октября по май на 2 мм и для Лены в октябре-ноябре на 3 мм, занижение с июня по сентябрь в среднем на 4 мм для Амура и для Лены в июне-июле на 3 мм.

Оценка временного хода метеовеличин, рассчитанного по стационарным метеоданным и данным ансамбля климатических моделей за исторический период, показала, что значения корреляции составили по температуре для Амура 0.55, Лены 0.32, по осадкам 0.07 и 0.03 соответственно, т.е. ряды не коррелируют между собой. Это объясняется тем, что климатические модели не воспроизводят специфические особенности погоды отдельных лет.

Также была оценена возможность воспроизведения по данным GCMs наблюдаемого тренда в ряду среднегодовых величин. Рост среднегодовой температуры (по линии тренда) в бассейнах рек Амур и Лена по данным наблюдений на метеостанциях за период 1970–1999 гг. составил 1.5 °С и 1.3 °С, по данным ансамбля моделей климата 0.9 °С для двух бассейнов.

Оценка пространственной точности расчета метеорологических характеристик, рассчитанных по данным моделей климата за многолетний период, проведена с помощью коэффициента пространственной корреляции. Были построены поля климатических норм метеорологических величин, рассчитанных по глобальным климатическим моделям за исторический период. Эти поля сравнивались с соответствующими полями, построенными по данным наблюдений. Пространственный коэффициент корреляции температуры воздуха по данным ансамбля GCMs составил для бассейна Амура 0.97, Лены 0.94. Коэффициент корреляции атмосферных осадков по данным GCMs составил для бассейна Амура 0.95, Лены 0.88.

В целом расчеты показали, что по данным моделей климата удалось воспроизвести среднегодовое сезонное ход метеоэлементов в бассейнах исследуемых рек, а также нормы годовых величин.

В настоящей работе на период XXI века использовались проекции климата при крайних сценариях RCP 2.6 и RCP 6.0. Сценарий RCP 8.5 не рассматривался ввиду его слабой реалистичности.

Аномалии среднеансамблевых климатических характеристик были вычислены как отношение рассчитанной величины за прогнозный период в XXI в. к норме температуры воздуха, осадков за базовый исторический период. Оценки проведены для середины (среднее за период 2036–2065 гг.) и конца (2070–2099 гг.) столетия (таблица 1, рис. 2).

Таблица 1. Аномалии рассчитанных по ансамблю GCMs нормы среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков в середине / конце XXI века для сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0

Река/ сценари й	Температура воздуха, °С		Осадки, %	
	RCP 2.6	RCP 6.0	RCP 2.6	RCP 6.0
Амур	1.8 / 2.0	2.1 / 3.6	7.4 / 6.3	5.7 / 12.4
Лена	2.2 / 2.4	2.4 / 4.2	8.9 / 10.2	10.7 / 18.2

В результате для Амура и Лены отмечено увеличение температуры воздуха на 1.8–2.4 °С по сценарию RCP2.6 и к середине XXI века по сценарию RCP 6.0, а к концу столетия более существенный рост на 3.5–4 °С; увеличение количества осадков на 6–10% по сценарию RCP2.6 и к середине XXI века по сценарию RCP 6.0, а в конце столетия по RCP6.0 для Амура на 12%, Лены – на 18%.

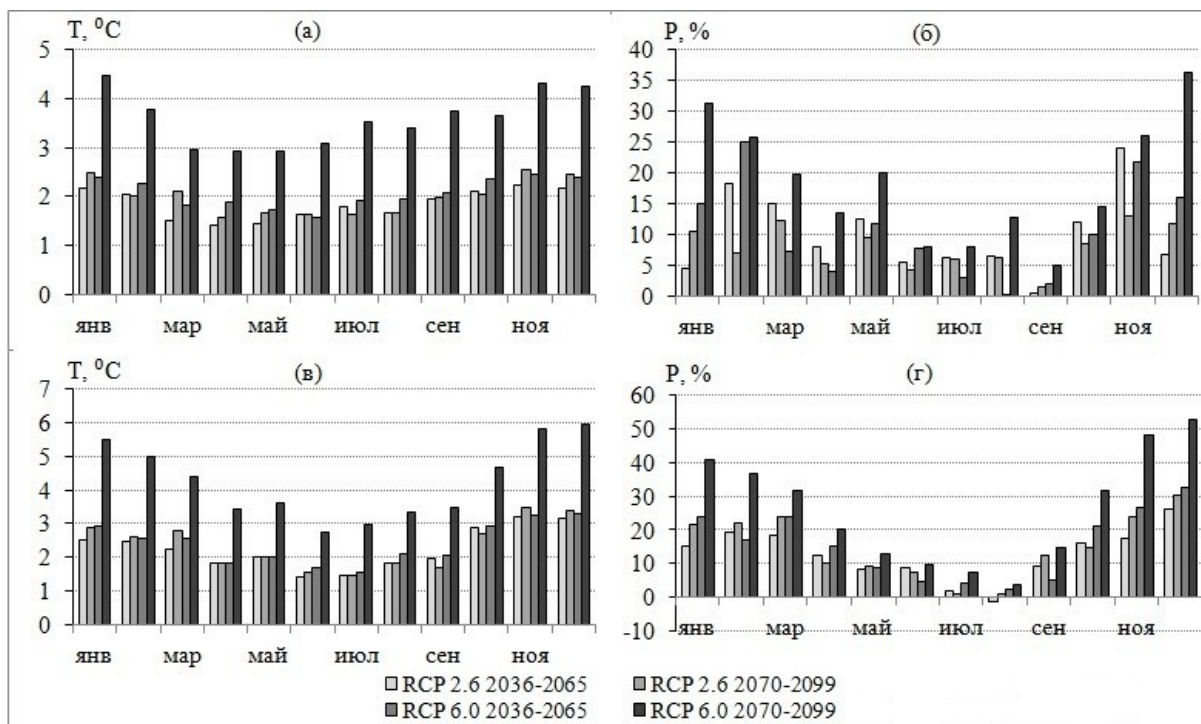


Рис. 2. Аномалии рассчитанных по ансамблю GCMs нормы среднемесячной температуры воздуха и суммы осадков в середине и конце XXI века для сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0: а, б – бассейн р.Амур; в, г – бассейн р.Лена

Оценка изменения сезонного хода температуры воздуха показала, что наиболее интенсивное потепление ожидается в осенне-зимний период для территорий обоих речных бассейнов по двум рассмотренным сценариям. Разница в увеличении температуры воздуха между весенне-летним и осенне-зимним периодами составляет от 0.5 °C до 1 °C. Наибольшее увеличение увлажнения территории отмечено также в осенне-зимний период, но только диапазон роста количества осадков существенно больше: от первых процентов в июле-августе до 35–50% в зимние месяцы. В целом расчеты показали более интенсивное потепление и увлажнение для бассейна р.Лена по сравнению с Амуром.

#### Литература

1. Frieler K., Lange S., Piontek F. et al. Assessing the impacts of 1.5 °C global warming – simulation protocol of the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP2b) // *Geoscientific Model Development*. 2017. V.10(12). P.4321–4345.
2. Калугин А.С. Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима // Дис. канд. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 2016. 185 с.
3. Gelfan A., Gustafsson D., Motovilov Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenov A. Climate change impact on water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues // *Climatic change*. 2017. V.141(3). P.499–515.

## ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗИМНЕГО СТОКА РАВНИННЫХ РЕК ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

И.Л. Калюжный<sup>1</sup>, С.А. Лавров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## PROCESSES OF THE WINTER RUNOFF FORMING FOR LOWLAND RIVERS UNDER THE CHANGING CLIMATE

I.L. Kalyuzhny<sup>1</sup>, S.A. Lavrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*В зимний период глубина промерзания почвы разделяет запасы почвенной влаги на две части: зону законсервированной влаги в мерзлом слое и зону, содержащую талую влагу, которая формирует зимний сток. Установлено, что при изменении климата в сторону потепления, глубина промерзания уменьшается. Как следствие, увеличивается содержание талой влаги и возрастает зимний сток. Показано, что за период с 1978 по 2012 гг. в бассейне р. Волга глубина промерзания изменяется в диапазоне от 28 до 49% от величин промерзания до 1978г. В бассейне р. Вятка глубина промерзания уменьшилась на 62,4%, зимний сток возрос на 55,1%. В зимний период, в почве происходит миграция влаги к фронту промерзания, которая уменьшает зимний сток. На водосборах с высокой степенью заболоченности, зимний сток увеличивается только в случае, когда глубина промерзания располагается выше нижней границы деятельного слоя болот.*

*During a winter season depth of soil freezing divides amount of soil water content into two parts: zone of "preserved" water into the frozen soil and zone of thaw water that forms value of winter runoff. It is determined that depth of soil freezing decreases under the climate warming. As the results, thaw water content increase and winter runoff value is going up as well. It is shown that depth of soil freezing within the Volga river basin varies during the period of 1978-2012 in the range of 28 to 49 % from the value of the freezing depth before 1978. Depth of freezing in the Vyatka river basin decreased at 62.4 %, and winter runoff value increased at 55.1 %. During a winter season soil moisture migration to the frost boundary occurs that decreases winter runoff value. For basins with a high degree of peat formation winter runoff increases only where depth of freezing locates above the lower limit of an active peat layer.*

В работах В.Ю.Георгиевского и И.А.Шикломанова [1] было показано влияние климатических изменений на формирование водных ресурсов в различных регионах России. Авторы показали, что особенностью современных изменений является увеличение меженного, зимнего стока. Ряд исследователей отмечает в период климатических изменений влияние на зимний сток оттепелей, их количество и продолжительность. Между тем процессы и механизм формирования зимнего стока в условиях климатических изменений далеко не ясны. Целью настоящей работы является установление механизма и процессов формирования зимнего стока в период климатических изменений.

В основу исследования положены многолетние материалы наблюдений на реках бассейна р. Волга и специализированных водно-балансовых и болотных станций Росгидромета. Выбор объектов обусловлен наличием многолетних наблюдений за всеми элементами водного баланса и основными факторами формирования стока.

Основным источником зимнего стока являются запасы влаги, сформированные осенними дождями. При промерзании почвы определенный запас почвенной влаги консервируется в мерзлой зоне и не принимает участия в формировании зимнего стока.

В первом приближении аккумулируемая влага в элементарной колонки мерзлой толщи  $V_L$  в зависимости от глубины промерзания почвы  $L$  равна:

$$V_L = (W - НВ), \quad (1)$$

где  $W$  и  $НВ$  – соответственно, общие влагозапасы и наименьшая полевая влагоемкость в слое почвы равной глубине промерзания.

Талая влага деятельного слоя, формирующая зимний сток  $ВС$ , равна сумме потоков от различных источников ее пополнения

$$ВС = (W - НВ)_H - V_L + В_{от} + В_{ф}, \quad (2)$$

где  $(W - НВ)_H$  – стокообразующая влага, содержащаяся в деятельном слое почвы мощностью  $H$  в его талой и мерзлой зоне;



$V_{от}$  и  $V_{ф}$  – влага, образованная за счет зимних оттепелей и фазовых превращений.

Анализ полевых наблюдений показывает, что чем меньше глубина промерзания, тем больше влаги, накопленной почвой в осенний период участвует в формировании зимнего стока. Средняя глубина промерзания за период климатических изменений в бассейне р. Медвенка – выше устья р. Заказа уменьшилась от 50 до 23 см, увеличивая при этом содержание талой влаги зимнего периода от 52 до 132 мм. Ее среднее содержание составляет 89 мм.

В увлажненной до НВ или переувлажненной почве, содержание аккумулятивной влаги в мерзлом слое влаги, полностью зависит от глубины промерзания, но имеет иную тенденцию: ее содержание увеличивается с увеличением глубины промерзания. За все годы наблюдений с 1956 по 2010 год ее среднее содержание в бассейне р. Медвенка составляет 53 мм и изменилось от 164 мм в 1972 г. до 3 – 7 мм в 1983 и 2006 г.

За период относительно стабильных климатических условий до 1980 г. средняя величина слоя зимнего стока в бассейне р. Медвенка составила 23 мм при стокообразующих запасах влаги в талой зоне, равных 68 мм. Изменение климатических условий (1980 – 2010 гг.) вызвало увеличение стокообразующих запасов влаги до 110 мм и зимнего стока до 35–40 мм. Влага, не израсходованная на формирование зимнего стока, достигла при этом 70 мм. В дальнейшем она принимает участие в формировании весеннего стока, пополняет грунтовые воды и вызывает их подъём дополнительно на ~ 1,0 м, по сравнению с первоначальным периодом.

Глубины промерзания полевых и лесных водосборов существенно отличаются, что и обуславливает запас зимней стокообразующей влаги. По данным наблюдений, с 1957 по 1965 год, на полевом водосборе лога Усадьевском и лесном лога Таежного, оценена стокоформирующая влага зимнего периода. На полевом водосборе она составляет в среднем 13 мм, или 32% всей стокообразующей влаги (41 мм). На лесном эта влага составляет 15 мм или 58% от стокообразующей (25,9 мм). На лесном водосборе больше половины талой влаги расходуется на сток зимнего периода.

На крупных речных бассейнах также отчетливо наблюдается реакция зимнего стока на уменьшение глубины промерзания. В бассейне р. Вятка (площадью 124000 км<sup>2</sup>), за период с 1936 по 1980 г. средняя глубина промерзания была равна 89 см. При климатических изменениях с 1981 по 2010 г. она уменьшилась до 33,5 см (на 62,4%). Средняя величина зимнего стока при этом возросла от 278,2 до 431,6 м<sup>3</sup>/с, т.е. на 55,1%.

Для степной реки Самары (створ р. Самара – пос. Ельшанка), в период стабильного климата, при значительных глубинах промерзания (средняя 86 см), средний 30-суточный сток не выходил за пределы 11 м<sup>3</sup>/с, а при их уменьшении (средняя 32 см) он возрос до 17 – 19 м<sup>3</sup>/с.

Анализ данных многолетних измерений промерзания почвы в бассейне р. Волга, на 61 метеостанции, позволил установить, что потепление климата обуславливает уменьшение глубины промерзания почвы во всех климатических зонах её бассейна. Эта тенденция наблюдается с 1977 - 1978 года, что тесно связано с увеличением количества зимних оттепелей, температуры воздуха зимнего периода года, уменьшением его продолжительности, а также теплоизолирующими свойствами снежного покрова. Тренд глубины промерзания индивидуален для каждой из климатических зон бассейна. Карты глубины промерзания почв для двух периодов: в условиях стабильных климатических характеристик, до 1977 г., и в период их изменений, с 1978 по 2012 г., полностью подтверждают эти тенденции. В северной части бассейна, в период с 1978 по 2012 год, средняя глубина промерзания сократилась на 38 см и составила 39 см, т.е. уменьшилась на 49% от средней глубины первоначального периода. В северо-западной и западной части изменение температуры воздуха на 1,1 °С, вызвало уменьшение глубины промерзания на 27 – 28 см, при средней глубине промерзания в первом периоде соответственно 100 и 70 см, или в процентном отношении 28 и 39%. В центральной части бассейна Волги, по сравнению с северной, отмечаются относительно большие глубины промерзания – в среднем 87 см. Объясняется это тем, что в этой части бассейна наблюдалась несколько меньшая средняя толщина снежного покрова, которая к концу зимы достигала 50 – 54 см, а в отдельные годы понижалась до 30 – 40 см. За период с 1978 по 2012 г. средняя глубина промерзания также уменьшилась на 31 см и достигла 56 см. Уменьшение составило 36% средней глубины первоначального периода.

Определённый вклад во временную изменчивость глубин промерзания вносят увеличение числа оттепелей и уменьшение продолжительности зимнего холодного периода. На протяжении

последнего тридцатилетия число оттепелей неуклонно возрастало. В бассейне р. Медвенка суммарное число суток с положительной температурой воздуха в январе–феврале за период с 1978 по 2008 г. увеличилось по сравнению с 1958 – 1977 гг. с 71 до 269, т.е. на 6–7 суток за год. В северной части бассейна Волги число оттепелей возросло до 3–5 суток в год, в центральной – до 6–9 суток, на юге – до 10 и более. Синхронно с увеличением числа оттепелей уменьшается продолжительность холодного периода года. В северной части бассейна продолжительность уменьшилась на 5–7 суток, в центральной – на 10–15 и на юге – до 20 и более. Совокупное воздействие этих факторов обуславливает повышение среднесуточной температуры и увеличивает продолжительность её воздействия на деятельный слой почвы, что способствует уменьшению глубины промерзания.

При оттепелях, часть аккумулятивной влаги в мерзлом слое путем фазовых превращений может перейти в жидкую фазу и быть израсходованной в зимнем стоке. Однако величина этой влаги не превышает 5–7% от ее содержания в мерзлом слое почвы.

Пространственная изменчивость глубин промерзания в пределах речного бассейна обусловлена неоднородностью характеристик макрорельефа его поверхности и растительного покрова. Коэффициент вариации глубины промерзания почвы возрастает с уменьшением глубины промерзания. При глубинах промерзания менее 60 см наблюдаются участки талой почвы, что увеличивает ее инфильтрационную способность. В зимних условиях при глубоких оттепелях талые воды увеличивают зимний сток. При весеннем снеготаянии эти же глубины промерзания существенно увеличивают потери талого стока.

Содержание аккумулятивной мерзлой влаги, которая в талом состоянии может принимать участие в формировании стока, зависит от двух основных факторов: глубины промерзания и степени переувлажнения почвы выше НВ. В центральных районах лесной и лесостепной зонах ЕТР запасы влаги в метровом слое почвы достигают, а затем и превышают НВ в 95% случаев, в восточных, южных районах этих зон и степной зоны - в 50–80%.

В почве в зимний период существует два вертикальных потока влаги: первый, нисходящий – происходит путем оттока влаги, накопившейся при выпадении осенних дождей до влажности почвы выше НВ; второй, восходящий, происходит за счет миграции с талой зоны к фронту промерзания с последующим накоплением в твердой фазе на границе раздела. Интенсивность миграции влаги и ее накопление зависит от многих факторов: от механического состава почвы или грунта, начального увлажнения почвы, интенсивностью и продолжительностью промерзания, глубиной залегания грунтовых вод и температурного режима верхних горизонтов. Наиболее изменчивые влагозапасы в течении зимы в слое 0–50 см, они могут как увеличиваться, так и уменьшаться. В ниже расположенном слое 50–100 см их изменчивость составляет  $5 \div 10$  мм. По данным стационарных и экспедиционных исследований в бассейне р.Вятка наиболее интенсивно миграция к фронту промерзания происходит в диапазоне влажности от 0,75 до 1,1 НВ и зависит от глубины промерзания. При этих значениях НВ, для слоя 0–50 см, легкой суглинистой почвы, средняя для водосборов рек этого бассейна (реки Чепца, Кильмезь, Молома, Ярань) величина мигрирующей влаги  $\Delta W$  (в мм слоя воды) в зависимости от глубины промерзания  $L$  (см), определяется уравнением  $\Delta W = 10,64 \ln(L) - 30,98$  при коэффициенте корреляции  $R = 0,781$ . Слой мигрирующей влаги в конце зимы, который исключается из формирования зимнего стока, в зависимости от глубины промерзания равен  $10 \div 35$  мм и больше. Предельные значения на супесчаных почвах развитых на суглинках, по данным полевых измерений здесь, составляют 60–90 мм.

В переувлажненных почво-грунтах ( $> 1,1$  НВ) миграция влаги относительно небольшая или вовсе не наблюдается, т.к. в почве преобладает отток влаги к грунтовым водам, которые и формируют зимний сток. Возникающий в переувлажненных почвах “поршневой эффект”, обусловленный отжатием свободной влаги растущими кристаллами льда в талую зону [2], наоборот, увеличивает зимний сток.

Таким образом, при уменьшении глубины промерзания в диапазоне влажности почвы от 0,75 до 1,1 НВ, зимний сток уменьшается на величину мигрирующей влаги. Поршневой эффект при влажности больше 1,1 НВ незначительно увеличивает зимний сток. По данным экспедиционных наблюдений в бассейне р. Дон и в Подмосковной воднобалансовой станции при влажности почвы менее 0,75 НВ и ниже зимние приращения влаги крайне малы или их вовсе нет. Отсюда влияние на зимний сток они не оказывают.

За многолетний период наблюдений зимняя миграция влаги в бассейне р. Медвенки изменялась от 9 мм до 106 мм. Анализ зимних приращений влагозапасов свидетельствует об их явном уменьшении от 55 – 106 мм до 20 – 40 мм, т.е. на 30 – 38%. Аналогично им возрастает зимний сток. Отсюда следует, что влага, которая не мигрирует к фронту промерзания, принимает участие в увеличении зимнего стока.

Вне зависимости от того, залегают ли грунтовые воды далеко от дневной поверхности или близко к ней, существенное увеличение влаги в верхних слоях почвы на полевых водосборах ведет к образованию водонепроницаемого слоя и увеличивает сток половодья.

Анализ рядов стоковых наблюдений на заболоченных реках Западной Сибири и Севера ЕТР показывает полное или частичное отсутствие реакции зимнего стока на изменение климатических характеристик. На основании наблюдений специализированных болотных станций Росгидромета был проанализирован процесс формирования стока при климатических изменениях за последний 30-летний период. Было установлено, что запас влаги аккумулированный в мерзлом слое олиготрофных болот Иласское и Ламмин-Суо до 1979 г, соответственно составлял 300 и 142 мм. За период изменения климатических характеристик, с 1980 по 2009 г. он уменьшился, так как уменьшилась глубина промерзания, и, соответственно, составил в среднем 190 и 119 мм. Таким образом, 116 и 23 мм воды дополнительно высвобождались для увеличения зимнего стока. Но это пополнение могло наступить только в том случае, если глубина промерзания деятельного слоя болот меньше толщины деятельного слоя [3]. Последнее обусловлено тем, что нижняя граница этого слоя олиготрофных болот (38 - 45 см от поверхности болота) имеет коэффициенты фильтрации близкие к 0,002 см/сек., т.е. является своеобразным водупором. При понижении уровня болотных вод до этой границы сток с болота прекращается. Сток с болотного массива в зимний период возможен только в том случае, если существует проточная зона между относительным водупором и границей промерзания.

На болотном массиве Иласское глубина промерзания за последний тридцатилетний период с 1980 по 2009 г. значительно изменилась по сравнению с предшествующим. При относительно стабильном климате предшествующего периода, до 1980 г, наибольшая годовая глубина промерзания в среднем составляла 39 см (наибольшая 62 и наименьшая 21 см). Увеличение среднегодовой температуры (с 1981 по 2009 г.) вызвало уменьшение глубины промерзания в среднем до 26 см (наибольшая 47 и наименьшая 11 см), что обусловило увеличение проточной зоны от нулевых значений до 12 см в период климатических изменений. За период с 1963 по 1980 г. глубина промерзания в 10 случаях превышала нижнюю границу деятельного слоя, в последующий период – только в 3 случаях (зимой 1985, 1995 и 2001г.). За эти два периода зимний сток (январь-февраль месяцы) на р. Черная, которая дренирует болото, возрос от 3,69 л/с до 14,4 л/с., т.е. в 3,9 раза.

Таким образом, установлено, что процесс промерзания почвы осуществляет регулирующую функцию в формировании зимнего стока речных бассейнов равнинных рек.

### Литература

1. Георгиевский В.Ю., Шикломанов И.А. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. 1996. № 11. С. 89 – 99.
2. Калюжный И.Л., Павлова К.К. Формирование потерь талого стока. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 159 с.
3. Калюжный И.Л., Лавров С.А., Романюк К.Д. Изменение водного режима болот севера и северо-запада России под влиянием климатических факторов//Водные ресурсы. 2012.Том 39, №1. С.13 – 25.

## ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕК САХАЛИНА

В.М. Католиков<sup>1</sup>, Н.И. Католикова<sup>1</sup>, А.В. Чубарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE DISTINCTIVE FEATURES OF CHANNEL PROCESSES IN SAKHALIN RIVERS

V.M. Katolikov<sup>1</sup>, N.I. Katolikova<sup>1</sup>, A.V. Chubarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*В ходе выполненных исследований особенностей процессов руслоформирования сахалинских рек установлен факт преимущественного влияния ограничивающих условий на руслоформирование. На конкретных примерах показан механизм воздействия различных типов ограничивающих условий на этот процесс. Выявлена значительная врезанность речных русел и два уровня руслоформирования, связанные с воздействием катастрофических тайфунных наводков.*

*A fact of mainly affected restrictive conditions for channelforming identify during the research of peculiarities of Sakhalinrivers. The mechanism of influence of different types of restrictive conditions is shown on concrete examples. There were discovered a significant deepening of river channels and two levels of channelforming associated with the impact of catastrophic Typhoon floods.*

К общим физико-географическим особенностям рекострова Сахалин относятся их незначительная протяженность, большая внутригодовая и многолетняя изменчивость водного режима, быстротечность природных процессов и короткий период циклических деформаций, разнообразие геолого-геоморфологических компонентов, изолированность водосборов и полугорный характер водотоков (большие перепады высот и существенноменяющиеся уклоны).

Особенность русловым процессам рек Сахалина придает исключительная изменчивость стока, обусловленная муссонным (тайфунным) климатом. При этом большое значение имеет изолированность водосборов, которая обеспечивает уникальные условия формирования руслоформирующих наносов, поступающих с прирусловых частей долин, обуславливающие исключительное разнообразие гран состава наносов в руслах и поймах рек.

Ранее с использованием картографических материалов и спутниковых снимков территории о.Сахалина был произведен анализ существования разных типов речных русел и пойм, который выявил преимущественное воздействие ограничивающего фактора на руслоформирование сахалинских рек. Было выявлено, что проявление ограничивающего фактора, выраженного через геологическое строение и структуру пород, слагающих речные долины, и одновременно через строение и динамику относительно неподвижных аккумулятивных внутрирусловых и пойменных образований, на реках Сахалина весьма разнообразно. Создана типизация этих проявлений, в рамках которой выделены шесть основных видов ограничивающих условий, встречающихся на сахалинских реках [1]. Установлено широкое распространение унаследованных русловых форм, связанных с повышенной водностью предыдущих геологических эпох и с формированием современных русловых форм при прохождении тайфунных катастрофических паводков.

На основе указанного анализа создан гис-проект, в котором определено и нанесено на картографическую основу в зависимости от степени влияния ограничивающего фактора распространение типов речных русел, типов руслового процесса, типов пойм и водоохранных зон.

Широкое распространение в сахалинских реках унаследованных русловых форм и другие особенности проявления орографического фактора не отменяют классических схем переформирования русел, выделенных в рамках гидроморфологической теории руслового процесса и пригодных для описания всего многообразия встречающихся на Сахалине типов. Но особенности проявления орографического фактора, в свою очередь, придают ряд отличий самим этим схемам.

Унаследованные морфологические формы, созданные потоками экстремальной водности, имеют внешние признаки и размеры, соответствующие этой катастрофической водности. Они могут сохраняться в течение столетий, подвергаясь лишь частичной переработке в последующие времена. Но чаще их наличие в русле связано с прохождением тайфунов, особенно в юго-

восточной части острова. Для внутригодового распределения стока воды здесь характерно расчлененное многопиковое половодье, превышающее летне-осенние паводки, а при прохождении тайфунов 1 раз в 5-7 лет наблюдаются экстремальные максимумы стока.

В этих условиях формируются два уровня русловых процессов каждый со своим типом. Руслоформирующими расходами воды для высокого уровня являются расходы катастрофических паводков, при которых русловые процессы развиваются в пределах всего дна долины, формируя пояс экстремального руслоформирования. На втором уровне процессы руслоформирования происходят с участием более низких максимальных расходов воды (50%-10% обеспеченности) и развиваются в пределах, форм, созданных на первом уровне.

Примером подобного сочетания типов руслового процесса может служить участок реки Найба в 20-40 км от устья. Река на этом участке имеет широкую долину с пологими склонами, сложенную гравийно-галечно-песчаными грунтами, перекрытыми сверху суглинками и глинами. Пойма реки двусторонняя, заболоченная, с характерными для свободного меандрирования старицами. Выделяются два уровня поймы – высокая, отметки которой примерно соответствуют уровню 10%-ной обеспеченности, и низкая, представляющая собой пляжи на выпуклых берегах излучин, затапливаемые ежегодно (отметки ее поверхности совпадают с верхней границей русловой фации, представленной гравийно-галечным материалом). Русло одорукавное, с излучинами значительной степени развитости. Русловый процесс на участке можно определить как свободное меандрирование, и для развития излучин в целом на участке сохраняется классическая схема деформаций по этому типу. Однако паводочный режим стока воды и наносов (с учетом тайфунов) способствуют формированию двух уровней переформирования с разницей в отметках около 3-х м – уровни низкой и высокой поймы. Этому же способствует и контрастно двухслойное геологическое строение дна долины. Так, толщина слоя отложений мелких суглинистых грунтов пойменной фации (до 2 м и более) составляет около половины максимального вреза русла. А верхние отметки залегания русловой фации (гравийно-галечно-песчаной) совпадают, как уже отмечалось выше, с максимальными отметками пляжей на выпуклых берегах излучин (низкой поймы). Резкое различие в крупности наносов русловой и пойменной фации придает развивающимся излучинам некоторое сходство с орографическими излучинами, поскольку форма и размеры меженного русла определяются чехлом крупных аллювиальных отложений, сформированных экстремальными паводками на дне речной долины. Воздействие этого чехла отложений как ограничивающего фактора отражается на скорости плановых деформаций излучин.

Особенности руслового процесса сахалинских рек часто обусловлены сдерживающим воздействием бортов долины. При прохождении выдающихся паводков, многократно превышающих по максимальному расходу максимумы других паводков, изменения в режиме уровня аналогичны изменениям на беспойменных участках рек, поскольку в этих условиях дно долины заполняет огромное одорукавное русло с полностью покрытыми потоком морфологическими формами. По классификации ограничивающих условий – это орографическое паводочное русло, в котором склоны относительно узких долин определяют размеры и форму русла при прохождении паводков. В этом русле наблюдаемые ежегодно относительно неподвижные макроформы выступают в качестве активных мезоформ. Смещаясь и деформируясь в короткий период прохождения катастрофического паводка, эти формы изменяют характер зависимости между расходами и уровнями воды  $Q = f(H)$ , т.е., вызывают эффект, характерный для беспойменного одорукавного русла. Это значит, что выдающийся паводок фактически приводит к смене типа руслового процесса, что и отражается на характере уровня и может быть зафиксировано створными наблюдениями.

Среди сахалинских рек примером такового водотока может служить река Макарова в нижнем течении (2-5 км от устья). На данном участке река пересекает небольшой горный хребет. Долина реки трапецеидальная, шириной по дну до 0.5 км, дно устлано собственным гравийно-галечным аллювием с прослоями тугопластичных суглинков, поверх которых встречаются суглинки и супеси. Дно русла галечное с редкими валунами, что свидетельствует о его переформировании лишь при прохождении паводков, а в периоды пониженной водности русловые переформирования незначительны. Меженное русло реки слабоизвилистое, местами разделено на два рукава островами или осередками. Выполненный анализ показал, что процессы руслоформирования на р. Макарова развиваются по схеме незавершенного меандрирования со

спрямлением излучин на очень ранних стадиях развития при прохождении максимальных расходов воды обеспеченностью 50-10 % (ля этого уровня прослеживается также и неширокая двусторонняя пойма). При этом, после развития спрямления продолжается размыв вогнутого берега реки. А при прохождении еще более редких паводков, когда глубина затопления над бровками русла и подвижность руслоформирующих наносов максимальна, происходит сработка, т.е. вертикальный размыв пляжа на выпуклом берегу реки. Деформации пляжей могут происходить как по всей их поверхности, так и с формированием ложбин паводочного стока. Динамика переформирований очень высока, что проявляется в формировании спрямляющих проток на самых ранних стадиях развития излучин, когда формирующиеся протоки спрямляют лишь самые вершины излучин, сохраняя направление их планового развития. В целом на развитие процессов руслоформирования на участке большое влияние оказывает форма долины реки, бортакоторой ограничивают плановое растекание паводочного потока.

Долины рек на Сахалине часто оказывают еще более сдерживающее воздействие на речной поток, полностью ограничивая плановые деформации меженного русла реки. Это узкие долины, днища которыхзаполнены либо трудно размываемыми коренными породами, либо унаследованными отложениями, сформированными в периоды повышенной водности, и лишь частично собственным аллювием. Транспорт наносов в руслах таких рекносит нерегулярный характер и наблюдается лишь в виде внутрирусловых форм.

Другая особенность руслового процесса на рекахСахалина связана с конусами выноса различного генезиса, широко представленными в предгорных областях. Формирование конусов выноса обусловлено оползнями и осыпями на склонах узких долин, выносами более крупного аллювия боковыми притоками, формированием делювиальных шлейфов. При этом рыхлые обломочные материалы, из которых они сложены, могут регулировать как основную направленность руслового процесса рек, пролегающих на теле шлейфа,– горизонтальное и вертикальное врезание или распластывание их русел, так и интенсивность деформаций.

Так на правобережье реки Тымь на участке между устьями рр. Вервилии и Правый Скоп распространен ландшафт пролювиальных равнин с галечными предгорными шлейфами, сформировавшимися у северо-западного подножья Набильского хребта. Поверхность земли здесь имеет общий уклон к долине Тыми, чему способствуют и шлейфовые гряды, сложенные делювиально-пролювиальными накоплениями, состав которых разнофракционен. При этом характерно двучленное строение шлейфов – крупнообломочный материал перекрыт сверху супесчано-суглинистыми и глинистыми фракциями. Делювиальный материал шлейфов, вынесенный притоками в долину Тыми, участвует в формировании пойменной фации аллювия, которая, как и бываетобычно на поймах рек, представлена здесь мелкими глинистыми и песчаными наносами, обогащая, а иногда и перекрывая ее делювиальным галечником, песком, щебнем. Таким образом, для правобережья среднего течения Тыми конусы выноса служат источником повышенного количества наносов крупных фракций, смешивающихся с пойменной фацией и сдерживающего скорость пойменных деформаций.

Влияние тех же самыхшлейфов иначе сказывается на руслоформировании правобережных притоков р.Тыми, долины которых полностью пролегают вих теле и обломочный материал которых является аналогом собственного аллювияэтих рек.

Например, река Пиленга, крупный правый приток Тыми, на протяжении большей части своей длины протекающая по краю пролювиально-делювиального шлейфа, имеетнеясно выраженную долину и характеризуется малой врезанностью паводочного русла реки (2,5-3,0 м) в рыхлые осадочные породы шлейфа.В межень на дне паводочного русла оголяются его мезоформы, сложенные из галечно-валунных русловых наносов, и поток разбивается на несколько рукавов шириной 6-15 м, образуя многорукавное меженное русло. Пойма реки двусторонняя, пересечена многочисленными рукавами, вторичными пойменными протоками, врезанными не более чем на 1,5 м в поверхность поймы. Таким образом, с учетом трудноразмываемых грунтов шлейфа река Пиленга протекает в целом распластанным потоком по его поверхности, арусловые деформации на участке проходят при сочетании пойменной и русловой многорукавности.

Следует заметить, что с учетом малой протяженности сахалинских водотоков и изолированности их бассейнов широкое распространение конусов выноса и пролювиально-делювиальных шлейфов позволяет выделить эти внешние по отношению к непосредственному руслоформированию условия, характерные и для других территорий, как типично сахалинские.

Внешним по отношению к современному руслоформированию фактором являются и неотектонические процессы, в результате которых происходят подъемы и опускания участков суши и, как следствие, – врезание русел рек. Эти процессы широко представлены на участках равнинных рек северной части острова. Разная степень врезанности русел рек этого района обусловлена спецификой слагающих их долины пород нутовской и окобыкайской свит. Нутовская свита, представлена относительно рыхлыми породами - песками с прослоями глин, алевролитов, мелкозернистыми песками с гравием и галькой и незначительным содержанием глинистых частиц. Окобыкайская свита представлена толщей глинистых грунтов – глин, песков, алевролитов и слабосцементированных песчаников.

Разная устойчивость указанных пород к размыву способствует формированию в местах распространения нутовской свиты меандрирующих глубоко врезанных русел (рр. Аскасай, Эвай, Тапауна, Даги, Томи, Баури). Очевидно, что русловые процессы во врезанных руслах проходят своеобразно, так, что даже  $H_{\max} 1\%$  не поднимаются выше пойменных бровок русел. В этих условиях выход воды на пойму наблюдается крайне редко и плановое развитие излучин по типу свободного меандрирования (намыв пляжей на выпуклых берегах и размыв вогнутых берегов, прорыв перешейка излучины) происходит посредством внутри русловых переформирований. Это отражается на плановой конфигурации излучин (угловатость очертаний), а также на скорости переформирований, которые существенно замедляются.

В местах распространения окобыкайской свиты русла рек менее врезаны, и расходы редкой повторяемости проходят в них при уровнях воды выше пойменных бровок. В силу избыточного увлажнения северных равнин острова, а также преимущественного содержания глинистых грунтов в толще окобыкайской свиты реки здесь характеризуется широким распространением заболоченных долин. Значительная заболоченность днищ долин и пойм действует как ограничивающий фактор руслового процесса, когда процессы болотообразования по интенсивности преобладают над процессами руслоформирования. В этих условиях формируются русла слабо деформируемыми торфяными берегами и, как правило, песчаными донными наносами, перемещаемыми в бесструктурной или грядовой форме. В таких руслах наблюдается дефицит донных наносов, отчего пляжи, косы или перекаты практически не встречаются, очертания излучин определяются локальными особенностями пойменного болотного массива (имеют изломанные, неправильные формы), а процессы переформирования происходят медленно. В качестве примера можно привести реки Мал. и Бол. Гаромай, Мал. и Бол. Вени, Джимдан, Чачма.

К наиболее интенсивному проявлению ограничивающего фактора на Сахалине можно отнести условия в верхних и средних звеньях гидрографической сети в горных районах, когда даже меженное русло водотока пролегает в коренных породах, размыв которых под действием текущей воды практически невозможен. Плановые очертания русла реки определяются орографией склонов и дна долины и имеют бессистемно извилистый характер. Деформации дна и берегов русла локальны и необратимы. Перемещение обломочного материала (диапазон крупности частиц исключительно велик) происходит либо в бесструктурной форме при больших скоростях потока в короткие периоды повышенной водности, либо в грядовой форме при более низких паводках. При этом в русле реки возможно формирование аккумулятивных образований (перекатов, пляжей и т.д.), форма, размеры и местоположение которых определяются орографией речного русла. Такие участки не рассматриваются в гидроморфологической теории при типизации руслового процесса, поскольку деформации дна и берегов русла на них не являются формой транспорта руслоформирующих наносов.

Таким образом, в ходе выполненных исследований создан гис-проект, в котором определены и нанесены на картографическую основу в зависимости от степени влияния ограничивающего фактора типы руслового процесса, типы пойм и водоохраных зон. На конкретных примерах описан механизм воздействия влияния ограничивающих условий (факторов) различного геологического генезиса на процессы руслоформирования сахалинских рек. Показан двухуровневый характер процессов руслоформирования, обусловленный влиянием катастрофических тайфунных паводков.

## **Литература**

1. Католиков В.М., Католикова Н.И. Руслловые процессы в реках в условиях активного воздействия ограничивающего фактора. – Маккавеевские чтения-2008, М, МГУ, 2009, с. 54-62.



## ОРОГРАФИЧЕСКИЕ РИСКИ ДОННОЙ ТОПОГРАФИИ: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ДЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

А.В. Килесо<sup>1,2</sup>, В.А. Гриценко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## OROGRAPHIC RISKS OF THE BOTTOM TOPOGRAPHY: QUANTITATIVE ASSESSMENTS FOR THE COASTAL ZONE OF THE SOUTHEASTERN BALTIC

A.V. Kiles<sup>1,2</sup>, V.A. Gritsenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Выполнен анализ прибрежного рельефа дна Калининградской области. Выделены районы, в которых возможен более интенсивный вынос песчаного материала на глубину в штормовых условиях.*

*Analysis of the bottom topography of the Kaliningrad region was performed. Regions in which more intensive carrying out of sandy materials to the depth in storm conditions is possible are marked.*

Туристско-рекреационные ресурсы морского побережья Калининградской области представляют собой важный для региона ресурс. Однако ежегодно во время сильных штормов происходит разрушение пляжей вплоть до полного их исчезновения. На рис. 1 приведены снимки одного из таких событий: песок ушел от берега вплоть до городского променада в Зеленоградске.



Рис. 1. Городской пляж в г. Зеленоградск, Калининградская обл. (Фото Двоглазовой Н. Снимок от 09.10.2018).

С другой стороны, хорошо известно, что поступление осадочного материала в береговую зону моря Калининградской области происходит, главным образом, в результате абразии подводного склона и размыва последствий обрушения берегов. Единое представление о дальнейшей динамике осадочного материала в водной среде, особенно в штормовых условиях, в настоящее время отсутствует [1,2,3]. Натурные наблюдения за состоянием прибрежной зоны

юго-восточной Балтики показывают, что разрушение берега происходит только в некоторых пространственно локализованных участках берега.

Целью данной работы является поиск особенностей рельефа дна прибрежной зоны моря, потенциально способных в условиях отмелого бесприливного моря при сильном шторме спровоцировать формирование поперечных к берегу высокоэнергетичных придонных взвесенесущих течений, способных выполнить перенос взвешенного материала на достаточную большую глубину.

Общий обзор рельефа дна нашего морского побережья показал потенциальную возможность существования «волноводов», переводящих потоки песок на глубину [4]. Более подробный взгляд на топографию дна показал наличие канавок / небольших гряд как раз в тех районах, напротив которых на пляжах регулярно исчезает песок (рис. 2).

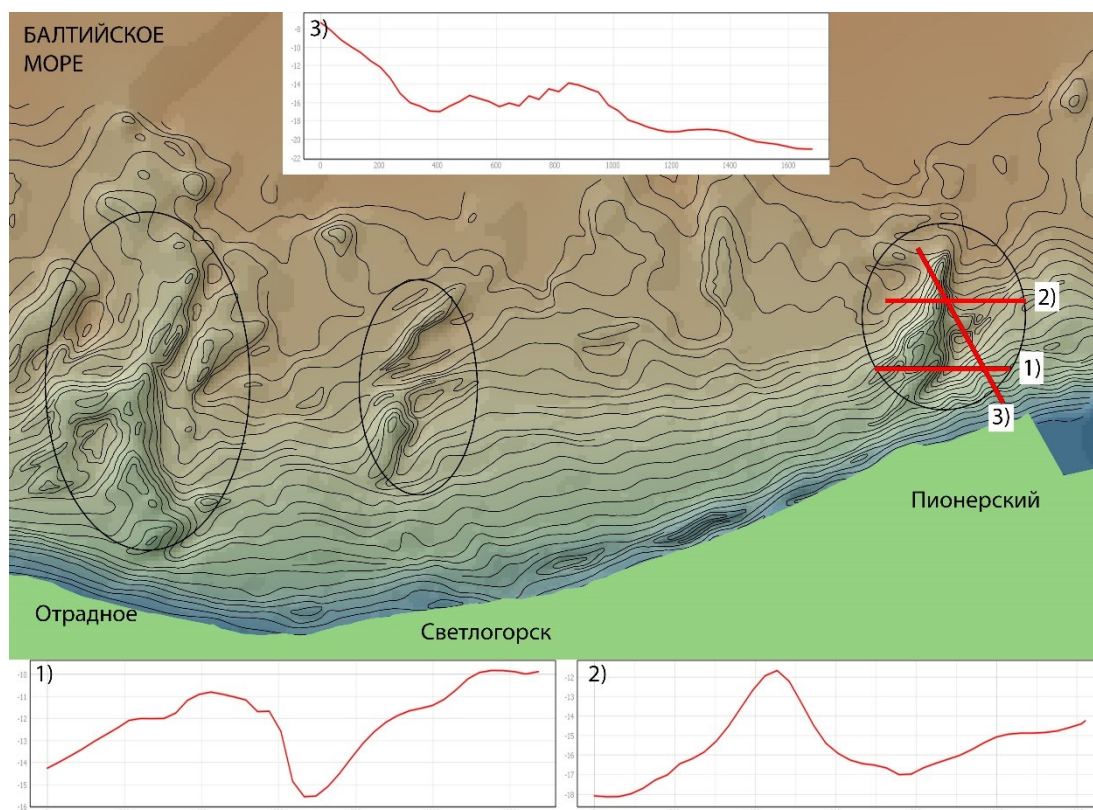


Рис. 2. Особенности донной топографии в районе Светлогорской бухты.

Выделены области (черные овалы) в которых отмечаются неоднородности рельефа дна, которые могут способствовать выносу песчаного материала на глубину во время штормов в виде гравитационных взвесенесущих потоков. Изобаты (черные линии) последовательно пробегают значения от 0 до -30 метров с шагом 1 м. Красными пронумерованными линиями показаны створы вдоль и поперек отмеченной неоднородности. Графики профилей рельефа дна пронумерованы согласно нумерации створов. На всех графиках вертикальная ось - глубина в метрах, горизонтальная ось – расстояние в метрах от начала створа. Створы идут с запада на восток и с юга на север.

Выполненный анализ рельефа дна позволил предположить наличие связи между некоторыми особенностями рельефа дна прибрежной зоны моря и зонами разрушения берега. Расчет дисперсии уклонов дна показал наличие нескольких потенциально опасных участков подводного склона дна. В дальнейшем предполагается выполнить натурные наблюдения за рельефом дна, составом осадков и динамической активностью вод в выделенных участках подводного склона дна.

## Литература

1. Зенкович В.П. Некоторые черты динамики польского берега Балтийского моря // Изв. Всес. геогр. об-ва, Т.90, Вып.3. М. 1958. С. 23-31
2. Болдырев В.Л., Рябкова О.И. Динамика береговых процессов на Калининградском побережье Балтийского моря // Изв. ВГО. Т.133, вып. 5. 2001. С. 41 - 49.
3. Бабаков А.Н. Пространственно-временная структура течений и миграций наносов в береговой зоне юго-восточной Балтики (Самбийский п-ов и Куршская коса)// Дисс. канд. геогр. наук. Калининград. Географ. фак-т. КГУ.2003г. 273 с.
4. 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, 2017, Vol. 25, Paper 2.

*Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 17-05-41029РГО\_a. Авторы благодарят ФБУ «Балтберегозащита» за модель прибрежного рельефа дна.*

*This work was supported by the RFBR project 17-05-41029RGO\_a. The authors thank the FBU "Baltberegozashchita" for the model of the coastal bottom relief.*

## ПРОГНОЗ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АКВАТОРИЮ НЕВСКОЙ ГУБЫ И ТЕРРИТОРИЮ В РАЙОНЕ «МФК ЛАХТА-ЦЕНТР»

К.А. Клеванный<sup>1</sup>, А.О. Еремеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Кардинал Софт», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## FORECAST OF IMPACTS OF DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PROCESSES ON NEVA BAY IN THE LAKHTA CENTER AREA

К.А. Klevannyi<sup>1</sup>, А.О. Eremeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LLC Cardinal Soft, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*На основе обработки статистических данных и результатов математического моделирования с использованием программного комплекса CARDINAL выполнен прогноз воздействий опасных гидрометеорологических процессов на акваторию Невской губы в районе «МФК Лахта-Центр».*

*Based on the processing of statistical data and the results of mathematical modeling with the CARDINAL program, forecast of impacts of the of the hazardous hydrometeorological processes on Neva Bay in the area of the Lakhta-Center is made.*

Прогноз воздействия опасных гидрометеорологических процессов на прибрежную акваторию Невской губы выполнен в рамках инженерно-гидрометеорологических изысканий для проектирования набережных «МФК Лахта-Центр». В Невской губе наиболее опасные гидрометеорологические процессы связаны с наводнениями - подъемом воды выше 160 см над нулем Кронштадтского футштока. После сдачи комплекса сооружений защиты С.-Петербурга от наводнений (КЗС) в эксплуатацию в августе 2011 г. произошло более 15 наводненческих ситуаций, при которых сооружения КЗС закрывались. При закрытии КЗС на длительный срок (более суток) сток Невы может привести к так называемым остаточным наводнениям, которые необходимо учитывать при проектировании гидротехнических сооружений в Невской губе.

При статистическом анализе возможных подъемов уровня в районе Лахта-Центра используется длительный ряд наблюдений на ГП Горный институт. Графический анализ совмещенных уровней в восточной части Невской губы, измеренных на уровнях постах Лахта, Стрельна и ГП Горный институт, свидетельствует о сходстве кривых изменений уровня на этих постах при различных типах колебаний уровня воды: штормовом нагоне, сильном спаде и при слабых колебаниях уровня, при наличии и отсутствии ледяного покрова. На рисунке 1 пример совмещенного хода уровня на этих постах при наводнении 3 октября 1986 г.

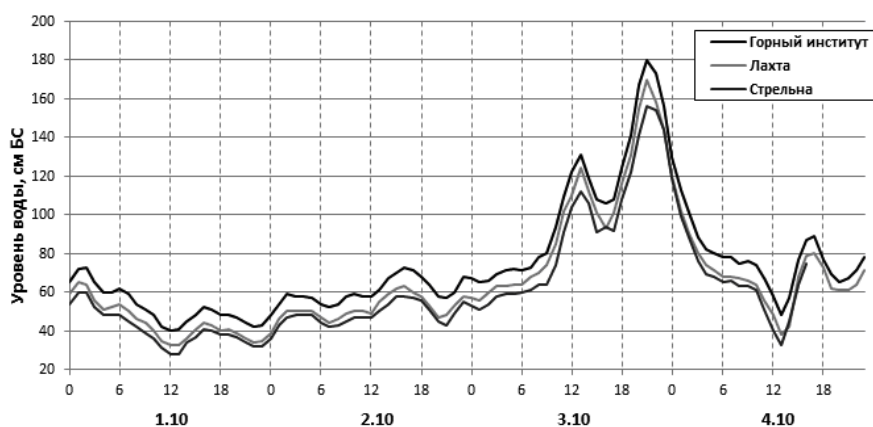


Рис. 1. Изменение уровня воды в Невской губе (Лахта и Стрельна) и в р. Большая Нева (Горный институт) 1-4.10.1986 г.

Установление зависимости максимальных уровней воды на ГП Горный институт и на уровне поста Лахта сделано по материалам инструментальных наблюдений 1982-1993 гг., за который имеется ряд наблюдений на уровне поста Лахта. На ГП Горный институт выбирались для каждого года максимальные уровни во время наводнений и значительных подъемов уровня воды. Общее количество подъемов составило 31 случай. По материалам инструментальных наблюдений на уровне поста Лахта максимальные уровни выбирались на даты максимальных уровней на ГП Горный институт с учетом времени добега.

Теснота связи максимальных уровней воды на ГП Горный институт и Лахта за 1982-1993 гг. определена по рассчитанному коэффициенту корреляции (таблица 1). Коэффициент корреляции максимальных уровней постов Горный институт и Лахта составил 0,995, средняя ошибка уравнения регрессии составила  $\pm 3,5$  см.

Таблица 1. Характеристики корреляционно – регрессионного анализа максимальных уровней воды в р. Большая Нева (Горный институт) и в Невской губе (Лахта)

Период наблюдений	Число пар значений	Уравнение регрессии	Средняя ошибка уравнения регрессии, см	Коэффициент корреляции	Среднее квадратическое отклонение, $\sigma$ , см	
					X	Y
Горный институт (x) – Лахта (y)						
1982-1993	31	$y = 1,005x - 9,5$	$\pm 3,5$	0,995	34,61	34,94

Прогностический максимальный годовой уровень воды (см БС) на уровне поста Лахта при открытых сооружениях КЗС различной обеспеченности в районе благоустройства набережных, приведенный к периоду наблюдений на р. Неве 1691-2015 гг. представлен в таблице 2.

Таблица 2. Прогностический максимальный годовой уровень воды (см БС) различной обеспеченности при открытых сооружениях КЗС в районе проектирования набережных «МФК Лахта Центр», приведенный к периоду наблюдений на р. Неве 1691-2015 гг.

Обеспеченность, %											
1	2	5	10	20	25	50	75	90	95	98	99
330	282	250	234	214	206	174	147	126	114	101	92

Статистический прогноз максимальных уровней воды в огражденной акватории Невской губы при закрытых водо- и судопропускных сооружениях КЗС выполнен ГГИ [1]. По полученным расчетным данным была построена эмпирическая кривая обеспеченности максимальных уровней остаточных наводнений у ГП Горный институт. По уравнению регрессии рассчитывались прогностические уровни соответствующей обеспеченности на уровне поста Лахта, в районе проектирования набережных «МФК Лахта-Центр» при закрытых сооружениях КЗС (таблица 3).

Таблица 3. Прогностический максимальный годовой уровень воды (см БС) различной обеспеченности при закрытых сооружениях КЗС в районе проектирования набережных «МФК Лахта Центр».

Обеспеченность, %											
1	2	5	10	20	25	50	75	90	95	98	99
182	170	155	144	136	134	125	117	111	106	102	99

С помощью программного комплекса (ПК) CARDINAL [2,3,4] в двумерной постановке по двум моделям: 1) модели NBM6 р. Невы, Невской губы и восточной части Финского залива до створа Шепелево - Озерки и 2) локальной модели северо-восточной части Невской губы и озера

Лахтинский Разлив выполнены расчеты течений, уровня, ветрового волнения и деформаций дна в Невской губе в районе Лахта-Центра при скоростях ветра 1% обеспеченности (1 раз в 100 лет) западного (22,5 м/с), юго-западного (17,9 м/с) - наиболее волноопасных направлений и восточного (16,8 м/с) сгонного ветра при 1% значении стока Невы.

В расчетах по первой модели учитывалось закрытие водо- и судопропускных сооружений КЗС при нагонных ветрах. Сооружения закрывались согласно регламенту при подъеме уровня у судопропускного сооружения С-1 со стороны Финского залива до отметки +1.00 м БС. Расчет велся до момента подъема уровня у Горного института за счет ветра и стока Невы до отметки +1.90 м БС – значение, полученное в [5] для высоты 1% остаточного наводнения. При восточном ветре расчет велся до получения стационарного режима течений.

При расчетах по модели NBM6 записывался временной ход расходов воды на разрезах, соответствующих участкам открытых границ локальной модели. Эти данные экспортировались после окончания расчетов в локальную модель и использовались в ней как граничные условия на открытых границах.

Для расчета волнения использовался программный комплекс SWAN [6] (версия 40.91AB, 2016), разработанный в Дельфтском технологическом университете (Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences). Расчеты по SWAN выполнялись для момента окончания расчета сначала по модели NBM6, затем уточнялись по локальной модели. Граничные значения в локальную модель импортировались из модели NBM6.

Расчеты деформации дна выполнялись с использованием метода Л. Ван Райна (Leo Van Rijn) из фирмы Delft Hydraulics, Нидерланды [7].

На рисунках 2-4 представлены результаты расчетов уровня воды, высоты значимых ветровых волн и придонной орбитальной скорости в волнах 1% обеспеченности.

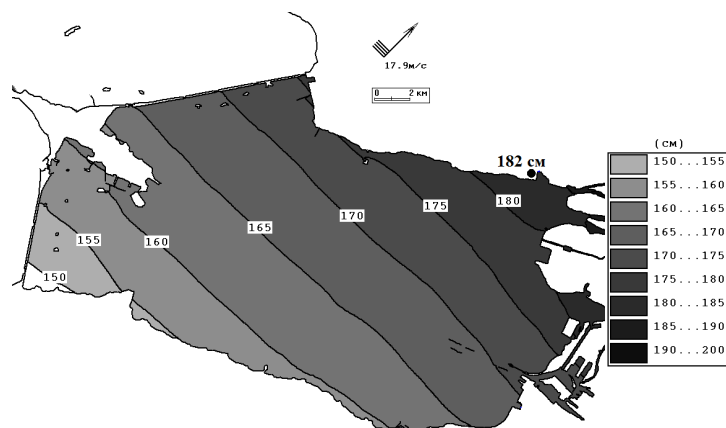


Рис. 2. Изолинии уровня (см БС) в Невской губе при юго-западном ветре 17,9 м/с и расходе Невы 4700 м<sup>3</sup>/с в момент подъема уровня у Горного института до 190 см БС. КЗС закрыт при подъеме уровня у судопропускного сооружения С-1 до 1 м БС. Модель NBM6

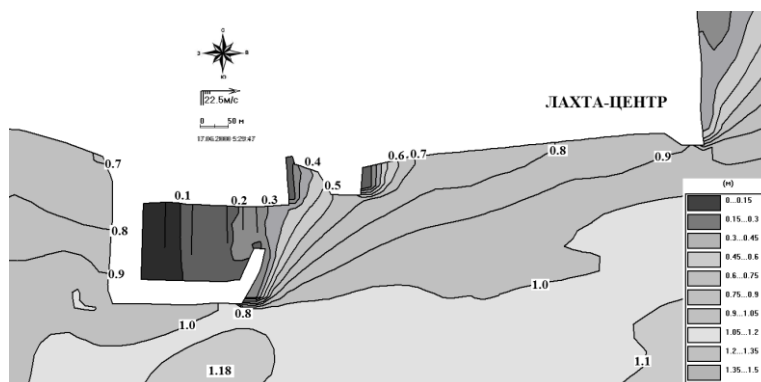


Рис. 3. Изолинии значимой высоты ветровых волн (м) в районе Лахта-Центра при западном ветре 22,5 м/с. Расход Невы 4700 м<sup>3</sup>/с. Локальная модель

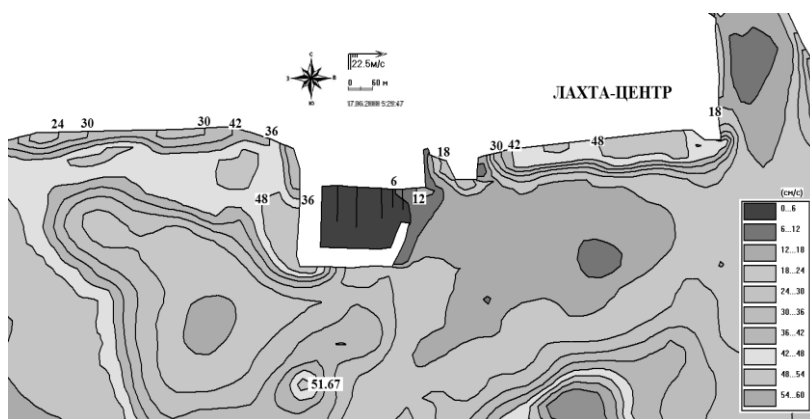


Рис.4. Изолинии придонной орбитальной скорости в волнах (см/с) в районе Лахта-центра при западном ветре 22,5 м/с, расход р. Невы 4700 м<sup>3</sup>/с. Локальная модель

#### Выводы.

Максимальный прогностический уровень воды у Лахта Центра достигается при юго-западном ветре 17,9 м/с и составляет 182 см, что совпадает с значением статистических расчетов на основе данных наблюдений.

Максимальные значения расчетных параметров у Лахта-Центра при различных ветрах и расходе Невы 1% обеспеченности, полученные с помощью программного комплекса (ПК) CARDINAL, приведены в таблице 4.

Таблица 4. Максимальные значения расчетных параметров у Лахта-Центра при различных ветрах и расходе Невы 1% обеспеченности

	Западный 22,5 м/с	Юго-западный 17,9 м/с	Восточный 16,8 м/с	Максимум
Уровень, см БС	168	182		182
Скорость течения, см/с	38	18	36	38
Значимая высота волн, м	0,9	0,9		0,9
Уровень с учетом волнения, см БС	213	227		227
Длина волн, м	8	10		10
Период волн, с	3,3	3,3		3,3
Придонная орбитальная скорость, см/с	52	52		52
Деформация дна, см	±4,1	±0,08	±2,4	±4,1

#### Литература

1. Расчетные уровни воды р. Невы и Невской губы в естественных и проектных условиях, Техн. отчет ГГИ, Л., 1975, - 262 с
2. Клеванный К.А., Смирнова Е.В. Использование программного комплекса CARDINAL // Журнал Университета водных коммуникаций, 2009, вып. 1, СПб, С.153-162.
3. Klevanny K.A., Matveyev G.V., Voltzinger N.E. Integrated modelling system for coastal area dynamics. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1994, v.19, N.3, p.181-206.
4. Клеванный К.А. Моделирование длинноволновых процессов в геофизической гидродинамике. Диссертация, Российский государственный гидрометеорологический университет, 1999, - 313 с.
5. Технический проект «Защита Ленинграда от наводнений». Том 1. Природные условия. Книга 1. Гидрометеорологические условия. Инв. № 1296 – 3т. ЛО Гидропроект, 1977, - 301 с.
6. User's Manual for the Simulating WAVes Nearshore Model (SWAN). URL: <http://www.swan.tudelft.nl>.
7. Van Rijn L.C. Simple general formulae for sand transport in rivers, estuaries and coastal waters. URL: <http://www.leovanrijn-sediment.com>

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРОНИКНОВЕНИЮ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ ПОД ПОЛОГ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ

Д.Е. Клименко<sup>1</sup>, А.Л. Остахова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

## EXPERIMENTAL DATA ON THE PENETRATION OF EXTREME DEPRESSIVE SEDIMENTS UNDER SECRETS OF CONIFEROUS AND DIFFERENT WOODS

D.E. Klimenko<sup>1</sup>, A.L. Ostakhova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm, Russia

*Максимальный сток дождевых паводков малых рек лесной зоны в значительной степени определяется характеристиками ливневых осадков и степени их задержания кронами лиственных и хвойных древостоев. Наблюдения над осадками ведутся только на открытой местности. Приводятся результаты физического моделирования процесса водоудержания капель на кронах и метеорологических наблюдений над осадками под пологом леса. Установлено, что вода удерживается на хвое только в капельном виде, тогда как на листве - в бороздах жил листа; размеры капель изменяются от 10.6 до 18.6 мг. Установлены зависимости максимальной массы удерживаемой влаги от площади листовой поверхности, характеризующиеся коэффициентом корреляции 0.98. Максимальная масса водоудержания на кронах единичных деревьев изменяется от 24.8 до 58.0 кг, или от 1.9 до 4.6 мм в расчете на проекционную площадь кроны. Экспериментальные и расчетные данные подтверждены результатами наблюдений под кронами. Разработана методика и выполнено моделирование процесса перехвата дождевых осадков за время дождя хвойными древостоями. Ливневые осадки за первые 5-20 минут дождя почти полностью перехватываются кронами. За последующие 20-90 минут перехватывается около 70% суммы осадков, выпавших за это время. С увлажнением крон величина потерь осадков на перехват плавно снижается: при продолжительности дождей более 5-12 часов (в зависимости от интенсивности) величина перехвата осадков кронами снижается до 28%. Дальнейшие потери осадков на кронах стабилизируются на уровне 7%.*

*The maximum flow of rain floods of small rivers of the forest zone is largely determined by the characteristics of heavy rainfall and the degree of their retention by crowns of deciduous and coniferous stands. Observations of precipitation are carried out only in open areas. The results of the physical modeling of water holding drops on crowns and meteorological observations of precipitation under the forest canopy are presented. It was established that water is retained on the needles only in a droplet form, whereas on the foliage - in the furrows of a leaf; droplet sizes vary from 10.6 to 18.6 mg. The dependences of the maximum mass of moisture retained on the leaf surface area, characterized by a correlation coefficient of 0.98, have been established. The maximum mass of water retention on the crowns of single trees varies from 24.8 to 58.0 kg, or from 1.9 to 4.6 mm per projection area of the crown. Experimental and calculated data are confirmed by the results of observations under crowns. The technique has been developed and the process of intercepting rainfall during the rain by coniferous stands has been simulated. Rainfall for the first 5-20 minutes of rain is almost completely intercepted by crowns. Over the next 20-90 minutes, about 70% of the total precipitation during this time is intercepted. With the moistening of crowns, the amount of precipitation loss for interception gradually decreases: with the duration of rains longer than 5-12 hours (depending on the intensity), the interception value of precipitations by crowns decreases to 28%. Further loss of precipitation on the crowns will stabilize at the level of 7%.*

Вопросы количественных оценок емкости удержания дождевых осадков пологом лиственных древостоев изучаются с начала XX в. Величина задержания осадков и последующего их испарение находятся в прямой зависимости от размеров и свойств поверхности смачивания. Несмотря на то, что емкость удержания дождевых осадков в общих чертах описана для отдельных пород деревьев [1-3], не существует оценок для целого ряда древесных пород определенных природных зон, в том числе для лесов Среднего Урала. Это обстоятельство затрудняет выполнение оценок элементов водного баланса лесных водосборов. В настоящем исследовании авторами выполнены эмпирические оценки предельной емкости удержания влаги хвойными и лиственными породами в расчете на единицу площади листовой поверхности (или поверхности хвои).

Для производства измерений, анализируемые ветви подвешивались через сконструированный деревянный кронштейн, закрепленный на предметной поверхности весов, на веревках. При этом весы устанавливались на выносном кронштейне, закрепленном на балконе



лабораторного корпуса над землей. При подвешивании, положение анализируемой ветви подбирались максимально близким к естественному положению растущей на анализируемой породе дерева ветви. Определялась естественная масса ветви в сухую погоду с точностью до 5 г (приборная погрешность используемых весов). После чего производилось искусственное дождевание ветви до момента стабилизации максимальной массы, которая и фиксировалась в полевом журнале. По разнице масс сухой и смоченной ветви определялась величина максимального количества влаги, удержанного на листьях (хвое) и ветвях анализируемого образца суммарно. Площадь поверхности листовых пластин выполнялась путем обмеров репрезентативных выборок (площадей поверхности смачивания каждого листа или хвоинки для данной породы) и ручного подсчета количества хвоинок и листовых пластин.

По данным исследования, максимальные значения слоя осадков единичного ливня, перехваченного хвойными породами, варьируют от 1.7 до 5 мм; отдельное дерево может удерживать от 25 до 50 литров, в зависимости от породы, площади листовой поверхности и таксационных характеристик. Удержание воды осуществляется только в капельном виде на концах хвоинок, в нижней части ветвей. Максимальный размер капли, покоящейся в нижней части отдельной хвоинки, достигает массы 15.6 мг; в средний максимальный размер капли на ветвях составляет 12.9 мг; капля, заключенная между группой хвоинок, может достигать величины в 18.6 мг.

На основании экспериментов по искусственному орошению ветвей установлены параметры зависимости между площадью листовой поверхности ( $LA$ ,  $m^2$ ) и максимальной массой удерживаемой на хвое воды ( $m$ , г):  $m = 4.07 \cdot LA^2 + 132 \cdot LA + 0.95$  (рис. 1). На основе полученной зависимости и данных по площадям листовой поверхности расчетных водосборов появляется возможность рассчитать величину перехвата за время выпадения дождя, а также потери на испарение с площади кроны.

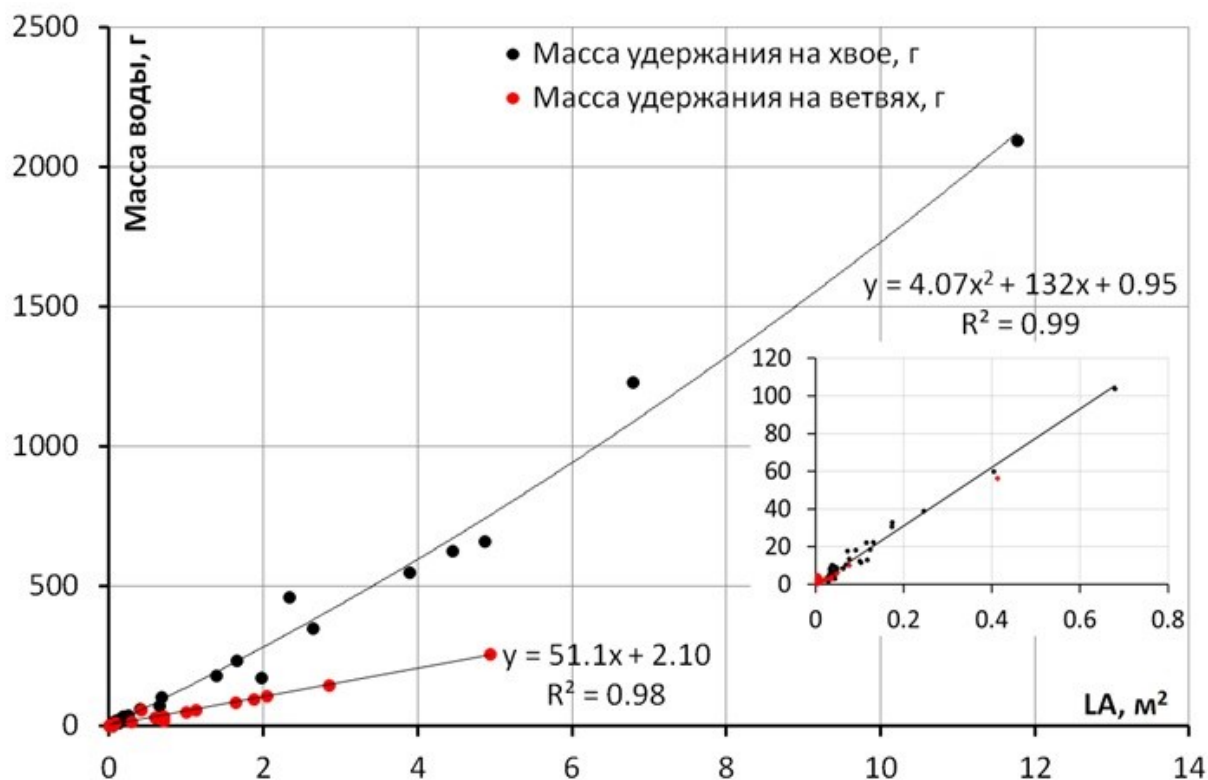


Рис. 1. Зависимость емкости удержания влаги от площади листовой поверхности для хвойных пород

Максимальная масса водоудержания на кронах единичных лиственных деревьев может достигать 77 кг или 3.0-4.0 мм в расчете на проекционную площадь кроны. Это существенно меньше, чем у хвойных пород (для сравнения, лиственница удерживает до 150 кг дождевой влаги

или 5.9 мм слоя). Наличие испарения с крон, а также ветровые колебания листовых пластин приводят к еще большим величинам перехвата, нежели установлено в ходе экспериментов. Учет величин безвозвратных потерь имеет большую практическую значимость в оценке водного баланса лесных участков, баланса влаги в почвенном слое под пологом леса, а также паводочного стока малых водосборов лесной зоны. Эмпирические зависимости массы удерживаемой влаги от суммарной площади листовой поверхности лиственных пород представлены на рис. 2.

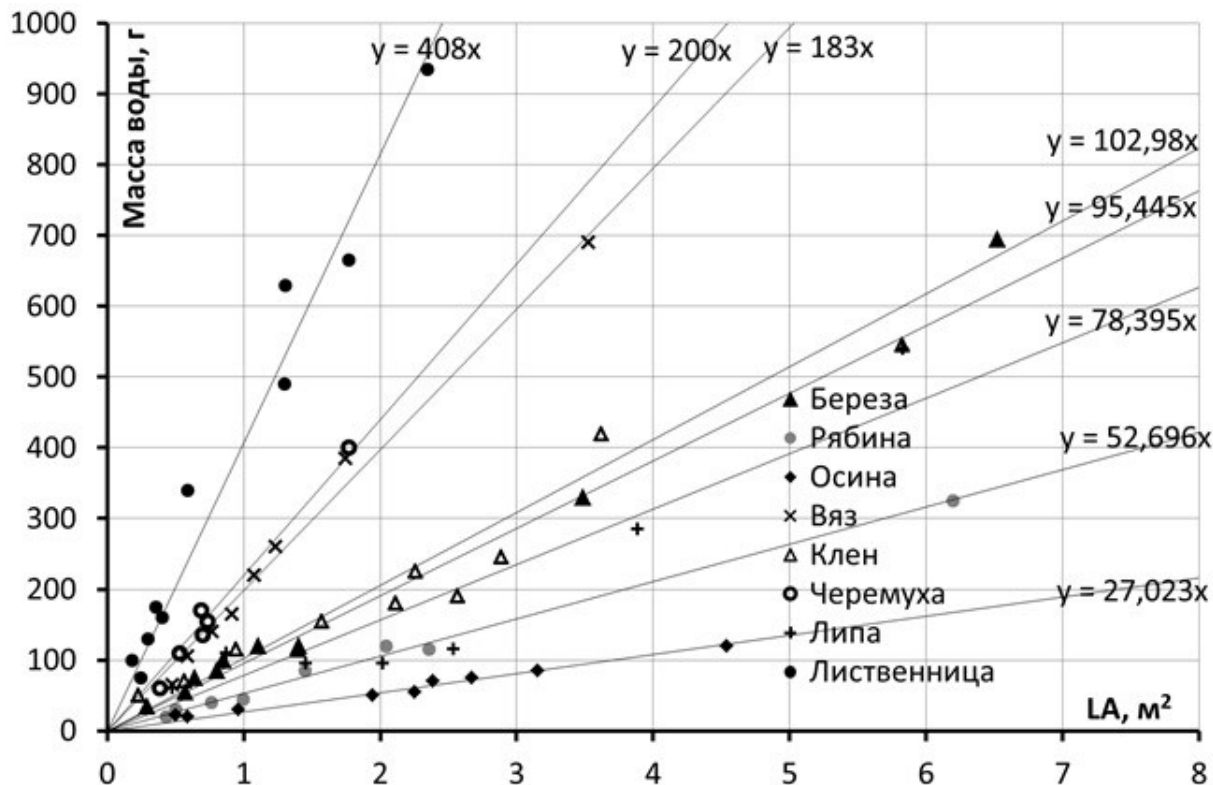


Рис. 2. Зависимости емкости удержания влаги от площади листовой поверхности для лиственных пород

На основании полученных эмпирических зависимостей, с использованием методических разработок по величинам фитомассы  $F_l$ , т/га [4] и площади листовой поверхности лесообразующих пород России [6], выполнены расчеты предельной величины слоя перехватываемой влаги ( $h$  перехвата, мм) в расчете на площадь кроны ( $S_{проект}$ , м²) анализируемых пород деревьев (таблица 1).

Таблица 1. Расчетная масса максимально возможного удержания дождевых вод на кронах лесообразующих пород (хвойных II класса бонитета, возраст пород – 80 лет, сомкнутость древостоя 0,8; лиственных II класса бонитета, возраст пород – 40 лет и лиственницы II класса бонитета, возраст пород – 80 лет, сомкнутость древостоя 0,8)

Порода	$F_l$ , т/га (в т.ч. древе- сина кроны)	$S_{проект}$ , м <sup>2</sup>	$LA$ , м <sup>2</sup>	$m$ , кг	$h$ перехвата, мм
Пихта	36.9	12.0	233	36.2	3.0
Ель обыкновенная	50.6	12.6	373	58.0	4.6
Сосна обыкновенная	32.0	11.2	170	26.4	2.4
Сосна сибирская	36.7	13.0	159	24.8	1.9
Береза повислая	19.7	28.0	815	77.4	2.8
Осина обыкновенная	15.0	25.0	494	13.3	0.5
Вяз шершавый	11.7	25.0	535	107	4.3
Клен платанолистный	29.2	28.0	546	51.9	1.9
Липа мелколистная	11.7	25.0	535	41.8	1.7
Лиственница	25.0	25	361	147	5.9

Полученные зависимости могут быть использованы в моделировании паводочного стока малых рек лесной зоны Урала. Учет величины безвозвратных потерь осадков на кронах древостоев позволяет существенно повысить точность расчетов паводочного стока малых рек генетическими методами.

### Литература

1. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. – М. : Наука, 1967. 95 с.
2. Рахманов В.В. Лесная гидрология: Обзор // Итоги науки и техники. Сер. Лесоведение и лесоводство. М., 1981. 181 с.
3. Субботин А.И. О систематических ошибках измерений и однородности многолетних гидрометеорологических данных // Водные ресурсы. 1981. № 5, с. 20-28.
4. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы / Федеральное агентство лесного хозяйства, Междунар. институт прикладного системного анализа. Москва, 2008. 886 с.
5. Уткин А.И., Ермолова Л.С., Уткина И.А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 290 с.

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПАВОДКОВ В БАССЕЙНАХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.Д. Колупаева<sup>1</sup>, О.М. Макарьева<sup>1,2</sup>, Н.В. Нестерова<sup>1,4</sup>, Т.А. Виноградова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт мерзлотоведения им. М.П.Мельникова Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия

<sup>3</sup>ООО «НПО «Гидротехпроект»», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## METHODS OF CALCULATION CHARACTERISTICS OF CATASTROPHIC FLOODS IN THE BASINS OF THE BLACK SEA COAST OF KRASNODAR REGION IN THE CONTEXT OF NONSTATIONARITY OF THE ENVIRONMENT

A.D. Kolupaeva<sup>1</sup>, O.M. Makarieva<sup>1,2</sup>, N.V. Nesterova<sup>1,4</sup>, T.A. Vinogradona<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia

<sup>3</sup>“Gidrotehproekt” LLC, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Russia State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются проблемы расчета гидрологических характеристик катастрофических паводков на реках Черноморского побережья России. Предложен метод математического детерминированного моделирования в качестве альтернативы стандартным методам расчета в условиях нестационарности окружающей среды.*

*This paper addresses the use of deterministic mathematical modeling as an alternative to standard methods for calculating the hydrological characteristics of the maximum flow of small rivers under conditions of non-stationary environmental conditions.*

Проблема катастрофических паводков является наиболее серьезной для территории Черноморского побережья Кавказа. Малые площади водосборов, особые факторы формирования стока, выпадение осадков высокой интенсивности в совокупности приводят к стремительному подъему и спаду уровня воды, многократному увеличению расходов [1]. Также стоит отметить, что авторы [2] утверждают, что основным фактором выпадения экстремальных осадков на территории Черноморского побережья является увеличение температуры воды в море на 2 градуса за последние 30 лет. На фоне с быстрыми темпами развития региона и сосредоточением населения вблизи русел рек необходимо выполнять точные расчеты максимальных характеристик стока, что зачастую не может быть достигнуто стандартными методами, которые основаны на статистическом анализе рядов наблюдений. Таким образом, для решения этой проблемы необходимо создавать новые методы расчета. Нами был предложен метод детерминированного математического моделирования, позволяющий достаточно точно определять максимальные характеристики стока как для изученных, так и для неизученных водосборов рассматриваемой территории.

В качестве объекта исследования были выбраны два водосбора – водосбор р. Туапсе и р. Цемесс. За последние 20 лет деятельность этих рек на фоне с мощными осадками не только нанесла серьезный материальный ущерб районным центрам, но и унесла десятки человеческих жизней.

Для моделирования максимальных характеристик стока была использована уже зарекомендовавшая себя как инструмент точного расчета суточных расходов воды модель «Гидрограф», учитывающая весь путь формирования стока от выпадения осадков, до стекания воды в замыкающем створе. Для расчета срочных расходов на часовом интервале было предложено использовать плювиографические данные об осадках на близ расположенных метеорологических станциях. Данные плювиографов предварительно были оцифрованы и осреднены до часового интервала.

Для достижения поставленной цели было решено промоделировать выдающиеся паводки, вызванные ливнями экстремальной интенсивности: на реке Туапсе – 1991г., на р. Цемесс – 1988.

### Расчет максимальных характеристик для водосбора реки Туапсе (учет сумм осадков со всех близко расположенных точек наблюдения).

Для расчета исторического паводка 1 августа 1991 года были задействованы данные pluвиографов по двум метеостанциям «Горный» и «Туапсе». Общее количество осадков по данным pluвиографов составило 148,1 и 65 мм для метеостанции «Горный» и «Туапсе» соответственно. Максимальные, средние и минимальные значения интенсивности составляют соответственно 1,47, 0,62 и 0,17 мм/мин. Среднесуточный и срочный расходы воды в период прохождения паводка были оценены как 635 и 2 300 м<sup>3</sup>/с [3].

Результатами моделирования паводка являются: суточный слой осадков, равный 155 мм, что практически совпадает с наблюдаемым суточным слоем стока 156 мм; максимальный 1-часовой расход равный 890 м<sup>3</sup>/с, суточный 182 м<sup>3</sup>/с и слой стока за сутки – 45 мм. Как видно, рассчитанные характеристики в 3 раза ниже наблюдаемых. Результаты моделирования показали, что после длительного бездождя периода траты влаги на насыщение почвы составили 82 мм, суммарные потери на испарение – 7 мм, а приток в подземные стоковые элементы – 18 мм. Таким образом, мы получили, что для формирования столь мощного паводка количество осадков должно быть в два раза больше. В [4] авторы сообщают, что основной объем паводка был сформирован левыми притоками р. Туапсе – р. Пшенахо и р. Малое Псеушко, а также приводят суммы осадков 1 августа для метеорологического поста «Татьяновка» - 241 мм, и на водомерном посту в с.Горное на р. Пшиш – 302 мм. Поэтому было решено провести еще два дополнительных расчета с использованием данных о количестве осадков на метео- и водомерном посту.

Для второго варианта были использованы данные об осадках на метеорологическом посту Татьянаовка и гидропосту в с.Горное, а для третьего – к сумме осадков по pluвиографам были добавлены осадки на посту Татьянаовка.

В результате было получено, что рассчитанные слои осадков и стока за паводок оставили 242 и 148 мм соответственно, срочный и суточный расходы воды 4200 и 600 м<sup>3</sup>/с для второго варианта, а для третьего слои осадков и стока – 180 и 62 мм, а срочный и суточный расход – 1680 и 250 м<sup>3</sup>/с. Результаты расчета представлены на рис. 1.

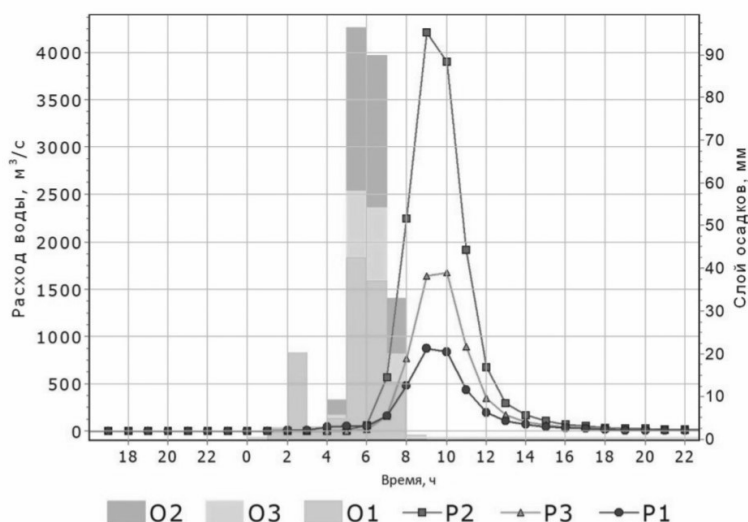


Рис. 1. Результаты моделирования выдающегося паводка 31 июля – 1 августа 1991 года на р. Туапсе; О и Р 1,2,3 – рассчитанные слои осадков и гидрографы паводкового стока соответственно для вариантов расчета 1-3 (расчетный шаг – 1 час).

### Расчет максимальных характеристик для водосбора реки Цемесс (учет предпаводочного состояния водосбора).

20 июля 1988 года в бассейне р. Цемесс наблюдались ливни высокой интенсивности. pluвиографами на метеостанции Новороссийск было зафиксировано рекордное количество осадков 179,4 мм за 4 часа 50 минут. Максимальная и средняя интенсивность составили соответственно 2,3 и 0,6 мм/мин. На ряду с высокой интенсивностью фактором формирования

катастрофического паводка явился факт выпадения ливней уже на увлажненную поверхность, о чем свидетельствует выпадение в предшествующие трое суток осадков в общей сумме 97,6 мм.

Результаты моделирования показали, что выпавшие осадки 20 июня не смогли просочиться в почво-грунты из-за того, что за трое суток до формирования паводка количество влаги в бассейне увеличилось более чем на 70 мм, а 20 июня достигло 355 мм, результатом чего стало формирование максимального расхода. Рассчитанный 1-часовой расход воды составил 688 м<sup>3</sup>/с. Развитие паводка представлено на рис. 2.

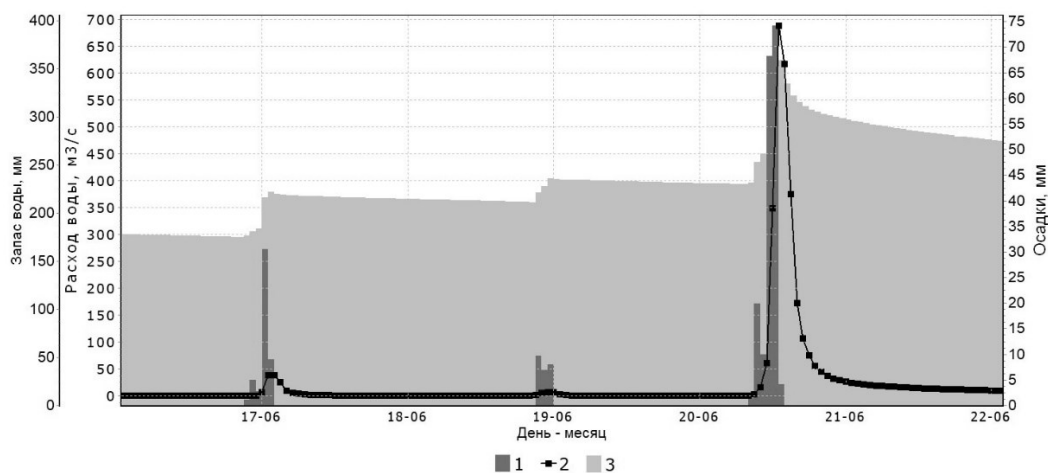


Рис. 2. Развитие паводка 20 июня 1988 года; 1 – осадки, мм, 2 – рассчитанный 1-часовой расход воды, м<sup>3</sup>/с, 3 – запас воды в бассейне, мм

В итоге работы сделан вывод о возможности расчета максимальных характеристик посредством детерминированного моделирования как для изученных, так и для неизученных водосборов. Но результаты моделирования находятся в прямой зависимости от количества осадкомерных пунктов. Также стоит отметить, что есть возможность предсказания максимальных характеристик на основе предсказанных данных об осадках.

### Литература

1. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Колтерманн П.К., Торопов П.А., Школьный Д.И., Белякова П.А. Наводнения на Черноморском побережье Краснодарского края // Водные ресурсы. 2016. Т.43. № 1. С. 3–17. <https://doi.org/10.7868/S032105961601003X>.
2. Edmund P. Meredith, Vladimir A. Semenov, Douglas Maraun, Wonsun Park & Alexander V. Chernokulsky «Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme» // Nature Geoscience. 2015. V.8, P.615–619.
3. Мельникова Т.Н., 2006. Максимальный сток дождевых паводков рек Северо-Западного Кавказа // Вестник Адыгейского государственного университета, Т. 2. С.237–240.
4. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М., 2012. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока // Донской издательский дом. Ростов-на-Дону.

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ БАКТЕРИЙ *A. BORKUMENSIS* В БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.А. Коннова<sup>1</sup>, А.А. Данилушкина<sup>1</sup>, Г.И. Фахруллина<sup>1</sup>, Р.Ф. Фахруллин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

## THE USE OF NANOMODIFIED BACTERIA *A. BORKUMENSIS* IN THE BIOREMEDIATION OF OIL POLLUTION OF THE SEA SURFACE

S.A. Konnova<sup>1</sup>, A.A. Danilushkina<sup>1</sup>, G.I. Fakhrullina<sup>1</sup>, R.F. Fakhrullin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia

*В работе разработаны методы модификации клеточной поверхности морских углеводородокисляющих бактерий *A. borkumensis* наноматериалами. Показано, что иммобилизация наноматериалов не влияет на биodeградирующую и биоэмульгирующую активности клеток. Предполагается, что модификация поверхности клеток углеводородокисляющих бактерий наноматериалами повысит эффективность применения данных микроорганизмов в биоремедиации нефтяных загрязнений.*

*In the work methods for modification of the cell surface of marine hydrocarbon oxidizing bacteria *A. borkumensis* with nanomaterials have been developed. It is shown that the immobilization of nanomaterials does not affect the biodegrading and bioemulsifying activity of cells. It is assumed that the modification of the cell surface of hydrocarbon oxidizing bacteria with nanomaterials will increase the efficiency of the use of these microorganisms in the bioremediation of oil contaminants.*

Темпы научно-технического прогресса, увеличение производства в значительной мере определяются уровнем использования энергетических ресурсов. Развитие топливно-энергетического комплекса и энергетики является одной из важнейших основ развития всего современного материального производства [1]. К числу основных энергетических ресурсов относятся, в первую очередь, традиционные, органические виды минерального топлива, добываемые из земных недр: нефть и нефтепродукты. Транспортировка и добыча нефти сопровождается авариями, которые приводят к гибели большого количества живых организмов.

В настоящее время для утилизации нефтяных разливов используются химические вещества. В ряде работ показано, что они малоэффективны для деградации нефти, не утилизируются, а также сохраняются в донных отложениях и накапливаются в воде. Показано, что соединения являются токсичными по отношению к флоре и фауне морей, а также сильно замедляют активность нефть-деградирующих микроорганизмов [2].

Поэтому актуальным является поиск новых экологически безопасных и эффективных способов и инструментов утилизации нефтяных загрязнений и восстановления экосистемы морей и океанов. В данной работе были разработаны и оптимизированы методы модификации клеточной поверхности микроорганизмов-деструкторов нефти для повышения нативной деградирующей активности клеток. Инженерия клеточной поверхности морских углеводородокисляющих микроорганизмов наноматериалами является новой и перспективной областью исследования. Кроме того, использование углеводородокисляющих микроорганизмов с модифицированной поверхностью является экологически безопасным инструментом, так как данные микроорганизмы - представители естественной микрофлоры морей и океанов.

В работе использовали культуру *Alcanivorax borkumensis* SK2 (ATCC<sup>®</sup> 700651<sup>™</sup>) логарифмической фазы роста (-15,8±1,22 мВ), наночастицы магнетита, стабилизированные полиаллиламин гидрохлоридом (ПАН) (116,6±0,55 нм; +66,2±1,91 мВ), и нанотрубки галлуазита (407,4±27,77 нм; +27,4±1,57 мВ).

Известно, что бактерии *A. borkumensis* обитают в экосистемах с высокой соленостью воды, до 3,6 % (36 ‰). При высоких концентрациях солей наночастицы агрегируют. Поэтому модификация поверхности морских микроорганизмов вызывает трудности. Бактерии *A. borkumensis* модифицировали двумя методами: методом послойного нанесения и методом прямой иммобилизации (рисунок 1). Метод прямой иммобилизации был использован при осаждении на клеточную поверхность магнитных наночастиц, стабилизированных полиамином. После иммобилизации магнитных наночастиц, стабилизированных ПАН, отрицательно заряженная поверхность (-15,8±1,22 мВ) бактерий *A. borkumensis* приобретала положительный (+39,3±1,27 мВ) потенциал.

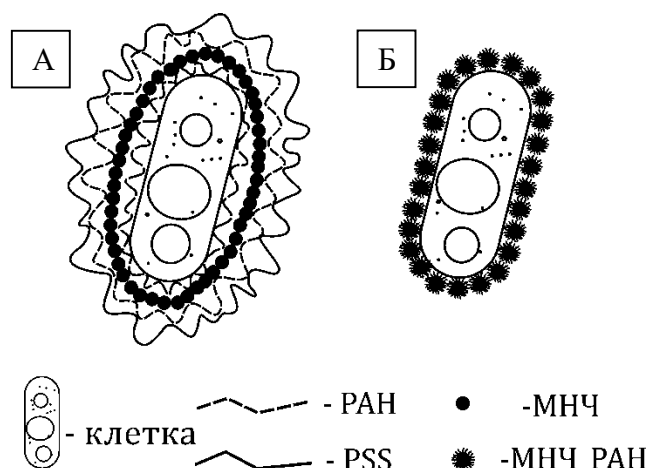


Рис. 1. Схемы методов иммобилизации наночастиц на клетки бактерий *A. borkumensis*. А. Метод послойного нанесения и Б. Прямая иммобилизация наночастиц, стабилизированных полиэлектролитом, на поверхность клетки. МНЧ - магнитные наночастицы, МНЧ\_PАН - магнитные наночастицы, стабилизированные полиэлектролитом полиаллиламин гидрохлоридом.

Метод послойного нанесения был использован при иммобилизации нанотрубок галлуазита на клеточную поверхность бактерий *A. borkumensis*. С помощью электронной микроскопии установлено, что нанотрубки галлуазита (рис. 2В), а также магнитные наночастицы, стабилизированные РАН (рис. 2Б), равномерно распределяются на поверхности бактерий *A. borkumensis*. Замечено, что клетки *A. borkumensis* агрегируют при иммобилизации на клеточную поверхность нанотрубок галлуазита методом послойного нанесения (рис. 2В). Микрофотографии ультратонких срезов (рис. 2Г) показывают, что не происходит нарушения структуры наружной мембраны и наночастицы не проникают внутрь клеток.

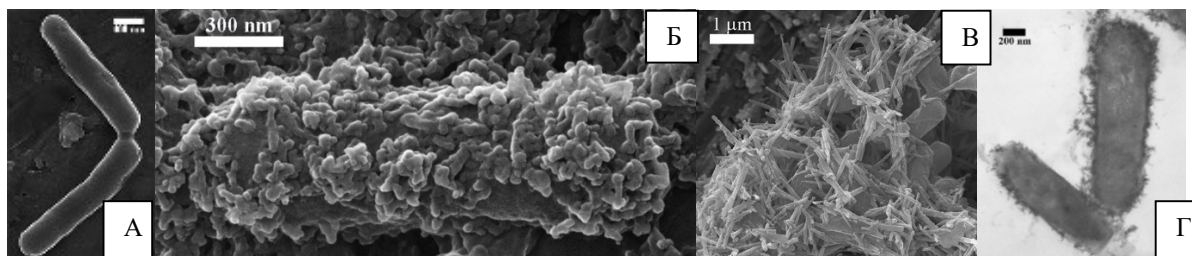


Рис. 2. Электронные микрофотографии интактной клетки (А), клетки бактерий *A. borkumensis*, модифицированной нанотрубками галлуазита (В), и модифицированной магнитными наночастицами (Б, Г).

В работе было проведено исследование влияния наноматериалов и процесса иммобилизации на жизнеспособность бактерий. Для оценки жизнеспособности в работе были использованы методы: оценка роста культуры клеток, определение физиологической активности микроорганизмов с помощью диацетата флуоресцеина и йодистого пропидия, оценка ферментативной активности клеток (оценка с помощью красителей резазурина и МТТ). Результаты исследований по оценке роста бактерий, модифицированных и нанотрубками галлуазита и магнитными наночастицами, согласуются с данными биохимического метода определения физиологической активности с помощью флуоресцентного красителя диацетата флуоресцеина и демонстрируют отсутствие токсического влияния нанотрубок галлуазита и магнитных наночастиц на рост, размножение и ферментативную активность бактерий.



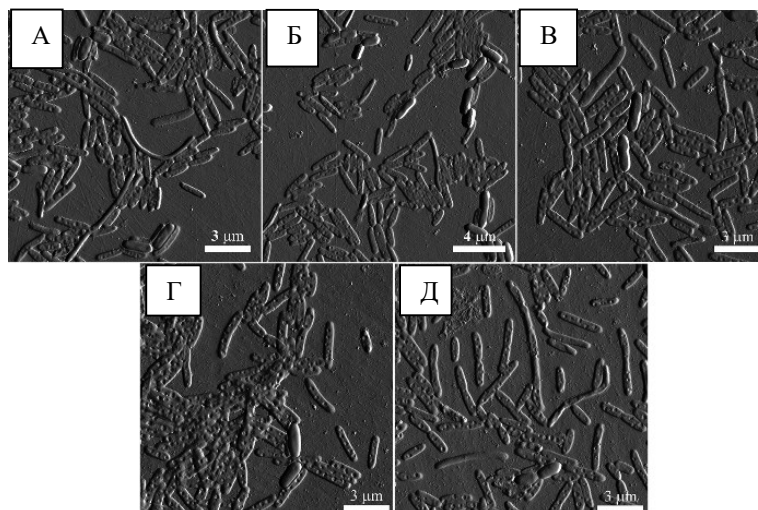


Рис. 3. Полученные с помощью АСМ изображения (peakforcetappingрежим) биопленок бактерий *A. borkumensis*, образуемых в присутствии магнитных наночастиц в концентрации 0,5 мг/мл (А), 1 мг/мл (Б), 1,5 мг/мл (В), 2 мг/мл (Г), 2,5 мг/мл (Д).

Выживаемость бактерий *A. borkumensis* в морской среде обеспечивается способностью данных микроорганизмов образовывать биопленки. В работе было изучено влияние наночастиц на процесс формирования биопленок у бактерий *A. borkumensis*. Рисунок 3 демонстрирует, что магнитные наночастицы не ингибируют формирование биопленок бактерий *A. borkumensis*. При увеличении концентрации магнитных наночастиц структура и морфология биопленок бактерий не изменяется и не нарушается.

Модификация клеточной поверхности бактерий наночастицами оксида железа приводит к формированию слоя магнитных наночастиц на поверхности клеток. Благодаря данному слою становится возможным направленная доставка и перемещение клеток в пространстве с помощью внешнего магнитного поля. Наличие магнитных свойств у модифицированных клеток бактерий *A. borkumensis* продемонстрировано на рисунке 4. В растворе происходит концентрирование суспензии модифицированных клеток на стенке сосуда с той стороны, где приложен магнит (рисунок 4 В). В работе было показано, что модифицированные клетки перемещаются под воздействием постоянного магнитного поля на твердой агаризованной среде (рисунок 4Б).

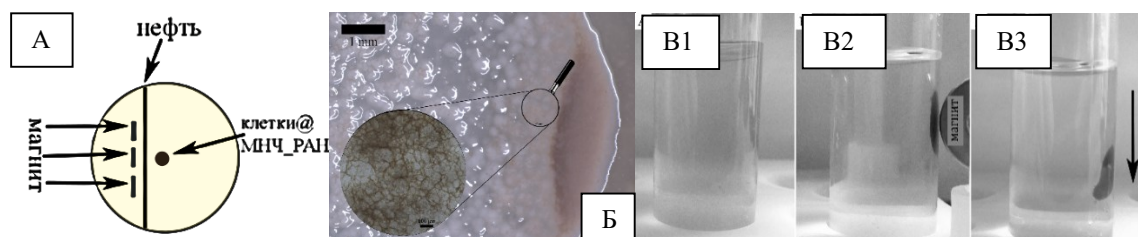


Рис. 4. Магнитная восприимчивость клеток бактерий *A. borkumensis*, модифицированных наночастицами оксида железа. Схема оценки магнитотаксиса у модифицированных клеток *A. borkumensis* (А). Микрофотография воздействия магнитного поля на колонии модифицированных клеток на твердой агаризованной среде (Б). Фотографии воздействия магнита на модифицированные клетки бактерий в растворе (В1-В3). Суспензия модифицированных клеток до (В1) и после (В2, В3) воздействия магнитного поля.

В работе показано, что модифицированные нанотрубками галлуазита и магнитными наночастицами бактерии обладают эмульгирующими и биодеградирующими свойствами по отношению к углеводородам, сырой нефти и ее соединениям.

Мы предполагаем, что в дальнейшем метод магнитной модификации можно использовать для концентрирования бактерий-деструкторов около нефтяного загрязнения для эффективной и ускоренной его биодеградации.

## **Литература**

1. <http://www.mining-enc.ru/e1/energeticheskie-resursy/>
2. Kleindienst S., Seidel M., Ziervogel K., Grim S., Loftis K., Harrison S., Malkin S.Y., Perkins M.J., Field J., Sogin M.L., Dittmar T., Passow U., Medeiros P.M., Joye S.B. Chemical dispersants can suppress the activity of natural oil-degrading microorganisms// PNAS 2015, V.112, P.14900–14905.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-34-00778 мол\_а и гранта Президента РФ МД-6655.2018.4.*

*This work was supported by the RFBR grant 18-34-00778 mol\_a and the grant of the President of the Russian Federation MD-6655.2018.4.*

## ПОДХОДЫ К РАНЖИРОВАНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ДОЛГОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ В АРКТИКЕ

А.М. Коновалов<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Г.В. Батунова<sup>1</sup>, канд. экон. наук

<sup>1</sup>МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, Россия

## APPROACHES TO THE RANKING OF THE INDICATORS OF THE NATURAL ENVIRONMENT FOR LONG-TERM INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN THE ARCTIC REGION

A.M. Konovalov<sup>1</sup>, Cand.Sc., G.V. Baturova<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia

*В докладе представлены методологические подходы к построению алгоритма ранжирования показателей природной среды по степени влияния на развитие инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации.*

*The report is devoted to the methodological approaches to the ranking algorithm of the indicators of the natural environment in terms of impact on the development of infrastructure in the Arctic zone of the Russian Federation.*

В документах стратегического планирования социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации (далее – АЗРФ) и обеспечения национальной безопасности России в Арктике последовательно проводится тезис о том, что экономическое развитие и жизнедеятельность в макрорегионе теснейшим образом связаны с Мировым океаном, с морским транспортом, с надежным функционированием Северного морского пути. Большинство населенных пунктов в АЗРФ расположены на побережье арктических морей или в непосредственной близости от него, а также в низовьях рек, впадающих в Северный Ледовитый океан [1]. Нарушение работы морского транспорта, несвоевременная доставка топлива, продовольствия и других товаров в Арктику ввиду коротких сроков арктической навигации приводят к существенным социальным и экономическим последствиям, вплоть до угрозы жизни проживающего и работающего здесь населения. Изменения климата, сдвиг экономической деятельности в шельфовую зону арктических морей ведет к усилению роли морского фактора в экономическом и социальном развитии АЗРФ [2]. Приморский характер макрорегиона отличает его природно-хозяйственные циклы от «континентального» Севера России и определяет своеобразие формируемых здесь в прогнозный период акваторриториальных хозяйственных комплексов/кластеров на континентальном шельфе и в береговой зоне [3].

Для Арктической зоны Российской Федерации характерны экстремальные природные условия: низкие в течение всего года температуры, длительная полярная ночь и длительный полярный день, частые магнитные бури, сильные ветры и метели, плотные туманы, однообразные арктические пустыни и тундры, вечная мерзлота; высокая, значительно опережающую среднемировую, динамика изменений климата в последние десятилетия. Природная экстремальность усиливается негативным действием социально-экономических факторов – транспортной недоступностью, высокими производственными издержками и стоимостью жизни, малыми размерами экономики и тенденциями к ее монополизации, изолированностью и дисперсностью расселения [4].

С социальной точки зрения существенно то, что в Арктике действуют и факторы природной дискомфортности – дефицит солнечной радиации и нарушение привычных неарктическим жителям суточных ритмов – чередования дня и ночи. Цикл «полярный день – полярная ночь» не только влияет на самочувствие и работоспособность человека, но и обуславливает дополнительные издержки на освещение любой экономической деятельности [5].

Утвержденные Президентом Российской Федерации и Правительством Российской Федерации документы стратегического планирования социально-экономического развития АЗРФ и обеспечения национальной безопасности нацеливают на наращивание присутствия России в Арктическом регионе и интенсификацию экономической деятельности. Ставятся задачи полномасштабного развития инфраструктуры, причем не только обновления и модернизации действующих объектов, но и создания новой. При этом жизненный цикл объектов

инфраструктуры составляет десятки, а в некоторых случаях и сотни лет (порты, железные дороги, аэропорты и др.), что предъявляет особые требования к горизонтам прогнозирования и планирования [6]. В свою очередь, развитие инфраструктуры воздействует на природную среду, что требует учета при принятии управленческих решений.

С другой стороны, в Арктике наблюдаются глобальные изменения природных процессов, в первую очередь климатических, повышающих риск возникновения опасных природных явлений, а также влияющих на инфраструктуру на всех этапах ее жизненного цикла, что требует учета в нормативных, нормативных правовых и методических документах (документах стратегического планирования, строительных нормах и правилах и т.д.). Эта задача носит прикладной характер. В большинстве своем действующие нормы устарели, они разрабатывались в период советского освоения Арктики, содержат архаичные положения, требуют актуализации и приведения в соответствие современным реалиям опережающего развития макрорегиона.

В этой связи резко актуализируются задачи, связанные с увязкой показателей природной среды с показателями развития инфраструктуры в макрорегиональном (Арктическая зона Российской Федерации) масштабе в интересах долгосрочного прогнозирования, в том числе развития промышленной и социальной инфраструктуры, которые до сих пор не находили своего решения [7]. Принципиально важно создание автоматизированной системы обеспечения деятельности производственной и социальной инфраструктуры в сложных природно-климатических условиях Арктики.

При долгосрочном прогнозировании социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации целесообразно произвести ранжирование показателей состояния природной среды по степени их влияния на различные виды промышленной и социальной инфраструктуры [8]. Полученные при этом показатели после их агрегирования могут стать входными параметрами при моделировании и создании автоматизированной системы обеспечения деятельности производственной и социальной инфраструктуры в сложных природно-климатических условиях Арктики. В этой связи предлагается следующая модель, адаптированная для оценки показателей состояния природной среды по степени их влияния на различные виды промышленной и социальной инфраструктуры: методология и алгоритм определения её входных параметров представлены в соответствии с рисунком 1, а принципиальная схема и алгоритм реализации – в соответствии с рисунком 2.

Создание и реализация модели, адаптированной для оценки показателей состояния природной среды по степени их влияния на различные виды промышленной и социальной инфраструктуры, подразумевает 8 шагов или итераций. На первой итерации происходит сбор и систематизация первичных данных в различных областях знаний о природной среде АЗРФ в базу данных. На второй – расчёт частных количественных индикаторов и показателей с помощью действующих математических моделей. На третьей – осуществляется ранжирование и определение приоритетных частных количественных индикаторов и показателей с помощью специально разработанных критериев приоритизации и методики ранжирования. На четвертой – полученные и соответствующим образом ранжированные индикаторы и показатели агрегируются в интегральные с определением диапазона их пороговых значений. На пятой – осуществляется сценарное моделирование возможных рисков, издержек, ущербов и убытков для объектов инфраструктуры на основе действующих моделей с учетом глобальных моделей климатических изменений, моделей оперативного, кратко- и среднесрочного прогнозирования динамики природных процессов и предварительной оценкой стоимости превентивных мероприятий и эффекта «домино». На шестой – определяются интегральные показатели возможных рисков, издержек, ущербов и убытков для объектов инфраструктуры также с расчетом пороговых значений. На седьмой – происходит их адаптация для отдельных сфер жизнедеятельности (отраслей и секторов экономики и социальной сферы) и для различных этапов жизненного цикла объектов инфраструктуры матричным методом. И, наконец, на седьмой – на базе предыдущих пунктов разрабатываются и обосновываются рекомендации по учету результатов моделирования в нормативных, нормативных правовых и методических документах: документах стратегического планирования, строительных нормах и правилах и т.д.

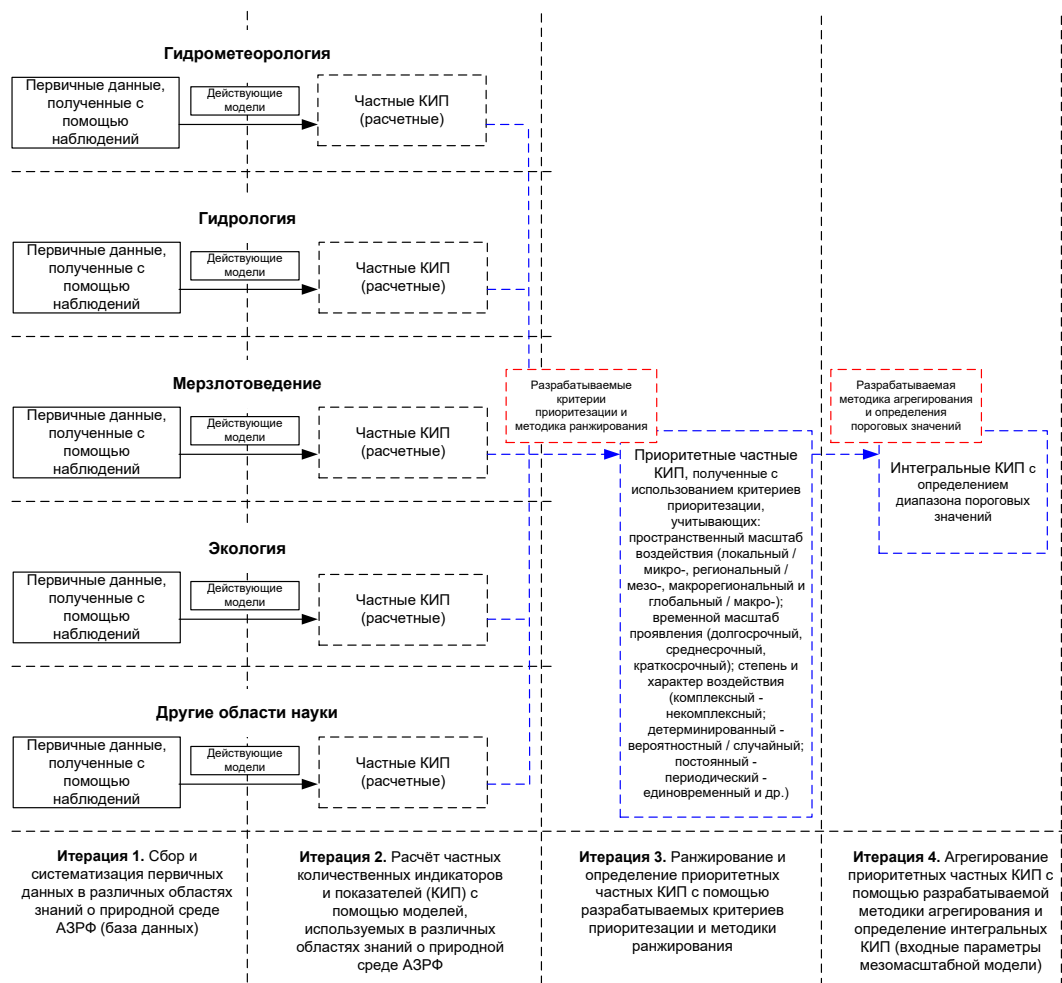


Рис. 1. Методология и алгоритм определения входных параметров модели

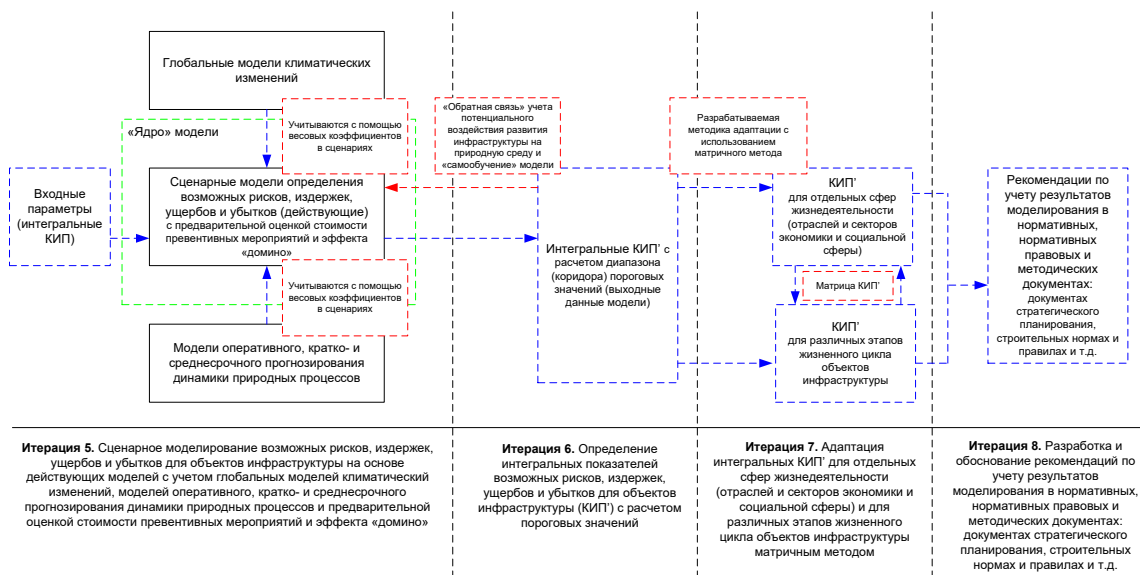


Рис. 2. Принципиальная схема модели и алгоритм ее реализации

В последнее время наблюдается экспоненциальный рост систем поддержки принятия решений в различных отраслях и сферах жизнедеятельности. Такие системы становятся все более эффективными, надежными и востребованными, в том числе в процессах государственного управления, включая стратегическое планирование [9]. Действуют десятки

информационных систем и сетей в отдельных областях знаний (в первую очередь гидрометеорологии, гидрологии, мерзлотоведения, экологии и др.). Они носят ведомственный, национальный, либо глобальный (создаются под эгидой международных организаций) характер. Циркулирующие в них информационные ресурсы фрагментарны (по периодичности, степени покрытия, детализации, сопоставимости и т.д.), в большинстве случаев не агрегированы, не адаптированы к учету при прогнозировании долгосрочного развития инфраструктуры, а сами информационные системы и сети слабо связаны между собой. Отсутствуют единые унифицированные форматы исходных данных. С другой стороны, функционируют и развиваются отраслевые информационные системы и сети, в которых генерируется информационные ресурсы, описывающие развитие инфраструктуры. Задачи увязки показателей природной среды с показателями развития инфраструктуры в макрорегиональном (АЗРФ) масштабе в интересах долгосрочного прогнозирования ставились и решались несистемно и нерегулярно. При этом необходимо отметить, что сам объект исследований – Арктическая зона Российской Федерации – был описан лишь в 2014 году с утверждением Указа Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 года № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» (с изменениями от 27 июня 2017 года № 287) [10]. Таким образом, реализация предлагаемой модели будет способствовать повышению уровня информационного сопровождения реализации государственной политики России в Арктике, решения научно-технических, экономических, военно-стратегических и других задач в области изучения, освоения и использования пространств и ресурсов АЗРФ.

### Литература

1. Коновалов А.М., Батунова Г.В. Арктическая стратегия России. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013.
2. Коновалов А.М. Стратегическое планирование развития Арктической зоны Российской Федерации. М.: СОПС, 2013.
3. Батунова Г.В. Системообразующая роль Северного морского пути в развитии Арктической зоны Российской Федерации // Информационно-аналитическое издание «Российский Север: модернизация и развитие». 2015. Вып. 2. С.148-153.
4. Коновалов А.М., Батунова Г.В. Стратегическое планирование социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации // Регион: экономика и социология. 2015. №4(88). С.3-23.
5. Коновалов А.М. Пространственное развитие Арктической зоны Российской Федерации на основе модернизации экономики России // Современные производительные силы. 2014. №1. С.51-64.
6. Коновалов А.М., Попова Е.В., Фетисов Г.Г. Государственное стратегическое планирование развития Арктической зоны Российской Федерации // Тр. конф. Стратегическое планирование в регионах и городах России: потенциал интеграции. 2013. С.81-84.
7. Батунова Г.В. Подходы к формированию количественных показателей комплексного развития // Тр. конф. Стратегическое планирование в регионах и городах России: потенциал интеграции. 2013. С.123-126.
8. Загорский А.В., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н., Саваськов П.В., Телегина Е.А., Арбатов А.Г., Дворкин В.З., Апанасенко В.М., Ознобищев С.К., Глубоков А.И., Глубоковский М.К., Коновалов А.М., Гудев П.А., Коньшев В.Н., Рыхтин М.И., Сергунин А.А. Арктика: зона мира и сотрудничества. М.: Институт мировой экономики и международных отношений РАН, 2011.
9. Фетисов Г.Г., Гранберг А.Г., Глазьев С.Ю., Вашанов В.А., Коновалов А.М., Михеева Н.Н., Разбегин В.Н., Пилясов А.Н. Проблемы пространственного развития: методология и практика исследования. М.: СОПС, 2012.
10. Коновалов А.М. Сценарии развития Арктической зоны Российской Федерации // Информационно-аналитическое издание «Российский Север: модернизация и развитие». 2012. Вып. 1. С.42-53.

*Представленные в докладе материалы разработаны при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках прикладных научных исследований (проекта) по Соглашению № 14.574.21.0148 от 26 сентября 2017 года (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57417X0148).*

*The materials presented in the report were developed with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia as part of applied scientific research (project) under Agreement No. 14.574.21.0148 dated September 26, 2017 (unique identifier of work (project) RFMEFI57417X0148).*

## АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ПЕРВОМ СИНОПТИЧЕСКОМ РАЙОНЕ ПО ТИПИЗАЦИЯМ Б.Л. ДЗЕРДЗЕЕВСКОГО И Г.Я. ВАНГЕНГЕЙМА

Н.К. Кононова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, П.А. Шабанов<sup>2</sup>, В.В. Иванов<sup>3</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## ATMOSPHERIC CIRCULATION FLUCTUATION ANALYSIS IN THE FIRST SYNOPTIC REGION ACCORDING TO B.L. DZERDZEEVSKII AND G.Ya. WANGENGEIME CLASSIFICATIONS

N.K. Kononova<sup>1</sup>, Cand.Sc., P.A. Shabanov<sup>2</sup>, V.V. Ivanov<sup>3</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*По материалам двух типизаций проанализированы колебания циркуляции атмосферы в заданном районе за период 1899-2016 гг. Выделены элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ), соответствующие формам «W», «C» и «E».*

*Based on the materials of the two classification, the circulation fluctuations were analyzed in the first synoptic region for 1899-2016 period. Elementary circulation mechanisms (ECM) corresponding to the forms «W», «C» and «E», were defined.*

### **Введение.**

Впервые анализ связи циркуляции атмосферы в Европейском секторе по Б.Л. Дзерdzeевскому и Г.Я. Вангенгейму был проведен в 1974 г. [1]. Была выявлена связь многолетних колебаний продолжительности С-формы атмосферной циркуляции по Г.Я. Вангенгейму [2], давлением в центре Исландской депрессии в миллибарах [3] и долготной северной циркуляции в Европейском секторе по Б.Л. Дзерdzeевскому [4]. Позднее, в 2013 г. [5], был проведен анализ особенностей этих типизаций, однако сравнения многолетних колебаний циркуляции атмосферы в пределах первого синоптического района по данным двух типизаций проведено не было. Мы решили восполнить этот пробел.

### **Материалы и методы.**

Для анализа использованы данные [6, 7]. Данные [6] дополнены присланными из ААНИИ ежедневными данными о формах циркуляции, по которым посчитаны годовые значения по 2016 г. Два каталога содержат данные с 1899 по 2016 гг.

Поскольку первый синоптический район простирается от 60° з.д. до 120° в.д., что соответствует Атлантическому Европейскому и Сибирскому секторам по Б.Л. Дзерdzeевскому [4], по динамическим схемам элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) были определены группы ЭЦМ, траектории перемещения циклонов и антициклонов при которых соответствуют формам «W», «C» и «E» над этими секторами.

### **Полученные результаты.**

Суммарная годовая продолжительность (число дней) каждой группы сравнивалась с суммарной годовой продолжительностью соответствующей формы циркуляции (рис. 1-3).

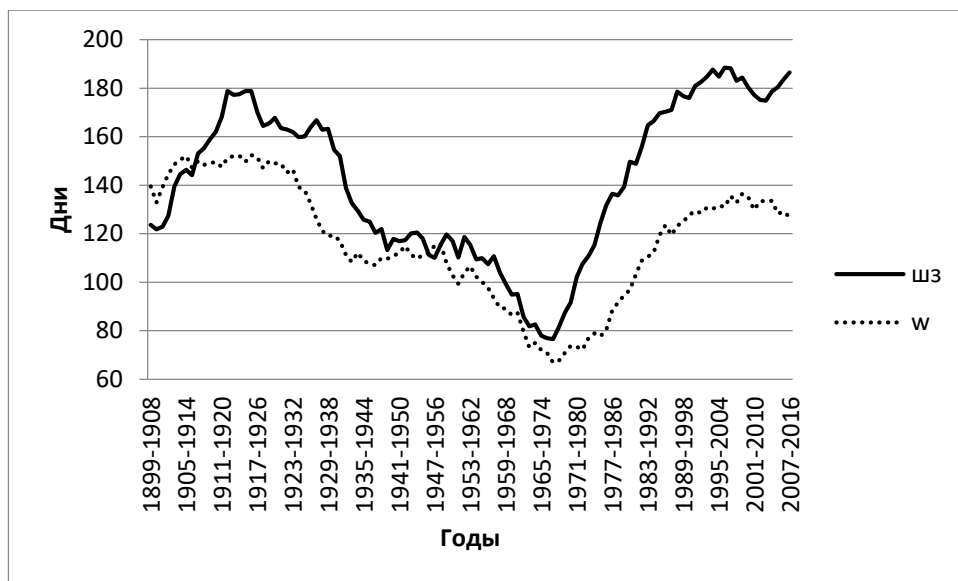


Рис. 1. Колебания формы «W» и группы «широтная западная» для Атлантического, Европейского и Сибирского секторов Северного полушария за 1899-2016 гг. (10-летние скользящие средние)

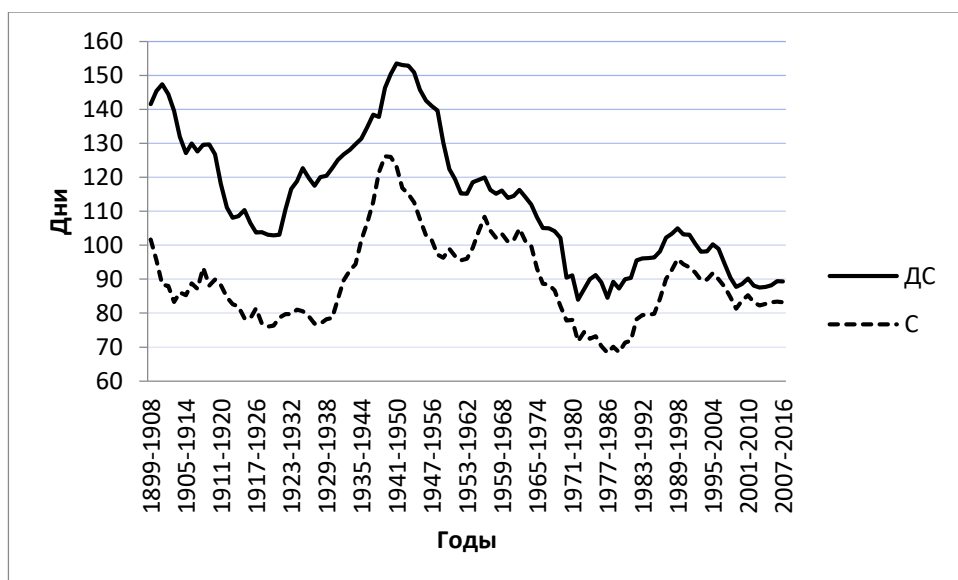


Рис. 2. Колебания формы «С» и группы «долготная северная» для Атлантического, Европейского и Сибирского секторов Северного полушария за 1899-2016 гг. (10-летние скользящие средние)



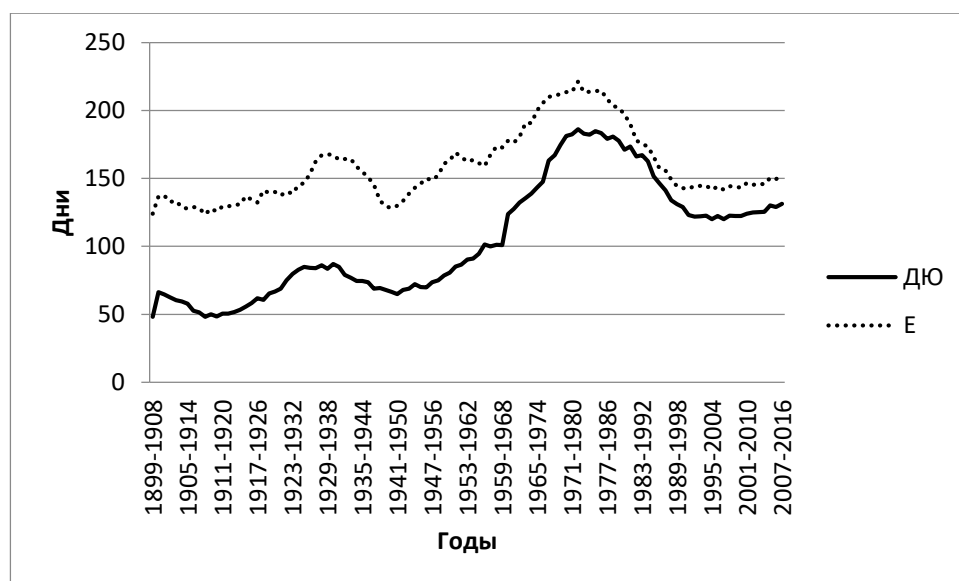


Рис. 3. Колебания формы «Е» и группы «долготная южная» для Атлантического, Европейского и Сибирского секторов Северного полушария за 1899-2016 гг. (10-летние скользящие средние)

Были рассчитаны коэффициенты корреляции ( $r$ ) и детерминации ( $R^2$ ) между годовыми значениями соответствующих форм и групп циркуляции. Для формы «W» и широтной западной циркуляции в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторах Северного полушария значения  $r=0.77$  и  $R^2=0.60$ ; для формы «С» и долготной северной группы циркуляции –  $r=0.71$ ,  $R^2=0.50$ ; формы «Е» и долготной южной группы циркуляции  $r=0.82$ ,  $R^2=0.68$ . Высокие коэффициенты корреляции и детерминации свидетельствуют, что ЭЦМ правильно распределены по формам циркуляции.

Может показаться странным, что восточная форма циркуляции «Е» скоррелирована с ЭЦМ, при которых южные циклоны в отмеченных секторах выходят к Северному Ледовитому океану. Но именно в тылу циклонов, перемещающихся с юго-запада на северо-восток, арктические вторжения направлены с северо-востока на юго-запад, т. е. соответствуют траекториям потоков при форме «Е».

Годовое число дней групп циркуляции широтная западная и долготная северная (Рис. 1, 2) систематически больше аналогичных значений форм циркуляции соответственно «W» и «С». Исключения составляют 1899 - 1915 гг. на Рис. 1 (первая, меридиональная северная эпоха по Б.Л. Дзержевскому), в которую значения широтной циркуляции были ниже средней. Для формы «Е» (Рис. 3) соотношение обратное.

#### Выводы.

1. Впервые произведено разделение ЭЦМ по траекториям барических образований на группы, соответствующие формам «W», «С» и «Е» в атлантико-евразийском секторе.

2. Проведен расчёт годовых значений групп и форм циркуляции (число дней), проведено сравнение многолетних колебаний форм «W», «С» и «Е» с выделенными группами циркуляции методом корреляционного анализа. Значения коэффициентов корреляции для формы «W» и группы широтной западной, для формы «С» и группы долготной северной и для формы «Е» и группы долготной южной оказались значимыми: 0.77, 0.71 и 0.82. Соответствующие коэффициенты детерминации – 0.59, 0.50 и 0.67. Высокие значения коэффициентов свидетельствуют об удачно проведённом распределении ЭЦМ по формам циркуляции.

3. Проведенный анализ открывает путь работам по колебаниям климата с использованием обоих источников данных о формах крупномасштабной циркуляции атмосферы.

#### Литература

1. Кононова Н.К. Циркуляционные эпохи в различных секторах Северного полушария // Исследования генезиса климата, АН СССР, Институт географии. Москва. 1974, С. 68-83.

2. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики//Труды ААНИИ, 1952. Т. 23. 314 с.
3. Абрамов Р.В. Некоторые следствия геофизической детализации классической концепции центров действия атмосферы. // Исследования по проблеме океан - атмосфера. Л. Изд. ЛГУ, 1967, сб. 1.
4. Дзердзеевский Б.Л. Сопоставление характеристик атмосферной циркуляции над северным полушарием и его секторами.// Материалы метеорологических исследований, изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР. М., 1970, с. 7-14.
5. Мещерская А.В., Кононова Н.К., Иванов В.В., Голод М.П. Сравнение двух типизаций циркуляционных процессов // Труды ГГО, 2013, вып. 568, с. 137-155.
6. Catalogue of Indexes (forms) of Atmospheric Circulation (ACI)E, W, C //Long-Term Meteorological Forecasts Department of Arctic and Antarctic Research Institute. St. Petersburg, 1997, 31 с.
7. Продолжительность ЭЦМ и групп ЭЦМ // Колебания циркуляции атмосферы в XX - начале XXI века [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.atmospheric-circulation.ru](http://www.atmospheric-circulation.ru)

## МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.Д. Костарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## MONITORING OF OIL SPILL PROCESSES IN THE AREA OF THE BARENTS SEA USING THE REMOTE SENSING DATA

A.D. Kostarev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Использование данных дистанционного зондирования Земли для предотвращения техногенных катастроф становится важным, практически полезным методом. В статье рассмотрены методы использования спутниковой аппаратуры для выявления разливов нефти в акватории Баренцева моря.*

*Using a remote sensing data for the prevention of technogenic disasters becomes important, and practically useful method. In the article methods of using satellite equipment and other modern technological systems for revealing the oil pollution of the Barents Sea are considered.*

Баренцево море – одна из наиболее перспективных в плане добычи углеводородного сырья акватория Российской Федерации; оно входит в Баренцево-Карскую нефтегазоносную провинцию, площадь которой около 1500 км<sup>2</sup>, и которая вмещает 74.4% всех запасов углеводородов континентального шельфа России. На шельфе Баренцева моря уже сейчас разведаны около 40 структур, потенциальные запасы углеводородов которых составляют: нефти – 3-8 млрд. т, газа – 9-13 трлн. м<sup>3</sup>. [1] Помимо добычи углеводородов, в акватории Баренцева моря активно ведётся их транспортировка: грузооборот порта Мурманск в 2017 году составил 51,7 млн т, что на 54,5% больше, чем в 2016, причём таких показателей удалось достичь в том числе благодаря увеличению доли наливных грузов (в частности – нефти) в 2,5 раза – 29,1% от общего грузооборота [2]. Следовательно, экосистема Баренцева моря в значительной степени подвержена загрязнению нефтяными продуктами, которое может быть вызвано авариями на нефтедобывающих платформах, судовыми разливами, и также нефтяными пятнами естественного происхождения (в местах грифонной активности). Это объясняет актуальность разработки процессов мониторинга загрязнений нефтепродуктами акватории Баренцева моря, используя современную методику обработки данных дистанционного зондирования Земли, получаемых с различных спутниковых систем.

На сегодняшний день общепризнан тот факт, что космическая радиолокация является эффективным средством ДЗЗ для обнаружения разливов нефти, причем использование радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), позволяющих получать радиолокационные изображения поверхности моря, является одним из наилучших решений. Исследования по данной тематике, применительно к Охотскому морю, побережью острова Сахалин, показывают, что именно космическую радиолокационную съемку высокого разрешения и широкого обзора, вследствие её оперативности и всепогодности, целесообразно применять для наблюдения, исследования, быстрого реагирования на различные процессы, явления, происходящие в северных и арктических морях, в частности нефтяных загрязнений поверхности моря, а также применять для слежения за положением и перемещением судов. [3]

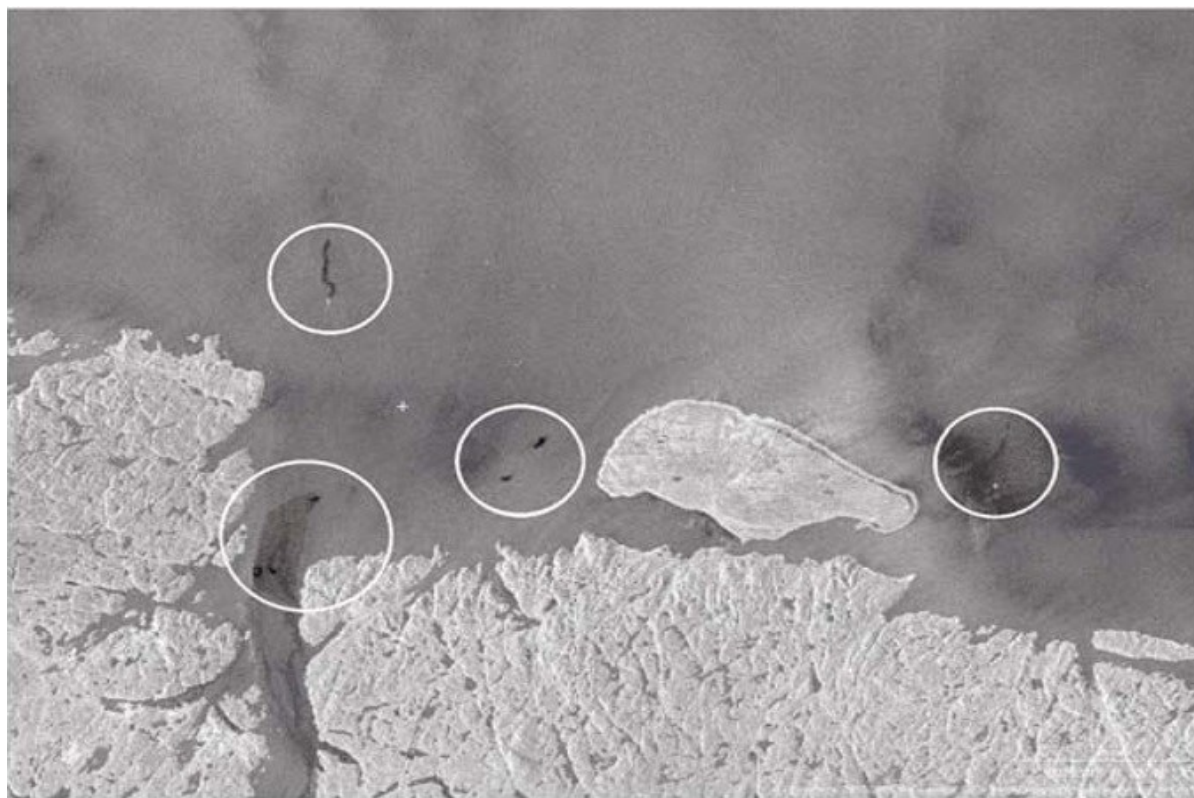


Рис. 1. Фрагменты РЛИ Radarsat-1 от 05.09.2011 г. и 30.11.2011 г., на которых отобразились судовые разливы на выходе из Кольского залива

Съемка, проводимая радиолокаторами с синтезированной апертурой может стать основным, даже единственным и самодостаточным источником информации при обеспечении работ нефтегазового комплекса на обширных акваториях арктических морей [4], позволяет получать комплекс необходимых информативных данных для осуществления таких процессов, как оперативный мониторинг экологического состояния территориальных вод и исключительной экономической зоны РФ с обнаружением и идентификацией загрязнений нефтью и нефтепродуктами; оценка масштабов и контроль динамики распространения аварийных разливов нефти на акваториях; контроль судовых разливов, а также поиск нефтегазоносных структур по естественным выходам нефти и газа.

В таблице 1 содержится перечень современных РСА - систем и возможностей космической радиолокации для наблюдения пятен нефти и морского льда как в широкообзорных режимах съемки (обычно используется одна поляризация), так и поляризационных/полнополяризационных режимах, имеющих узкую полосу обзора. Эти спутники уже сейчас задействованы, или, по крайней мере, в ближайшее время будут использоваться в системах мониторинга арктических морей.

Помимо съемочной аппаратуры, в данный момент широкое применение получило электронное сопровождение процессов мониторинга загрязнений акваторий. Активно используются морские сервисы-порталы, в которые в оперативном режиме поступает вся необходимая информация, в том числе и радиолокационная съемка. В настоящее время созданы порталы по Баренцеву, Белому, Балтийскому, Черному и Каспийскому морям, другим морям Арктики и Дальнего Востока. Одна из подобных технологий, «Геомиксер», позволяет получать удаленный доступ к данным, авторизоваться через интернет.

Таблица 1. Режимы съёмки современных космических РСА, пригодных для наблюдения арктических морей [5]

Спутник или датчик	Год запуска	Частотный диапазон	Широкообзорные режимы, км	Поляризационные режимы*	Ширина полосы обзора в поляризационном режиме, км
COSMO-SkyMed-1; 2; 3; 4	2007, 2008, 2010	X (9,6 ГГц)	200	ГГ+ВВ, ГГ+ГВ, ВВ+ВГ	30
TerraSAR-X	2007	X (9,6 ГГц)	270	Полная поляризация	15
RISAT-1	2012	C (5,35 ГГц)	220	Полная поляризация + компактная мода	25
KOMPASAT-5	2013	C (5,35 ГГц)	100	Полная поляризация	5
Sentinel-1A, 1B	2014	C (5,35 ГГц)	240, 400	ГГ+ВВ, ГГ+ГВ, ВВ+ВГ	80
«Обзор-Р»	2015	X (9,6 ГГц)	230...750	ГГ+ГВ, ВВ+ВГ	30
NovaSAR-S	2015	S (2,7 ГГц)	150, 750	ГГ+ВВ, ГГ+ГВ, ВВ+ВГ	15...20
SAOCOM-1A; 1B	2015	X (9,6 ГГц)	350	ГГ+ВВ, ГГ+ГВ, ВВ+ВГ + компактная мода	30
Radarsat Constellation Mission (RCM) 1; 2; 3	2018	C (5,4 ГГц)	350, 500	Полная поляризация + компактная мода	30 до 350

Плюсы использования этой технологии и специализированных геопорталов для морских приложений очевидны. При отсутствии непосредственного доступа к результатам оперативного мониторинга заказчик получает единую электронную картографическую основу, на которой отображается информация о нефтяных загрязнениях, ледяном покрове и положении судов в текущих оперативных проектах; имеется доступ к архивной и дополнительной информации через протокол передачи географически привязанных данных через интернет (WebMapService). Упрощается работа различных служб, подразделений и экспертов по созданию соответствующих продуктов, например, карт распределения пленочных загрязнений моря и ледовой обстановки [6].

Таким образом, обозначена значимость использования данных ДЗЗ для мониторинга процессов загрязнения нефтепродуктами акватории Баренцева моря, определён перечень пригодных для исследования арктических морей современных космических съёмочных систем, рассмотрены преимущества использования геопорталов, как инструмента обмена и хранилища данных.

### **Литература**

1. Зонн И. С., Костяной А. Г. Баренцево море. – Междунар. отношения, 2011.
2. Обзор грузооборотов морских портов России. Итоги 2017 года. <https://aftershock.news/?q=node/611093&full> Дата обращения 03.04.18
3. Иванов А. Ю. и др. Поведение и мониторинг разливов нефти в водах арктических морей (на примере Баренцева моря) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – №. 5.
4. Иванов А. Ю. О восстановлении параметров морской среды по данным космических РСА // Исследование Земли из космоса. – 2010. – №. 3.
5. Синёва А. А. Поляризационная радиолокация для обнаружения и идентификации пленочных загрязнений моря // Труды Московского физико-технического института. – 2014. – Т. 6. – №. 3
6. Потанин М., Антонюк А. Оперативный мониторинг морских акваторий: новые геоинформационные решения и интернет-технологии. – 2014

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТЛАНТИЧЕСКОЙ ВЕТВИ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Д.А. Кузнецова<sup>1</sup>, И.Л. Башмачников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## INTERANNUAL VARIABILITY OF THE ATLANTIC MERIDIONAL THERMOHALINE CIRCULATION

D.A. Kuznetsova<sup>1</sup>, I.L. Bashmachnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*В исследовании произведен анализ меридионального переноса Гольфстрима и субтропического антициклонического круговорота через 26.5 °с.ш. Рассматривается изменчивость, цикличности и связь с индексами атмосферной циркуляции.*

*The Gulfstream and the Atlantic meridional Overturning transports across 26 °N are analyzed. There variability in time, dominating cycles and possible links to climate indices are investigated.*

Меридиональная циркуляция в Северной Атлантике – одно из ключевых звеньев глобальной океанической циркуляции: Атлантический океан уникален наличием областей конвергенции поверхностных вод субполярных районах северного полушария, что, вместе с интенсивным обменом с СЛЮ, приводит к усилению переноса тепла на север в обоих полушариях [1]. Этот поверхностный поток, осредненный зонально по всей ширине океана, а также возвратный глубинный поток, формируют систему Атлантической меридиональной циркуляции – АМЦ (иногда также, не очень обоснованно, называемой Атлантической меридиональной термохалинной циркуляцией). Гольфстрим переносит четверть от глобального (океанического и атмосферного) тепла, переносимого к полярным широтам в северном полушарии [2], часть которого является составной частью приповерхностного потока АМЦ, а часть рециркулирует в субтропическом круговороте.

Наиболее длинный непрерывный ряд данных о переносе в АМЦ предоставляет проект RAPID, в рамках которого проводится наблюдение за циркуляцией в Северной Атлантике на 26.5 °с.ш. с 2004г. Система наблюдений включает в себя измерение расхода Гольфстрима через Флоридский пролив, а так же расчет переноса субтропического антициклонического круговорота Гольфстрима с помощью целого комплекса наблюдений. Широта наблюдений 26.5 °с.ш. была выбрана по нескольким причинам. Среди них: близкое расположение к району максимального северного переноса АТХЦ; более крутые берега Атлантического бассейна по сравнению с другими районами; наличие на этой широте современных гидрографических разрезов. Также на этой широте проводится мониторинг расхода Гольфстрима с помощью телефонного кабеля во Флоридском проливе с 1982г. [3]. В работе используются данные проекта RAPID за 2004-2016гг. а также данные о расходе Гольфстрима за 1982-1998 г.

Анализ наблюдений показал, что с 1982г. расход Гольфстрима не имел существенного тренда и в среднем составил 32,1 Св (1 Св = 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>/с) за 1982-1998 гг. и 31,4 Св за 2004-2016 гг. Расход Гольфстрима через 26.5 °с.ш. за 2004-2016 гг. был в среднем полностью скомпенсирован возвратным потоком на юг через остальную часть Атлантического океана, который рассчитывался как интегральный перенос от поверхности до 5000 м (из них верхние 800-1100 м выделяют как часть потока субтропического круговорота). В изменении расхода Гольфстрима за первый промежуток времени отчетливо выделяется цикличность 2-2,5 года (рис. 1).

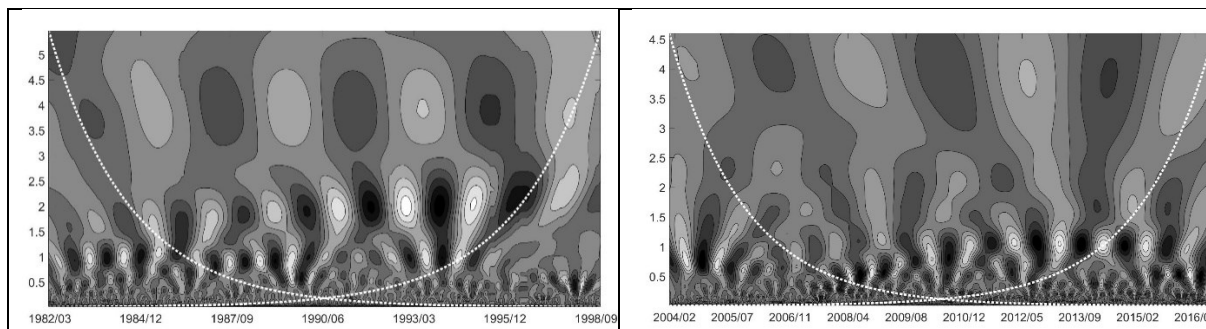


Рис. 1. Вейвлет преобразование расхода Гольфстрима через Флоридский пролив за 1982-1998 гг. (слева) и за 2004-2016 гг. (справа)

На временных промежутках в 10 лет изменчивость АТХЦ связывают с низкочастотными аномалиями температуры поверхности океана (ТПО). Для сравнения и оценки ТПО в работе используются индексы Североатлантического колебания (NAO) и Североатлантической осцилляции (АМО). Модели, основанные на атмосферном реанализе последовательно предполагали, что АТХЦ ослабла, начиная с 90ых годов, что связано со снижением индекса NAO. Анализ численных моделей также показал, что меридиональный перенос тепла на разрезах коррелирует с индексом NAO, который дает сигналы АТХЦ на временных промежутках 4-5 лет [4].

В нашем анализе значения расходов Гольфстрима осреднялись за холодные месяца (январь, февраль, март), так как считается, что в это время система циркуляции дает наибольший отклик [5]. Результаты не показали значимой корреляции с NAO ни с расходом Гольфстрима, ни с расходом возвратного потока АМЦ. Корреляция расходов с индексом АМО так же отсутствовала (рис. 2, 3).

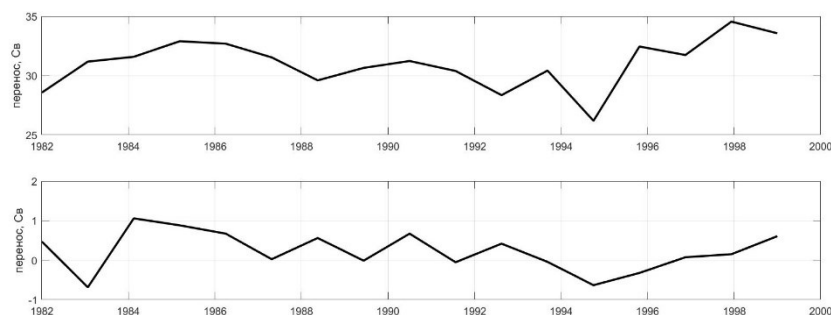


Рис. 2. Изменчивость значений расхода Гольфстрима, осредненных по трем зимним месяцам (сверху), и значений индекса NAO, осредненных по трем зимним месяцам (снизу), за 1982-1998 гг.

Изменчивость АМЦ регулируется рядом механизмов, таких как потеря плавучести в тропиках, апвеллинг в Антарктических широтах, глубокое конвективное перемешивание в энергоактивных зонах, каждый из которых имеет свою собственную динамику, и может оказывать различное влияние на изменчивость меридиональной циркуляции на разных широтах [2]. В других исследованиях выдвигается предположение, что контроль интенсивности АМЦ осуществляется через комплекс условий, который можно описать концепцией доминирования того или иного характерного режима циркуляции атмосферы, которые не исчерпываются изменчивостью режима NAO [5].

### Литература

1. Buckley M. W. Marshall J. Observations, inferences, and mechanisms of the Atlantic Meridional Overturning Circulation: A review //Reviews of Geophysics. 2016. V. 54, N 1. P. 5-63.
2. Srokosz M. et al. Past, present, and future changes in the Atlantic meridional overturning circulation //Bulletin of the American Meteorological Society. 2012. V. 93, N 11. P. 1663-1676.



3. Rayner D. et al. Monitoring the Atlantic meridional overturning circulation //Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2011. V. 58, N 17-18. P 1744-1753.
4. Mercier H. et al. Variability of the meridional overturning circulation at the Greenland–Portugal OVIDE section from 1993 to 2010 //Progress in Oceanography. 2015. V. 132. P. 250-261.
5. Barrier N. et al. Response of North Atlantic Ocean Circulation to Atmospheric Weather Regimes// Journal of physical oceanography. 2014. V. 44. P. 179-201.

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

*This work was supported by the grant from the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01151).*

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТА НАНОСОВ

М.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, Н.Л. Плинка<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## METHODOLOGICAL CALCULATIONS FOR THE PRELIMINARY EVALUATION OF SEDIMENT TRANSPORT CHARACTERISTICS

M.N. Kuznetsova<sup>1</sup>, N.L. Plink<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*В работе предложено дополнение к методическим расчётам литодинамических параметров в виде универсальной номограммы, позволяющей определить характер движения наносного материала, что зачастую требуется при решении практических задач. При анализе различных методов расчёта литодинамических параметров выявлено, что такие критерии, как, например, параметр Шилдса, условие развитой взвеси, начальная скорость трогания частиц не дают полного представления о характере движения наносов в потоке. Проанализирована возможность использования различных формул для расчёта гидравлической крупности. Построена номограмма для наносов различных фракций на основе безразмерного параметра Роуза. Данная методика может быть использована при инженерных расчётах, а также при моделировании литодинамических процессов.*

*This work proposes an addition to the methodological calculations of lithodynamic parameters in the form of the generic nomogram, which allows determination of the alluvial material flow pattern that is often required when solving practical problems. When analyzing various methods for calculating lithodynamic parameters, it was found that such criteria as, for example, the Shields parameter, developed suspension condition, and the threshold velocity don't provide a comprehensive idea of the sediment flow pattern in the stream. The possibility of using various formulas for calculating the hydraulic size is analyzed. A nomogram for sediment of various fractions is constructed on the basis of the dimensionless Rose parameter. This technique can be used in engineering calculations, as well as in modeling of lithodynamic processes.*

Основным фактором, определяющим морфодинамику береговой зоны, является транспорт наносного материала. В свою очередь формирование потока наносов является сложным процессом, зависящим от различных метеорологических, гидродинамических и геоморфологических условий, конкретно в прибрежной зоне это: характеристики волнения и генерируемого им течения, характеристика прибрежной циркуляции, твердого стока рек, рельеф дна, количество и качество слагаемого его материала. Однако, в конечном итоге, перемещение наносов, их дифференциация будет определяться величиной придонной скорости и крупностью частиц в потоке наносов.

Так, частицы наносов на подводном береговом склоне начинают взаимодействовать с волновым потоком, когда придонная волновая скорость  $V_b$  достигает определённого критического значения  $V_{b,cr0}$ . Перемещения наносов на данном этапе не существенны. Более интенсивная фаза перемещения наносов наступает при достижении придонной волновой скорости  $V_b$  значения допустимой неразрывающей скорости  $V_{b,cr}$ . Дальнейшее увеличение придонной волновой скорости приводит к значительным деформациям дна. Величина придонной волновой скорости, необходимая для вовлечения в поток наносов, зависит от характеристик самого наносного материала, и наоборот наносы определённой массы и крупности будут приведены в движение лишь скоростью, достаточной для их трогания. Различное сочетание этих параметров определяет наличие двух различных механизмов перемещения наносов, определяющих различные подходы к расчёту формирования потоков наносов, определяющих морфологические изменения дна и берега, что необходимо учитывать для литодинамических расчётов при решении целого ряда практических задач.

В общем виде транспорт наносов можно представить в виде двух составляющих: транспорт донных наносов и транспорт взвешенных наносов. Первая составляющая включает движение наносов в придонной области потока. Частицы наносов при таком режиме совершают поступательно-возвратное перемещение (в виде скольжения, влечения или сальтации), результирующая скорость которого значительно меньше по сравнению со скоростью

придонного потока воды. Однако в этом случае скорость перемещения наносов будет незначительной. Вторая составляющая включается, в случае перехода мелкодисперсных отложений во взвешенное состояние при увеличении значений тангенциальных напряжений на дне потока до значений, соизмеримых с величиной гидравлической крупности донных частиц. Частицы без непосредственного контакта с дном перемещаются быстрее и на более значительные расстояния, чем в придонной области.

Таким образом, для расчёта скоростей и объёмов потоков наносов необходимо, прежде всего, определить такой важный параметр, как гидравлическая крупность  $W_s$ , характеризующая скорость оседания взвешенных частиц в воде. Данная характеристика частицы наноса зависит от геометрических параметров частицы и характеристик среды: температуры, солёности режима движения воды. Методики для определения гидравлической крупности многообразны и включают готовые таблицы, номограммы, графики, формулы. Для выбора наиболее подходящей (оптимальной) методики были проанализированы различные источники, включая нормативные документы. В результате были отобраны четыре наиболее часто используемые методики: формула И.О.Леонтьева [1], формула из работы [2], формула из СП 32-103-97 Проектирование морских берегозащитных сооружений [3] и график из Рекомендаций по расчету отверстий мостов на реках горно-предгорной зоны [4]. Результаты расчетов представлены на рисунке 1 в виде графиков зависимости гидравлической крупности от диаметра частиц наносов. Для расчётов был выбран размерный ряд частиц, представленный в таблице «Классификация гранулометрических фракций и моногранулярных обломочных и глинистых образований» [5].

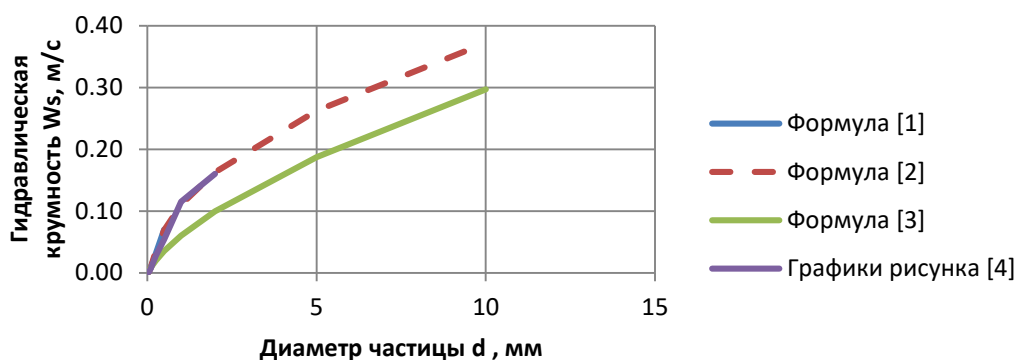


Рис. 1. Графики зависимости гидравлической крупности

Видно, что формула, используемая в работе [2] даёт результаты, сопоставимые с результатами при использовании других формул, но работает в более широком диапазоне крупности частиц наносов, поэтому является оптимальной для использования, однако авторы вязкость воды принимают равной  $10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, что является стандартной кинематической вязкостью для жидкостей плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup>. Если речь идёт о прибрежных территориях морей и океанов, то плотность вод, а следовательно и вязкость должна быть больше, а именно в среднем вязкость составляет  $1.025 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. При использовании данной формулы следует учитывать характеристики воды в конкретном районе.

Для определения характера движения донных осадков предлагается универсальная номограмма, представленная на рисунке 2. Номограмма построена для наносов различных фракций в соответствии с таблицей «Классификация гранулометрических фракций и моногранулярных обломочных и глинистых образований» [5] на основе безразмерного параметра Роуза, который определен, как отношение скорости падения взвешенных частиц – гидравлической крупности  $W_s$  к динамической скорости неоднородного по вертикали водного потока  $u^*$

$$Ro = \frac{W_s}{\beta k u^*}, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная Кармана (равная 0,4) и  $\beta$  – отношение вихревой вязкости к вихревой диффузии (приблизительно равное 1) [2].

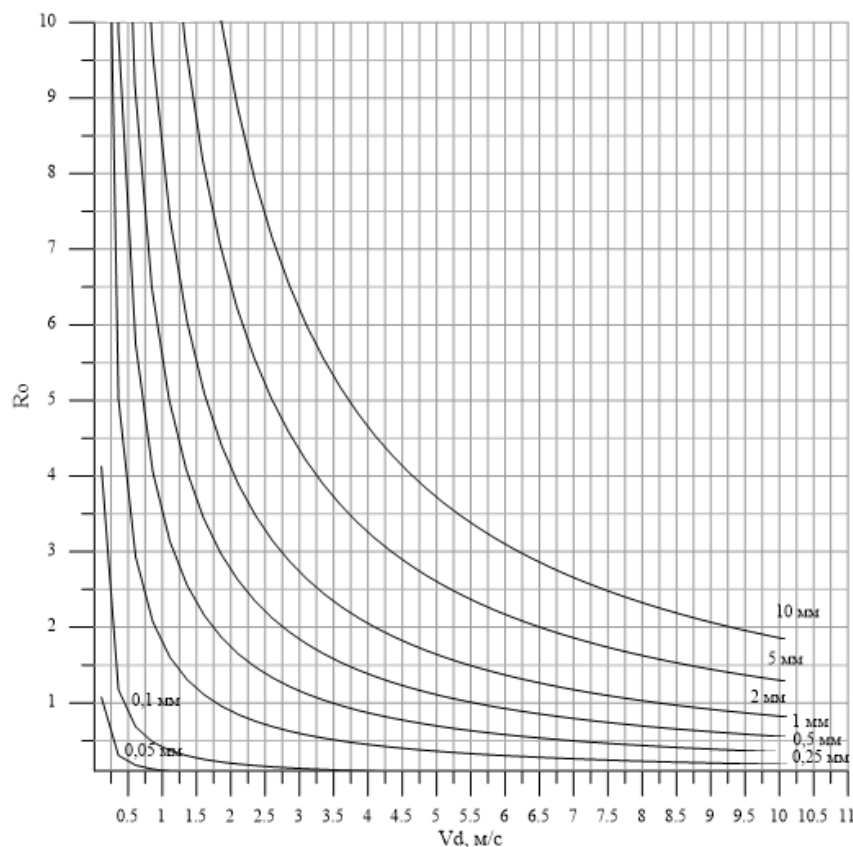


Рис. 2. Номограмма для определения характера движения наносов

Этапы движения наносов в соответствии с номограммой выглядят следующим образом: при значении коэффициента  $Ro \geq 7$  происходит инициирование движения наносов волновым потоком, и частицы начинают двигаться в виде качения; при увеличении скорости потока в диапазоне  $7,5 \geq Ro \geq 2,5$  происходит движение влекомых наносов, а при  $2,5 \geq Ro \geq 1,2$  происходит сальтация частиц наносов; движению взвешенных наносов соответствуют числа  $1,2 \geq Ro \geq 0,8$ ; при  $Ro \leq 0,8$  происходит интенсивное движение донных осадков, приводящее к значительным деформациям дна.

Данной номограммой можно воспользоваться методом обратного проецирования и найти значение донной волновой скорости, при которой действует тот или иной режим для заданного диаметра частицы.

Из номограммы следует, что, чем меньше размер частицы наносов, тем быстрее она переходит во взвешенное состояние. Например, тонкообломочный, глинистый и мелкий алевритовый материал с диаметром частиц  $0,001 > d_s > 0,01$  мм не входит в данную номограмму, так как моментально переходит во взвешенное состояние. А крупнообломочный гравийный материал перейдет во взвешенную фазу лишь при значительно больших скоростях донной волновой скорости, выходящей за рамки штормовой ситуации. Данные выводы схематично представлены на рисунке 3.

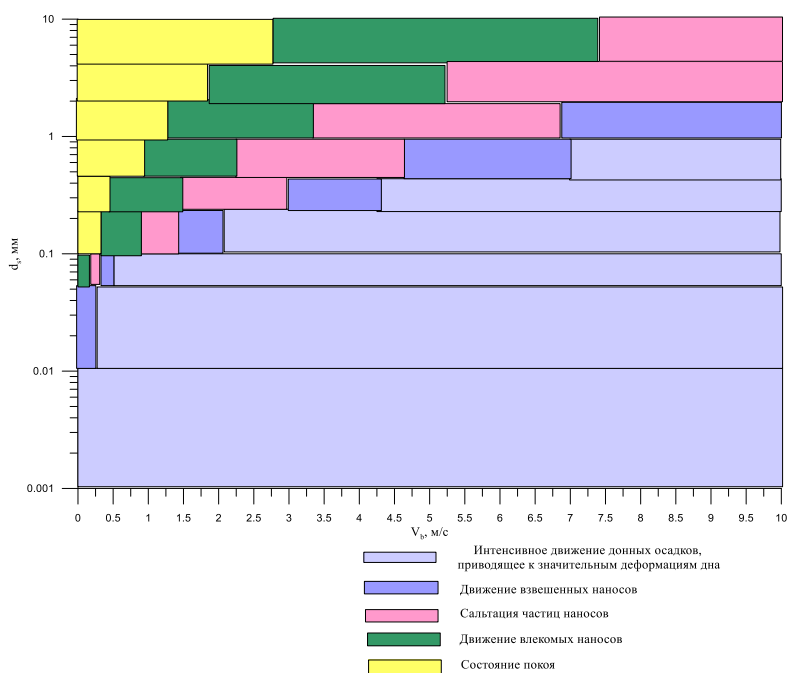


Рис. 3. Фаза движения наносов в зависимости от фракции частиц и придонной волновой скорости

Данная методика была опробована на примере гидро- и литодинамических условий Ямальского берега Байдарацкой губы при заданных параметрах волнения путем сравнения скоростей, при которых частица приходит в движение, определенных на основе предложенной номограммы, и начальных скоростей трогания определенных в соответствии с [6]. Начальная скорость трогания частиц размером  $d=0,000175$  м составляет  $V_{b,cr0}=0,15$  м/с, при этом параметр  $Ro=7,18$ , что в данном случае и означает режим иницирования движения наносов. Донная волновая скорость волны 4% годовой обеспеченности составляет  $V_b=0,96$  м/с, параметр при этом  $Ro=1,12$ , это говорит о преобладающем движении взвешенных наносов, хотя часть частиц может перемещаться путем сальтации. Таким образом, сравнение показывает, что предлагаемая номограмма не противоречит результатам конкретных расчетов с использованием других формул, однако является более универсальной и удобной для использования.

Баланс наносов в прибрежной зоне является результирующей характеристикой литодинамических процессов, которые определяют морфодинамику прибрежной зоны. Деформации рельефа дна и берегов не могут происходить без транспорта обломочного материала, точно так же, как и перенос наносов не может осуществляться без протекающих в береговой зоне процессов абразии и аккумуляции наносов. Различные условия транспорта наносов предполагают необходимость внесения в расчетные методики элемента, позволяющего заранее сделать предположение о самой структуре потока наносов. В качестве дополнения к расчётам можно использовать представленную номограмму.

### Литература

1. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. – М.: ГЕОС, 2001.- 272 с.
2. Зайцев И.А., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Ялчинер А., Киан Р. Исследование влияния размеров L - формы залива на отложение донных осадков под воздействием волн// Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Том 10 № 3, 2017.- с. 73- 77.
3. СП 32-103-97 Проектирование морских берегозащитных сооружений (взамен ВСН 183-74). М., 1998.
4. Рекомендации по расчету отверстий мостов на реках горно-предгорной зоны. – М., 1980.
5. Гуревич В.И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа. - М.: Научный мир, 2002.
6. Смирнов Г. Н. Океанология: Уч. для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.:Высшая школа, 1987. - 407с.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Л.С. Курочкина<sup>1</sup>, С.А. Журавлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF THE MAXIMUM SPRING RUNOFF FOR THE RUSSIAN PART OF THE GULF OF FINLAND BASIN

L.S. Kurochkina<sup>1</sup>, S.A. Zhuravlev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*За последние десятилетия в пределах бассейна Балтийского моря отмечаются значительные климатообусловленные изменения речного стока и его внутригодового распределения. Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных вопросам изменения характеристик речного стока, сохраняется потребность в подробных исследованиях, нацеленных на выявление причин этих изменений и их прогнозов на долговременную перспективу. В работе проведена оценка уже произошедших изменений максимального стока весеннего половодья рек российской части бассейна Финского залива, а также вероятностный прогноз будущих изменений максимального стока для водосбора (р. Тихвинка), расположенного в пределах исследуемой территории. Было установлено, что тенденции изменения максимальных расходов воды весеннего половодья для водосборов малых и средних рек, расположенных в пределах бассейна рек Невы, Нарвы, Луги, имеют разнонаправленный характер с преобладанием трендов на их снижение. Наиболее существенное уменьшение наблюдается в бассейне рек Нарвы и Луги (до 10% за 10 лет). В пределах водосборов Ладожского и Онежского озера значимые тренды на изменение максимальных расходов воды весеннего половодья не зафиксированы. Ожидаемые изменения климата задавались по данным ансамбля региональных моделей климата с высоким пространственным разрешением, которые предоставляет проект EURO-CORDEX. Моделирование стока для р. Тихвинки проводилось с помощью модели «Гидрограф». Показано, что для расчетных климатических сценариев снижение пиков весеннего половодья будет продолжаться.*

*Over the past few decades, significant climate-related changes in river runoff and its intra-annual distribution have been observed within the Baltic Sea basin. Despite a significant number of publications devoted to the issues of river runoff changes, there is a need for the detailed regional studies aimed at identifying the causes of these changes and their long-term forecasts. The assessment of the changes occurred in the maximum spring runoff for the Russian part of the Gulf of Finland basin was carried out in the study, as well as the probabilistic forecast of future changes in the maximum runoff was conducted for the catchment (Tikhvinka) located within the study area. Trend analysis over the entire period shows that there are positive and negative trends of peak runoff over the study area. The majority of the basins in our study showed negative trends in maximum discharge. Negative trends detected for western and south-western parts of the area that includes Narva and Luga river basins. Upward trends occur on the north-eastern parts. The expected climate changes were set according to the ensemble of regional climate models with high spatial resolution, provided by the EURO-CORDEX project. Modelling of streamflow was carried out applying the model named "Hydrograph". It is shown that the maximum spring flood discharges are expected to decrease.*

### **Введение.**

Оценка максимального стока на перспективу по данным многолетних наблюдений является одной из актуальных проблем гидрологии. На протяжении XX века разрабатывались методики расчета гидрологических характеристик, основанные на изучении закономерностей многолетних колебаний стока при условии стационарности климата в прошлом и будущем. Однако в настоящее время правомерность применения данных методик ставится под сомнение в связи с климатическими изменениями, вызванными процессами изменения климата. [1]

Происходящие изменения климата уже привели к изменениям максимального стока рек. Согласно ряду исследований [2, 3, 4], проведенных в странах Балтийского региона, максимальные расходы воды весеннего половодья уменьшились для большей части территории бассейна Балтийского моря. Предполагается, что основными причинами изменений максимального стока в бассейне Балтийского моря являются, с одной стороны, увеличение сумм зимних осадков, а с другой — смягчение климата в зимний период и повышение частоты зимних оттепелей.

Большинство выполненных ранее исследований основываются на данных наблюдений, ограниченных 2000-2001 гг. Начало XXI века (2000-2013 гг.) в пределах бассейна Балтийского моря характеризовалось пониженными значениями средней температуры воздуха за зимний период относительно конца XX века. Это требует проведения нового анализа трендов максимальных расходов воды и факторов, их обуславливающих.

В данной работе представлены результаты оценок произошедших изменений максимального стока рек российской части бассейна Финского залива, а также результаты оценки ожидаемых изменений на примере реки Тихвинки.

#### **Материалы и методы.**

Для оценки произошедших изменений максимального стока рек весеннего половодья были отобраны 70 гидрологических постов, расположенных на малых и средних незарегулированных реках российской части бассейна Финского залива Балтийского моря за период 1946-2013 гг. Для выявления причин изменений в максимальном стоке рек были выбраны метеорологические предикторы, которые, предположительно, определяют максимальный сток весеннего половодья - это средние суточные температуры, суммы осадков за зимние месяцы и запасы воды в снегу. Оценка трендов метеопредикторов проводилась по данным 25 метеорологических станций за период 1946-2013 гг. В качестве источника данных использовался архив ВНИИГМИ-МЦД. Значимость трендов оценивалась с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла [5, 6]. Оценка тренда проводилась методом Сена [7].

Оценка возможных изменений речного стока была проведена для створа р. Тихвинка – д. Горелуха ( $F=2070$  км<sup>2</sup>). В качестве основы для моделирования стока рек была принята моделирующая система «Гидрограф», разработанная в Государственном гидрологическом институте под руководством Ю.Б. Виноградова [8]. Модель ориентирована на простейшую сетевую метеорологическую информацию: температура и дефицит влажности воздуха, слой осадков с суточным разрешением. Выход модели – непрерывные гидрографы стока с суточным шагом для замыкающего створа в течение необходимого ряда лет. Пространственная структура водосбора описывается наборами почвенных и ландшафтных параметров, обобщаемых в пределах стокоформирующих комплексов (СФК).

Исходными метеорологическими данными для р. Тихвинки послужили данные суточных наблюдений 3-х метеостанций (Тихвин, Ефимовская, Бабаево) с 1965-2012 гг. Дефицит влажности воздуха определялся как функция от температуры отдельно для дней с осадками и без них. В качестве контрольной гидрологической информации использовались данные о суточных расходах воды для гидрологического поста на р. Тихвинка - д. Горелуха за 1966 – 2012 гг.

Анализ будущих изменений климата для бассейна реки Тихвинки был выполнен на основе данных климатического моделирования консорциума EURO-CORDEX. Модельные оценки ожидаемых изменений стока проводились методом дельт для месячных величин температуры воздуха и количества осадков, рассчитанных по ансамблю глобальных и региональных климатических моделей для сценариев радиационного воздействия семейства RCP. Метод дельт заключается в трансформации исходных метеорологических рядов путем прибавления к ним отклонений температуры воздуха в градусах Цельсия и количества осадков в процентах от исторического периода.

#### **Результаты и обсуждение.**

Для 50 постов (71% от общего числа) установлено наличие отрицательного тренда максимальных расходов воды весеннего половодья, при этом только для 15 постов (21%) тренд является статистически значимым. Большинство из них расположены в бассейнах рек Нарвы и Луги. В среднем для российской части бассейна Финского залива линейный тренд составляет 2%/10 лет.

Анализ средних суточных температур воздуха за зимние месяцы показал преобладание значимых трендов на повышение количества оттепелей и сумм положительных температур за зимний период для всей рассматриваемой территории. При этом наивысшие тренды сумм положительных температур (до 4,2°/10 лет) отмечены для юга и юго-запада, а наименьшие (0,2-1°/10 лет) — для северо-востока бассейна р. Невы.

Суммы зимних осадков характеризуются восходящими трендами, которые в среднем составляют 5,2 мм/10 лет для твердых и 0,9 мм/10 лет для жидких осадков. Тесная связь поля трендов стока была выявлена для жидких осадков и слабая связь для твердых осадков.

Оценка качества моделирования стока р. Тихвинки проводилась по критерию NSE. Среднее значение критерия NS для р. Тихвинки составило 0,68, что позволяет оценить качество моделирования как удовлетворительное [9].

Анализ будущих изменений климата для бассейна реки Тихвинки был выполнен на основе данных климатического моделирования консорциума EURO-CORDEX. В своих расчетах EURO-CORDEX использует репрезентативные траектории концентраций (сценарии концентраций) парниковых газов семейства RCP. В работе представлены расчеты по сценариям RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Пространственное разрешение данных составляет 0,11° (~12,5 км). Для оценки будущих изменений температуры воздуха и осадков были использованы расчеты по 5 комбинациям глобальных климатических моделей с одной региональной моделью (таблица 1). В качестве обобщающей величины по ансамблю глобальных и региональных моделей использовалось значение медианы.

Таблица 1. Список глобальных и региональных климатических моделей, а также сценариев концентраций парниковых газов, использованных в исследовании

	RCP2.6	RCP4.5, RCP8.5
Глобальные модели	MOHC-HadGEM2-ES ICHEC-EC-EARTH MPI-M-MPI-ESM-LR	MOHC-HadGEM2-ES ICHEC-EC-EARTH MPI-M-MPI-ESM-LR CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 IPSL-IPSL-CM5A-MR
Региональные модели	SMHI-RCA4	SMHI-RCA4

Отклонения сезонных температур воздуха ожидаются преимущественно положительными, причем наибольшее увеличение температуры отмечается для зимнего периода (рис. 1). Весенний и летний сезоны характеризуется более низкими значениями отклонений в пределах 2,0-4,0°С к концу столетия.

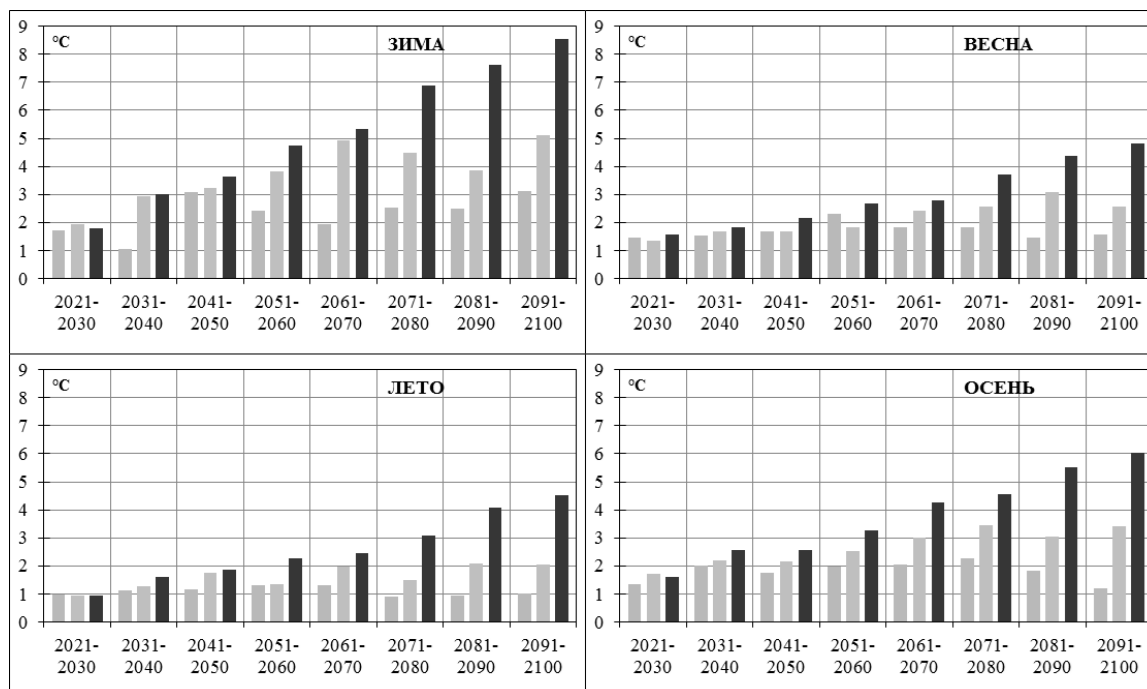


Рис. 1. Отклонения сезонной температуры воздуха от исторического периода для 3-х сценариев радиационного воздействия RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

Распределение отклонений сумм осадков по сезонам характеризуется наибольшими значениями также в зимний период. Осадки теплого периода по всем сценариям радиационного воздействия прогнозируются с большой неопределенностью.



Расчеты ожидаемых изменений максимального стока весеннего половодья р. Тихвинки у д. Горелуха проводились по десятилетиям с 2021 по 2100 годы и сравнивались с нормой стока, рассчитанной за базовый период с 1971 по 2000 годы. Для рассчитанных значений стока производилась байес-коррекция.

Максимальные расходы воды весеннего половодья оказались ниже нормы (в среднем на 26% для RCP2.6, 34% для RCP4.5 и 37% для RCP8.5) (рис. 2). Для сценария RCP8.5 отмечается заметный тренд на уменьшение максимального стока к концу столетия.

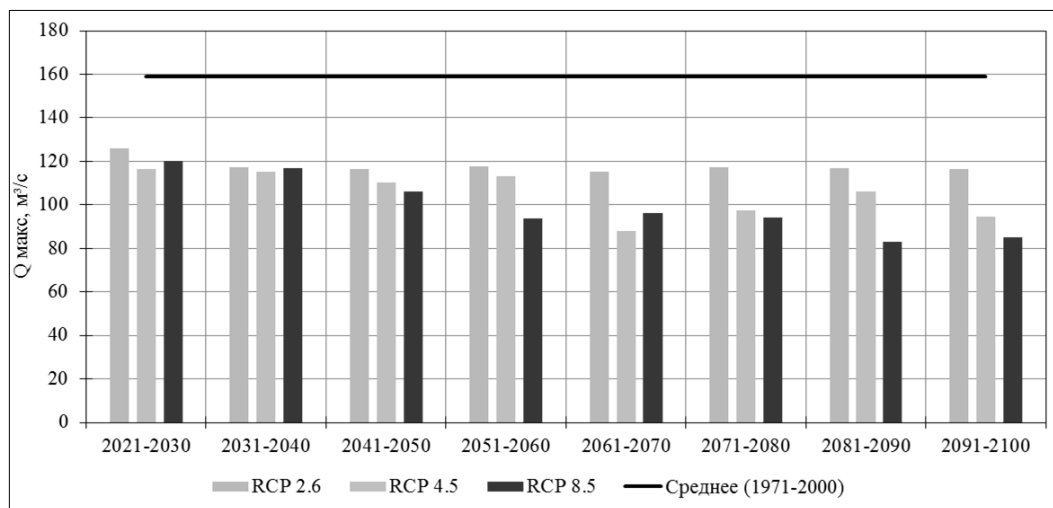


Рис. 2. Ожидаемые изменения максимального стока весеннего половодья р. Тихвинки (д. Горелуха) за период 2021-2100 гг по отношению к базовому периоду

Оценка значимости изменений климатических переменных по отношению к естественным колебаниям гидрологических характеристик проводилась с помощью критерия SNR. Для максимальных расходов воды значение SNR варьируется в пределах 0,5-1,2, причем для сценариев RCP4.5 и 8.5 отмечается тенденция к их увеличению к концу столетия. Это говорит о том, что прогнозируемые изменения климата с большей степенью вероятности приведут к уменьшению максимального стока к концу столетия.

## Литература

1. Водные ресурсы России и их использование // Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. Lindström G. and Bergström S. Runoff trends in Sweden 1807–2002 // Hydrol. Sciences, 2004, vol. 49, № 1, pp. 69-83.
3. Korhonen J. and Kuusisto E. Long-term changes in the discharge regime in Finland // Hydrology Res., 2010, vol. 41, № 3-4, pp. 253-268.
4. Sarauskiene D. et al. Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries // Environ. Eng. and Landscape Management, 2015, 23.1, pp. 28-38.
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. 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.
8. Vinogradov, Yu B., O. M. Semenova, and T. A. Vinogradova. "An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system." Hydrological processes 25.7 (2011): 1055-1073.
9. Moriasi, Daniel N., et al. "Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria." Transactions of the ASABE 58.6 (2015): 1763-1785

*Работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ 17-05-41118 РГО\_a.*

*This work was supported by the grant from the RGO-RFBR 17-05-41118 RGO\_a.*

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА

О. Е. Кучеренко<sup>1</sup>, Т. М. Аксянов<sup>1</sup>, Т. И. Яковлева<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ROSHYDROMETHYDROLOGICAL NETWORK

O.E. Kucherenko<sup>1</sup>, T.M. Aksyanov<sup>1</sup>, T.I. Yakovleva<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia.

*Дан анализ современного состояния гидрологической наблюдательной сети; представлены результаты ее оснащения современными приборами и оборудованием; отражены аспекты получения данных модернизированной сети и перспективы развития.*

*The analysis of the current state of the hydrological observation network is given; the results of its equipping with modern devices and equipment are presented; aspects of data acquisition from the modernized network and prospects for the development are reflected.*

Сеть речных гидрологических и озёрных гидрометеорологических постов (ГП и ОГП) предназначена для изучения режима вод суши и получения регулярной информации о процессах, происходящих на водных объектах.

Гидрологическая сеть Российской Федерации (РФ) является одной из старейших в мире, хорошо развитой, которая прошла почти 100-летний путь своего развития. Динамика численности гидрологической сети РФ представлена на рисунке 1.

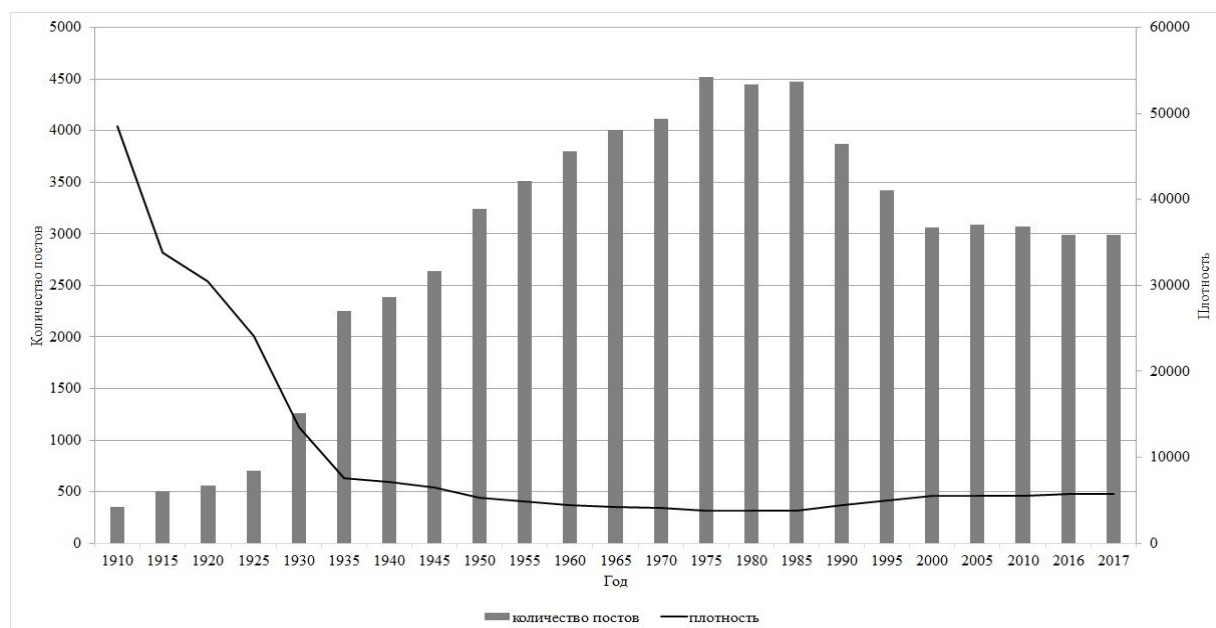


Рис. 1. Динамика численности гидрологической сети РФ за период 1910 - 2017 годы

Наибольшего своего развития гидрологическая сеть РСФСР достигла к 1975 г. когда ее численность составила 4520 постов, в том числе на европейской территории страны – 2455 постов и на азиатской – 2065, а плотность – 3770 км<sup>2</sup>/пост.

В дальнейшем, в связи с распадом СССР, переходом на рыночную экономику и крайне низким бюджетным финансированием Росгидромета количество гидрологических постов к концу прошлого века сократилось почти на 32%; при этом гидрологическая сеть в северных регионах, в Сибири и на Дальнем востоке сократилась значительно больше (до 45%).

Сокращение количества пунктов наблюдений гидрологической сети негативно сказывается на качестве режимного и, тем более, оперативного гидрометеорологического обеспечения. В первую очередь это отражается на качестве гидрологических прогнозов и информационном обеспечении объектов экономики и водохозяйственного комплекса. Оправдываемость гидрологических прогнозов напрямую зависит от объёма и качества поступающей с сети информации.

Гидрологические наблюдения на водных объектах РФ по состоянию на 01.01.2018 г. проводились на 2991 посту, из которых 2651 вели наблюдения на реках и 340 – на озёрах и водохранилищах. Из этого количества 2151 пост – информационные, предназначены для получения оперативной информации, необходимой для прогноза элементов гидрологического режима и оповещения об опасных гидрометеорологических явлениях. Из речных постов – 2103 с измерением расходов воды, 603 – с измерением стока наносов. По типу сети: 1284 – реперных поста (предназначены для изучения многолетних и вековых изменений гидрологического режима рек и водоёмов под влиянием изменений климата и хозяйственной деятельности), 1480 – основных (обеспечивают территориальную детализацию характеристик гидрологического режима) и 227 – дополнительных (предназначены для учёта местных особенностей режима водных объектов, организуются для решения конкретных задач)[1]. Состав действующей гидрологической сети Росгидромета приведён на рисунке 2 и в таблице 1.

Таблица 1. Состав гидрологической сети Росгидромета по состоянию на 01.01.2018

УГМС	Количество постов			Из них									
				ГП	с измерением наносов	информационные		реперные		основные		дополнительные	
	всего	ГП	ОГП			ГП	ОГП	ГП	ОГП	ГП	ОГП	ГП	ОГП
Башкирское	67	58	9	49	15	44	4	21	4	37	5	0	0
Верхне-Волжское	110	92	18	78	20	86	18	27	1	64	16	1	1
Дальневосточное	153	148	5	84	20	116	5	62	0	71	5	15	0
Забайкальское	158	148	10	125	39	81	3	102	7	44	1	2	2
Западно-Сибирское	215	192	23	168	71	100	8	80	7	82	13	30	3
Иркутское	177	134	43	95	35	87	40	67	25	61	18	6	0
Камчатское	78	78	0	74	14	61	0	49	0	29	0	0	0
Колымское	35	31	4	20	8	27	0	12	1	19	3	0	0
Крымское	33	32	1	32	0	30	0	18	1	14	0	0	0
Мурманское	45	31	14	31	1	21	12	17	9	14	5	0	0
Обь-Иртышское	153	140	13	92	33	92	0	61	2	66	6	13	5
Приволжское	102	83	19	73	48	60	16	26	6	37	11	20	2
Приморское	76	73	3	54	0	71	3	41	1	24	2	8	0
Сахалинское	39	39	0	34	0	34	0	16	0	23	0	0	0
Северное	232	220	12	172	2	164	10	93	10	124	2	3	0
Северо-Западное	210	172	38	148	7	89	31	72	16	82	21	18	1
Северо-Кавказское	249	234	15	194	126	161	10	82	4	120	11	32	0
Среднесибирское	217	191	26	155	74	133	17	73	8	117	18	1	0
СЦГМС ЧАМ	11	11	0	11	7	11	0	11	0	0	0	0	0
Республики Татарстан	35	22	13	21	7	18	13	5	4	16	9	1	0
Уральское	139	112	27	93	0	101	21	38	11	56	12	18	4
Центральное	190	159	31	113	25	117	17	59	8	100	20	0	3
Центрально-Чернозёмное	84	81	3	72	23	72	2	38	0	40	3	3	0
Чукотское	15	15	0	11	2	13	0	9	0	4	0	2	0
Якутское	168	155	13	104	26	126	6	77	3	47	8	31	2
Итого	2991	2651	340	2103	603	1915	236	1156	128	1291	189	204	23

Большинство подходов планирования и оптимизации сети основываются на утверждении о том, что сеть должна состоять из двух частей: базовая гидрологическая сеть, включающая станции (посты) с длительными непрерывными рядами наблюдений и сеть временно-действующих ГП. Станции и ГП второго типа должны действовать до тех пор, пока не будут установлены хорошие корреляционные зависимости полученных на них гидрологических характеристик с данными базовой сети станций. Оптимальные гидрометеорологические сети кроме станций и постов, осуществляющих наблюдения за гидрометеорологическими элементами должны также включать методы, позволяющие получить необходимые характеристики стока в любой точке бассейна, где наблюдения не проводятся, с заданной точностью.

ВМО настаивает на том, что оптимальная сеть не может считаться созданной, пока не будет организовано минимальное количество станций (постов). Эта минимальная сеть – первый шаг к ликвидации самых серьёзных пробелов в оценке водных ресурсов. Из-за малой плотности минимальной сети, крайне важно хорошее качество данных наблюдения на гидрологической сети [2].

С учётом рекомендаций ВМО минимально необходимое количество стоковых гидрологических постов на территории РФ должно составлять не менее 3827, с измерениями наносов – 907. Таким образом, дефицит стоковых постов составляет порядка 45%, с наносами – 34 %.

Оценки минимально необходимого количества гидрологических постов с наблюдениями за стоком воды и наносами, полученные с учётом рекомендаций ВМО, приведены на рисунке 2.

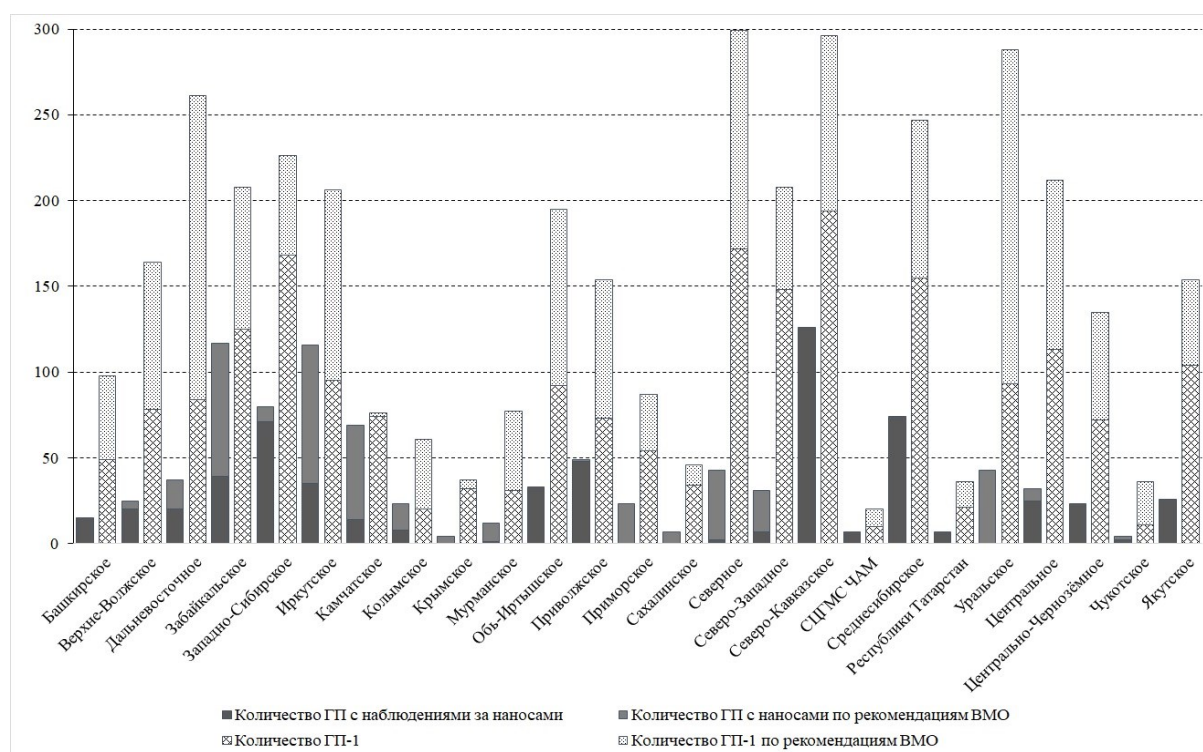


Рис. 2. Количество действующих и минимально необходимых по рекомендациям ВМО ГП

В современных условиях, как никогда раньше, возросло многообразие функций гидрологической сети и целевого назначения получаемой на ней информации. Наряду с ее традиционными видами (информационное обеспечение учёта водных ресурсов, строительного проектирования и водохозяйственного планирования, службы гидрологических прогнозов и контроля качества воды и др.) большое значение приобретают гидрологические наблюдения в системе экологического мониторинга, учёт стока и контроль качества воды на границах отдельных стран или территорий, развитие локальных систем гидрологических прогнозов и предупреждения о паводках, контроль водораспределения и получение данных для управления

водохозяйственными комплексами. Для успешного осуществления всех возлагаемых на гидрологическую сеть функций необходимо:

1) повышение качества оперативной и режимной гидрологической информации, предоставляемой потребителям для решения комплекса водохозяйственных проблем, связанных с управлением, использованием водных ресурсов и обеспечением безаварийной работы гидротехнических сооружений, устойчивым водоснабжением населённых пунктов и промышленных объектов, и т.п.;

2) повышение качества прогнозирования и предупреждения опасных гидрологических явлений за счёт расширения и модернизации постов государственной наблюдательной сети;

3) развитие технологий сбора, обработки данных гидрологических наблюдений и подготовки информационной продукции с требуемой для решения различных практических задач точностью и периодичностью.

В свою очередь для решения этих задач необходимы следующие мероприятия:

- оптимизация размещения пунктов наблюдений гидрологической, гидрохимической и специализированной сети для получения объективной информации;

- оптимизация программ наблюдения, расширение состава информационных ГП;

- модернизация и техническое перевооружение системы гидрологических наблюдений: переход на современные дистанционно-автоматизированные методы и средства измерения, оснащение гидрологических постов современными автоматизированными средствами наблюдений, приборами, аналитическим и вспомогательным оборудованием, системами связи, включая спутниковые системы сбора и передачи информации.

В настоящее время эти мероприятия реализуются в рамках гидрологического блока проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета» (Проект 1 и 2) и ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах» (далее ФЦП). По состоянию на 01.01.2018 на гидрологической сети Росгидромета было установлено 708 автоматизированных гидрологических комплексов (АГК) и 230 осадкомерных комплексов, было поставлено 97 мобильных гидрологических лабораторий (МГЛ).

В 2013 - 2014 гг. ГГИ совместно с другими НИУ Росгидромета при участии УГМС выполнялась разработка системных проектов развития и модернизации гидрологической и гидрохимической наблюдательных сетей в бассейнах рек. Ориентируясь на результаты, полученные в ходе выполнения указанной НИОКР и с учётом уже проведённых мероприятий по модернизации и техническому перевооружению гидрологической сети Росгидромета в целях дальнейшего развития и модернизации государственной наблюдательной сети в перспективе до 2030 г. необходимо выполнение следующих мероприятий:

- восстановление работы ГП и ОГП, включая обновление штатного оборудования, как минимум, на 1176 гидрологических ГП и ОГП;

- автоматизация наблюдений за уровнями и температурой воды и приобретение современных приборов для измерения расходов воды в количестве, как минимум, 1198 единиц;

- приобретение мобильных средств (автомобилей, плавсредств), как минимум 140 единиц;

- открытие новых пунктов наблюдений и оснащение их современным автоматизированным оборудованием в количестве 246 единиц.

К сожалению, сокращение бюджетного финансирования Росгидромета и вышеназванной ФЦП не позволяет завершить в полном объёме техническое перевооружение и модернизацию государственной гидрологической сети. В этой связи все более актуальным становится вопрос о привлечении для развития гидрологических сетей на территории РФ средств других ведомств и бизнес структур, использующих гидрологическую информацию.

## Литература

1. Обзор состояния системы гидрологических наблюдений, обработки данных и подготовки информационной продукции в 2017 году. СПб.: ГГИ, 2018.
2. ВМО-№ 168. Руководство по гидрологической практике. Том 2. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. Шестое издание. 2012.

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «ТОМСКНЕФТЬ» ВНК

У.Д. Кучерявченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

## ANALYSIS OF USE OF TISSUE NON-OIL GAS OJSC" TOMSKNEFT "VNK

U.D. Kucheryavchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

*В работе рассматриваются методы утилизации попутного нефтяного газа на месторождениях ОАО «ТОМСКНЕФТЬ» ВНК, а также проводится анализ рационального использования попутного газа на территории предприятия ОАО «Томскнефть» ВНК.*

*The paper considers methods of utilization of associated petroleum gas at the fields of ОАО TOMSKNEFT VNK, and also analyzes the rational use of associated gas in the territory of ОАО Tomskneft VNK.*

Основной частью топливно-энергетического комплекса Российской Федерации является нефтегазовое производство. Благодаря наличию таких видов топлива как нефть и газ, возможен прогресс многочисленных отраслей промышленности.

Так как, Россия занимает лидирующее место по наличию нефтегазового топлива и как следствие по добычи попутного нефтяного газа (ПНГ), следовательно, на нефтегазовый сектор приходится до 30% объёма всех промышленных выбросов загрязняющих веществ в России, а выбросы нефтедобывающих предприятий в атмосферу составляют порядка 12% всей вредной эмиссии. [1]

В работе рассмотрены методы утилизации попутного нефтяного газа на предприятии ПАО «НК «Роснефть» и ПАО «Газпромнефть» - ОАО «Томскнефть» ВНК, а также методы использования попутного газа на территории месторождения.

Утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ) есть обязанность и цель каждой нефтедобывающей компании Российской Федерации (согласно Постановлению ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 8 ноября 2012 года № 1148)[2]. В настоящее время технический прогресс 21 века требует рациональные виды утилизации ПНГ, а также рациональное использование ПНГ в масштабах народного хозяйства, для обеспечения экологической безопасности.

При переработке попутного газа образуют сырьё для органического синтеза, топливо, распылитель аэрозолей, а также извлекают индивидуальные углеводороды (этан, пропан, н-бутан) для химической переработки, которые служат сырьём для получения непредельных углеводородов (алкены, ацетилен, бутadiен, бензол, углеводороды разветвленного строения). По причине разнообразного состава (в сравнении с природным газом), попутный нефтяной газ наиболее выгодно использовать как химическое сырьё.

На данный момент на месторождениях ОАО «Томскнефть» ВНК успешно реализуются технологии рационального использования попутного газа. Так был введён в эксплуатацию целый ряд объектов: вакуумные компрессорные станции на Советском и Вахском месторождениях, газопоршневая электростанция на Герасимовском месторождении и другие. На газоконпрессорной станции Лугинецкого месторождения возведена и запущена установка доохлаждения газа. Эта модернизация позволила увеличить объём подготовки газа в летнее время и тем самым повысить уровень рационального использования попутного нефтяного газа.

Более 1,5 млрд кубометров попутного нефтяного газа, добываемого предприятием, поставляется на газоперерабатывающий комплекс и в единую газотранспортную сеть. Потребителями попутно добываемого топлива также являются города Томской области – Стрежевой и Кедровый (городские котельные используют почти 90 млн кубометров газа в год). ПНГ используется и для выработки собственной электроэнергии. Так, ежедневно объекты газовой генерации "Томскнефти" (ГТЭС, ГПЭС) на Игольско-Таловом, Двуреченском, Герасимовском, Южно-Черемшанском месторождениях вырабатывают порядка 1 миллиона кВт·час. [3]

Вакуумные компрессорные станции (ВКС) для объектов ОАО «Томскнефть», а именно для Советского и Вахского месторождения были доставлены в Россию после проведения испытаний на заводе-изготовителе в Меззовико (Mezzovico, пригород Лугано, Швейцария). ВКС позволят компримировать попутный газ второй ступени сепарации с близкого к вакууму давления (0,001...0,01 МПа) до давления газа первой ступени сепарации (0,6 МПа) с последующей закачкой в трубопровод до газораспределительной станции. Согласно специальным требованиям проекта, компрессорные станции типа EGSI-S-25/30A и EGSI-S-40/55A будут подготавливать ПНГ с производительностью до 360 м<sup>3</sup>/ч. [4]

В 2017 году компания "Томскнефть" запустила газопоршневую электростанцию (ГПЭС); на Герасимовском месторождении в Парабельском районе Томской области. По данным пресс-службы "Томскнефти" станция вырабатывает до 5 мегаватт мощности и утилизирует ПНГ объемом около 30 тысяч кубометров в сутки. Рациональность использования ГПЭС доказана, так как электроэнергия, вырабатываемая данной станцией, полностью покрывает нужды Герасимовского и Западно-Останинского месторождений, а также увеличивает объем полезного потребления ПНГ в данном регионе на 9%.

Разумеется, каждое месторождения отличается своими индивидуальными геологическими и промышленными характеристиками и единого подхода к полезному использованию ПНГ не может быть, поэтому требуется разрабатывать новые методы и модернизировать имеющиеся способы рационального использования попутного нефтяного газа.

### **Литература**

1. Исследование состояния и перспектив направлений переработки нефти и газа, нефте- и газохимии в РФ. – М.: Экон-информ, 2011. – 806 с
2. Постановлению ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 8 ноября 2012 года №1148 – [Электронный ресурс] – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_137637/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_137637/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/), дата обращения: 20.09.2018
3. ОАО Томскнефть – Переработка нефти и газа – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.tomskneft.ru>, дата обращения: 20.09.2018
4. Вакуумные компрессорные станции для объектов ОАО «Томскнефть» доставлены к местам эксплуатации газа – [Электронный ресурс] – URL: <https://neftegaz.ru/news/view/125883-Vakuumnye-kompressornye-stantsii-dlya-obektov-OAO-Tomskneft-dostavleny-k-mestam-ekspluatatsii>, дата обращения: 20.09.2018

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СТОК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ЕГО ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

С.А. Лавров<sup>1</sup>, И.Л. Калужный<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## INFLUENCE OF CLIMATIC CHANGES ON A DRAIN OF A SPRING HIGH WATER AND ITS LONG-TERM FORECAST IN THE VOLGA BASIN

S.A. Lavrov<sup>1</sup>, I.L. Kalyuzhny<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Выполнена оценка изменений характеристик весеннего стока и факторов его формирования в бассейне Волги за период 1978–2010 гг. по отношению к периоду 1948–1977 гг. Показано, что изменения весеннего стока носят разнонаправленный характер, на 70% исследованных водосборах наблюдается уменьшение слоя стока весеннего половодья, а на 30% - рост. Только на 35% частных водосборов изменения стока статистически значимы. Показано, что величина талого стока зависит от широкого спектра гидрометеорологических, физических и физико-географических факторов, которые зачастую взаимообусловлены. Основными климатическими факторами, определяющими сток весеннего половодья, являются осадки за зимний и весенний периоды и температура воздуха зимнего периода.*

*The assessment of changes of characteristics of a spring drain and factors of his formation in the basin of Volga during 1978-2010 in relation to the period of 1948-1977 is executed. It is shown that changes of a spring drain have multidirectional character, for 70% the studied reservoirs reduction of a layer of a drain of a spring high water, and for 30% - growth is observed. Only for 35% of private reservoirs of change of a drain are statistically significant. It is shown that the size of a thawed drain depends on a wide range of hydrometeorological, physical and physiographic factors which are often interdependent. The major climatic factors defining a drain of a spring high water is rainfall for the winter and spring periods and the air temperature of the winter period.*

Весеннее половодье является характерной особенностью равнинных рек России, в том числе и бассейна р. Волга. При относительно небольшой продолжительности половодья сток за этот период составляет 50 – 70 % годового, а в отдельных районах и больше. При этом весенний сток является наиболее климатообусловленной составляющей годового стока. На его величину оказывают влияние условия трёх климатических сезонов: осеннего, зимнего и весеннего. Поэтому, оценка воздействия климатических изменений, произошедших за последние десятилетия на весенний сток, с одной стороны приобретает особую значимость, а с другой представляет исключительную сложность.

Все факторы, которые формируют сток в речном бассейне, делятся на две большие группы: на относительно постоянные физико-географические и переменные, из года в год изменяющиеся гидрометеорологические факторы. Переменными факторами, зависящими от климатических условий, являются запасы воды в снеге, атмосферные осадки, их количество и интенсивность выпадения, температура воздуха в приземном слое, теплообмен, определяющий интенсивность таяния снега и испарение, водопоглотительная способность бассейна и др. В конечном счете, эти факторы и определяют количественные изменения стока и других характеристики половодья. Одновременно возникает необходимость оценки изменчивости данных факторов под воздействием климатических изменений и возможность их использования в качестве предикторов для расчета и прогноза талого стока.

В настоящей работе для анализа пространственной и временной изменчивости характеристик стока использовались ранее разработанная в Государственном гидрологическом институте методология [1], в соответствии с которой основой диагноза современных климатообусловленных изменений водности рек является комплексный статистический анализ динамики стока средних рек.

Выбор створов проводился с учетом следующих условий:

1. Использовались ряды с продолжительностью наблюдений 55 и более лет и отсутствием или минимальным числом пропусков в наблюдениях;
2. Не использовались данные по створам, выше которых имеются водохранилища сезонного или многолетнего регулирования.



С учетом соблюдения перечисленных выше условий было отобрано 107 рек, расположенных в бассейне Волги. Далее была выполнена оценка изменений основных характеристик весеннего стока за период 1978–2010 гг. по отношению к предшествующему периоду 1948–1977 гг. с определением их значимости по критерию Стьюдента. Также был проведён соответствующий анализ изменения метеорологической информации, наблюдений за снегозапасами, глубиной промерзания и влажностью почвы. Для этого были использованы данные метеостанций, агрометеорологических и воднобалансовых станций. Подобная методология использовалась нами ранее, в основном для анализа изменчивости зимнего стока и глубин промерзания в бассейне Волги [2-3].

В отличие от годового и зимнего стока, средние значения которых за последние три десятилетия увеличились практически на всей территории бассейна р. Волга [3], изменения весеннего стока носят разнонаправленный характер. Из 107 выбранных нами рядов наблюдений за стоком были проанализированы данные по 25-ти частным бассейнам Нижней Волги, 43 - бассейна Камы, и 39 – Верхней Волги. Было установлено, что для различных районов бассейна Волги, тенденции изменчивости объёма весеннего стока имеют определенные отличия.

Для частных водосборов Нижней Волги объём половодья в 20 случаях имеет отрицательный тренд, в 5 положительный. Однако в 18 случаях эти оценки не значимы. Значимы в основном тенденции к уменьшению стока. Для бассейна Камы отрицательный тренд прослеживается в 24 случаях из 43. При этом значимые оценки изменчивости получены для десяти частных водосборов с отрицательным трендом талого стока и 4 – с положительным. Исследования трендов весеннего стока водосборов Верхней Волги, показывают, что только 16 из 39 трендов носит значимый характер. Причём в 31 случаях сток падает, а в 8 – растёт.

Суммируя полученные результаты в итоге получаем, что на 70 % исследованных частных водосборах бассейна Волги наблюдается падение объёма весеннего половодья, а на 30 % - рост. Однако, только в 35 % случаев эти тенденции значимы.

В среднем по Волге, на частных водосборах с отрицательным трендом объёма стока, его величина за последние тридцать лет упала примерно на 10 %. На некоторых частных водосборах падение достигло 30 %. Примерно те же цифры получаются и для водосборов с положительным трендом весеннего стока. На наш взгляд, такой неоднозначный характер изменчивости стока связан с высокой степенью разнообразия и разнонаправленности факторов формирования весеннего половодья. Ниже рассмотрим основные из этих факторов.

#### **Осадки в зимний период.**

Основным климатическим фактором, определяющим объём стока весеннего половодья, является величина атмосферных осадков, выпавших в холодный период. Как следует из анализа метеоданных, количество осадков холодного периода в 1978-2011 гг. по сравнению с 1948-1977 гг. увеличилось практически во всех частях бассейна Волги, за исключением некоторых районов бассейна р. Оки и Нижней Волги. В среднем по всему бассейну рост составил 18 мм. Количество осадков за дни с положительной температурой воздуха внутри холодного периода (предположительно жидких), также возросло во всех частях бассейна, в среднем на 6 мм. Таким образом, тенденции изменения осадков в зимний период в целом способствует росту весеннего стока.

#### **Максимальные снегозапасы в зимний период.**

С осадками в зимний период неразрывно связан такой фактор, как максимальные запасы воды в снеге (снегозапасы) на водосборе. Необходимо отметить, что доля наибольших снегозапасов, по отношению к осадкам зимнего периода составляет в среднем от 50 до 70 %. Анализ данных наблюдений за максимальными снегозапасами показал, что в период 1978 – 2012 гг. по сравнению с периодом 1966 – 1977 гг. на 63 % станций в бассейне Волги запасы воды в снежном покрове увеличились, а на 36 % – уменьшились. В основном, рост снегозапасов наблюдается в северных районах бассейна, от 5 до 10 %. В бассейне Кама и в низовьях Волги существуют разнонаправленные тенденции, но в среднем величина максимальных снегозапасов практически не изменилась. Преимущественный их рост в бассейне Волги, в общем, способствует росту стока весеннего половодья.

### **Температура воздуха в зимний период.**

Наряду с осадками температура воздуха является основным фактором формирования стока весеннего половодья. Рост температуры воздуха приводит к росту количества оттепелей и уменьшению максимальных снегозапасов, что способствует падению объёма стока весеннего половодья. Однако рост количества оттепелей способствует росту влажности в верхних горизонтах почвы (льдистости). Рост льдистости почвы обуславливает уменьшение фильтрационной способности почв в весенний период, рост коэффициента стока и, в некоторой степени, объёма весеннего половодья. Но с другой стороны повышение температуры воздуха приводит к деградации мерзлого слоя, изменяет фазовый состав влаги в почве (понижая льдистость), и тем самым увеличивает степень водопроницаемости верхнего горизонта почвы. Анализ данных о температуре воздуха за период 1978-2011 гг. по сравнению с периодом 1948-1977 гг. указывает на её рост во всех частях бассейна Волги. В среднем по всему бассейну рост температуры за холодный период составил около 1 °С. При этом значительно возросло количество оттепелей за последние 30 лет, в среднем на 5 дней или на 50 %. Динамика температуры воздуха в зимний период в целом способствует уменьшению стока весеннего половодья.

### **Температура воздуха в весенний период.**

Температура воздуха в этот период определяет характеристики снеготаяния – интенсивность и продолжительность, а также и испарение со снежного покрова. Рост температуры воздуха приводит к росту интенсивности снеготаяния и способствует росту коэффициента стока весеннего половодья. В бассейне р. Волга потепление в весенний период за последние 30 лет выражено не столь значительно, как в зимний период. Следствием потепления воздуха весной является рост интенсивности снеготаяния, и логично ожидать более высокие максимальные расходы воды в этот период. Однако, как показывает анализ данных о максимальных расходах весеннего половодья для района Средней Волги, только на 32 из 65 частных водосборах наблюдался рост максимальных расходов за последние 30 лет по сравнению с предыдущими. При этом только в 4 случаях тренды были значимы. На 33 частных водосборах наблюдалось падение максимального стока. На 17 из них тренды значимы. Для Нижней Волги на 24 частных водосборах из 25 наблюдалось падение максимальных расходов (15 трендов значимы).

### **Продолжительность половодья.**

Рост температуры воздуха, при одинаковых по объёму снегозапасах, приводит к сокращению длительности весеннего половодья. Это, в свою очередь, может приводить к уменьшению объёма осадков, выпавших за время половодья и уменьшению объёма талого стока. Анализ данных показал, что на 11 из 65 частных водосборах Средней Волги, наблюдался рост продолжительности половодья за последние 30 лет по сравнению с предыдущими. При этом только в 5 случаях тренды были значимы. На 54 частных водосборах наблюдалось падение продолжительности (в среднем на 8 суток). На 37 из них тренды значимы. Для Нижней Волги только на 6 исследованных частных водосборах из 25 наблюдалось падение продолжительности половодья (2 значимы), а на 19 рост (в среднем на 3 суток, 15 трендов значимы). Для Нижней Волги, в отличие от более северных районов, характерен рост продолжительности половодья за последние 30 лет. То есть весенние паводки стали носить более затяжной характер. Это является дополнительным фактором снижения максимальных расходов весеннего половодья.

Для численных оценок изменения талого стока в перспективе на несколько десятилетий могут использоваться с одной стороны, уравнения регрессии, связывающие сток с климатическими факторами, а с другой – физически обоснованные математические модели, позволяющие описывать процессы формирования талого стока во всём их многообразии на основе физических закономерностей. Первый подход является наиболее доступным. Проблема лишь в наличии надёжных корреляционных связей стока с осадками и температурой воздуха в зимний период.

Коэффициент корреляции между объёмом весеннего стока и зимней температурой воздуха довольно низкий, в основном меньше 0,3. Но проведённый нами анализ и опыт предыдущих исследований указывает на существование данной связи. Чтобы её выявить нами была выполнена следующая процедура. Исходя из того, что основной задачей долгосрочных прогнозов является выявление тренда изменчивости весеннего половодья, а не расчёт его ежегодных значений, мы при корреляционном анализе использовали не ежегодные значения

стока и температуры, а усреднённые за 5 лет. Вернее, мы анализировали не сами значения стока ( $y$ , мм), а коэффициент стока. В качестве данного параметра мы использовали показатель равный ( $y / (X_3 + x_B)$ ), с использованием вместо снегозапасов осадков за зимний климатический период ( $X_3$ , мм), а вместо осадков за время половодья их значения за весенний климатический период ( $x_B$ , мм). Это выполнялось для того чтобы минимизировать влияние зимних и весенних осадков на сток и для того чтобы в расчётах использовались реально прогнозируемые предикторы.

Предварительно проводилась сортировка ежегодных рядов коэффициента стока и температуры по возрастанию значений температуры. Полученные таким образом ряды разбивались на выборки по 5 лет. Затем рассчитывались средневыборочные значения температуры и коэффициента стока. Как правило, отклонение значений температур внутри отдельных выборок от средневыборочных составляло менее 0,5 °С. Эти средние по выборкам значения в итоге и анализировались. Длина ежегодных рядов коэффициента стока и температур составляла 63 члена, а новых рядов – 12. Однако коэффициент корреляции между коэффициентом стока и среднесуточными температурами воздуха за зимний период для усреднённых значений значительно вырос, по сравнению с ежегодными значениями. Например, для р. Кильмезь, (приток р. Вятки)  $R$  вырос с 0,33 до 0,9.

Подобная методика была использована и для получения более явной связи величины слоя весеннего стока с суммой осадков за зимний и весенний периоды. При этом также использовались усреднённые значения в выборках по 5 лет. Обычно отклонение значений осадков внутри отдельных выборок от средневыборочных составляло менее 10 мм. Статистический анализ показал, что корреляционная связь между объёмом осадков за зимний и весенний периоды и среднезимней температурой отсутствует. Исходя из полученных данных коэффициент определяющий степень влияния температуры воздуха в зимний период на коэффициент стока, в среднем изменяется в пределах от -0,02 до -0,03 (таблица 1).

Таблица 1. Зависимости слоя талого стока от осадков, выпавших за зимний и весенний климатические периоды и коэффициента талого стока от средней температуры за зимний период по наблюдениям в бассейне р. Волга

Пункты наблюдений за стоком	Зависимость слоя талого стока ( $y$ , мм) от суммы осадков за зимний ( $X_3$ , мм) и весенний ( $x_B$ , мм) периоды	Зависимость коэффициента талого стока ( $k$ ) от средней температуры за зимний период ( $T_3$ , °С)
р. Молога – г. Устюжна	$y=0,38(X_3+x_B)+49$ ( $R=0,8$ )	$k = -0,038 T_3 + 0,34$ ( $R=0,7$ )
р. Ока - г. Калуга	$y=0,23(X_3+x_B)+22$ ( $R=0,8$ )	$k = -0,024 T_3 + 0,16$ ( $R=0,9$ )
р. Ока - г. Белёв	$y=0,12(X_3+x_B)+33$ ( $R=0,7$ )	$k = -0,032 T_3 + 0,03$ ( $R=0,9$ )
р. Ока - г. Муром	$y=0,13(X_3+x_B)+48$ ( $R=0,8$ )	$k = -0,015 T_3 + 0,23$ ( $R=0,9$ )
р. Медвенка - Подмосковная воднобалансовая станция	$y=0,24(X_3+x_B)+16$ ( $R=0,9$ )	$k = -0,028 T_3 + 0,4$ ( $R=0,7$ )
р. Вятка - г. Киров	$y=0,52(X_3+x_B)+35$ ( $R=0,9$ )	$k = -0,029 T_3 + 0,36$ ( $R=0,8$ )
р. Вятка – г. Вятские Поляны	$y=0,35(X_3+x_B)+74$ ( $R=0,9$ )	$k = -0,021 T_3 + 0,45$ ( $R=0,7$ )
р. Кильмезь – д. Вичмарь	$y=0,11(X_3+x_B)+18$ ( $R=0,6$ )	$k = -0,023 T_3 + 0,2$ ( $R=0,9$ )
р. Быстрица - д. Шипицино	$y=0,29(X_3+x_B)+43$ ( $R=0,9$ )	$k = -0,013 T_3 + 0,34$ ( $R=0,8$ )
р. Молома - д. Спасское	$y=0,25(X_3+x_B)+94$ ( $R=0,8$ )	$k = -0,008 T_3 + 0,6$ ( $R=0,6$ )
р. Белая - г. Бирск	$y=0,29(X_3+x_B)+55$ ( $R=0,8$ )	Зависимость отсутствует
р. Кама – пгт. Гайны	$y=0,29(X_3+x_B)+87$ ( $R=0,8$ )	Зависимость отсутствует
р. Дема - д. Бочкарева	$y=0,19(X_3+x_B)+25$ ( $R=0,8$ )	Зависимость отсутствует
р. Самара - с. Елшанка	$y=0,42(X_3+x_B)+42$ ( $R=0,3$ )	$k = -0,022 T_3 + 0,01$ ( $R=0,6$ )
р. Кубня - с. Чутеево	$y=0,18(X_3+x_B)+44$ ( $R=0,7$ )	$k = -0,029 T_3 + 0,2$ ( $R=0,8$ )
р. Бузулук – с. Перевозниково	$y=0,19(X_3+x_B)+2$ ( $R=0,7$ )	$k = -0,022 T_3 - 0,03$ ( $R=0,7$ )
р. Сок - ст. Сургут	$y=0,09(X_3+x_B)+46$ ( $R=0,5$ )	Зависимость отсутствует

То есть, при повышении температуры воздуха на 1 °С, коэффициент стока уменьшится на 0,02-0,03. В нашем анализе показатель, соответствующий коэффициенту стока равен  $y/(X_3+x_B)$ . Например, для водосборов Верхней Волги среднее значение суммы осадков ( $X_3+x_B$ ) примерно равно 250 мм, а объём половодья – 100 мм. Уменьшение коэффициента стока на 0,02-0,03, соответственно приводит к падению стока на 5-7 мм или на 5 – 7 %. То есть в долгосрочной перспективе потепление климата не окажет значительного влияния на сток весеннего половодья.

### **Литература**

1. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Гидрологический режим и водные ресурсы // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С. 53-86.
2. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Глубина промерзания почв и подпочвенных грунтов в бассейне р. Волга при климатических изменениях за последний тридцатилетний период и методика ее расчета // Инженерные изыскания. 2015. № 3. С.52 – 59.
3. 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.

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЧНОГО СТОКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Л.С. Лебедева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт мерзлотоведения Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия

## SPATIAL VARIABILITY OF RIVER STREAMFLOW IN CENTRAL YAKUTIA

L.S. Lebedeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Melnikov Permafrost Institute Siberian branch RAS, Yakutsk, Russia

*Целью исследования являлось проанализировать пространственную изменчивость речного стока в условиях сплошной криолитозоны Центральной Якутии. Был выполнен анализ характеристик стока и факторов его формирования для 18 малых и средних рек с действующими либо закрытыми недавно гидрологическими постами Центральной Якутии. Среднемноголетний слой речного стока исследуемых водосборов с площадями от 80 до 65400 км<sup>2</sup> и рядами суточных расходов воды продолжительностью от 6 до 78 лет варьируется от 1 до 171 мм/год. Среднемноголетние осадки на водосборах меняются в более узких пределах – от 230 до 390 мм/год. Анализ связи среднемноголетних осадков и стока показал, что слой стока и другие гидрологические характеристики рек с количеством осадков более 280 мм/год зависят от осадков. При осадках менее 280 мм/год зависимость не наблюдается. Среднемноголетняя оценка испарения варьируется в относительно узких пределах – от 182 до 250 мм. Основными типами местности на исследуемых водосборах являются склоновый, плакорный и межлассный. Чем выше доля межлассного типа, тем ниже и неустойчивее сток. Чем выше доля склонового типа местности, тем выше среднемноголетний и максимальный суточный сток рек, а также дольше период стока. Высокая пространственная изменчивость гидрологических характеристик обуславливает ограниченную репрезентативность отдельных водосборов для региона. Важнейшими факторами при выборе водосбора-аналога в Центральной Якутии являются не близость расположения и площадь, а количество осадков и распространение мерзлотных ландшафтов.*

*The aim of the study was to analyze the spatial variability of river streamflow in a continuous permafrost of Central Yakutia. The analysis of the runoff characteristics and the factors of its formation for 18 small and medium rivers with existing or recently closed hydrological gauges in Central Yakutia was carried out. The average runoff depth for the studied catchments with areas from 80 to 65,400 km<sup>2</sup> and data availability from 6 to 78 years varies from 1 to 171 mm/year. The mean annual precipitation at the catchments varies within narrower range - from 230 to 390 mm/year. An analysis of the relationship between mean annual precipitation and runoff showed that the runoff depth and other hydrological characteristics of rivers with precipitation over 280 mm/year depend on precipitation, with precipitation less than 280 mm/year, the dependence is not observed. The average annual estimate of evaporation varies within relatively narrow range – from 182 to 250 mm/year. The main land surface types of the studied watersheds are slope, upland, and interalas. The higher the proportion of interalas type, the lower and more unstable the river streamflow. The higher the proportion of slope land surface type, the higher the mean annual and maximum daily river runoff, as well as the longer the runoff period. The high spatial variability of hydrological characteristics determines the limited representativeness of the individual catchments for the region. The most important factors when selecting a catchment-analogue in Central Yakutia are not the proximity of the catchment and its area, but the amount of precipitation and the distribution of permafrost landscapes.*

### **Введение.**

Роль климатических факторов в формировании стока рек значительно варьируется в зависимости от свойств подстилающей поверхности. Оценки влияния различных ландшафтов на временную и пространственную изменчивость речного стока были сделаны на масштабах от малых водосборов до крупных речных бассейнов во многих регионах России вне зоны многолетней мерзлоты [1-5]. В криолитозоне России гидрологическая роль мерзлотных ландшафтов была описана на примере малых водосборов на гидрологических стационарах – Колымская водно-балансовая станция [6], Могот [7-8], Суонаннаах [9], Западно-Сибирская экспедиция ГГИ [10], однако подобных оценок на масштабах средних и крупных речных бассейнов практически не существует.

Целью исследования являлось проанализировать пространственную изменчивость речного стока в условиях сплошной криолитозоны Центральной Якутии и ее связь с распространением различных мерзлотных ландшафтов.

**Объекты исследования.**

Для анализа речного стока было выбрано 18 речных бассейнов в Центральной Якутии с площадями от 80 до 65400 км<sup>2</sup> с рядами суточных расходов воды продолжительностью от 6 до 78 лет. Выбранные реки показаны в таблице 1 и на Рис. 1 (слева).

Таблица 1. Список рек Центральной Якутии, выбранных для анализа речного стока

Код	Река-пост	Площадь, км <sup>2</sup>	Высоты, м	Длина ряда, годы
3206	Туолба-пос.Алексеевка	14400	131-737	58
3207	Синья-гм.ст.Тонгулах	11600	172-425	41
3208	Синья-г.п.Песчаное	30400	118-449	28
3209	Юнкюр-г.п.Бурелом (местн.Песчаное)	80	181-334	6
3210	Буотома-г.п.Бролог	12200	105-675	77
3214	Шестаковка-г.п.Камырдагыстах	170	123-301	65
3215	Мархинка-р.п.Марха (с.Большая Марха)	408	120-271	8
3217	Суола-пос.Бютейдях	1270	166-383	36
3291	Амга-с.Буяга	23900	288-1264	78
3292	Амга-с.Амга	56800	319-1117	60
3293	Амга-с.Терют	65400	81-662	76
3306	Танда-с.Бярия(Бярийе)	2000	116-255	24
3307	Кэнгкэмэ-з.Второй.Станок	3550	201-368	69
3390	Тангнары-с.Чай	5760	101-373	51
3393	Харыйа-Юрэх (устье)-пос.Арыктах	375	143-219	10
3559	Маатта-с.Бердигестях	1160	209-360	17
3628	Таатта-с.Уолба	8290	143-401	10
3659	Суола-с.Бедеме	3380	91-387	25

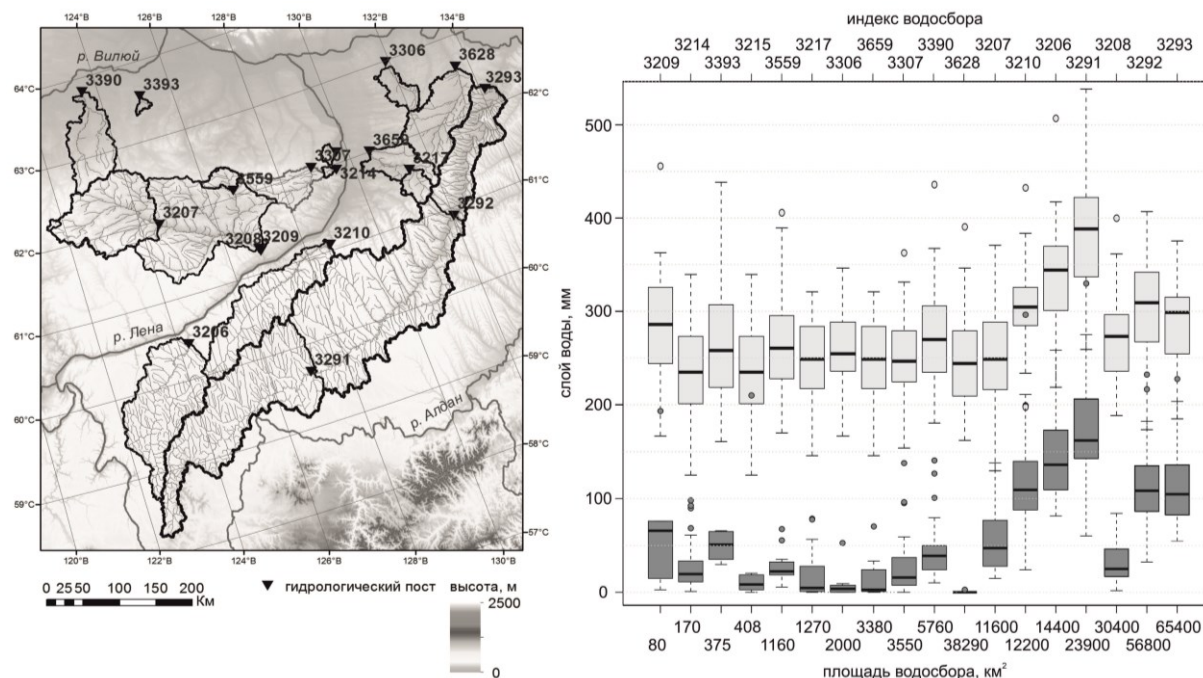


Рис. 1. Слева: схема исследуемых речных бассейнов, номер поста соответствует коду в Таблица 1; справа: диаграмма размаха годового стока и годовых осадков 18 исследуемых речных бассейнов

Средние высоты водосборов варьируются от 179 (р.Харыйа-Юрэх) до 548 м (р.Амга). Исследуемые речные бассейны располагаются в зоне средней тайги и сплошного

распространения многолетней мерзлоты. Верхняя часть бассейна р. Амги и р. Туолбы находятся в зоне несплошной многолетней мерзлоты.

#### **Методы.**

Для каждого ряда расходов на гидрологических постах были рассчитаны: 1) слой стока за каждый год, мм, 2) продолжительность стока за каждый год, дни, 3) максимальный суточный расход, м<sup>3</sup>/с, и слой стока за каждый год, мм, 4) минимальный суточный расход, м<sup>3</sup>/с, и слой стока за каждый год, мм, 5) слой стока за каждый месяц, мм, 6) среднемесячные слои стока за весь период наблюдений на посту, мм, 7) среднееголетние значения слоя стока за год (мм), продолжительности стока (дни), максимального и минимального суточного расхода (м<sup>3</sup>/с), слоя стока (мм), коэффициент вариации годового слоя стока (б/р, C<sub>v</sub>). При вычислении годовых величин игнорировались годы с пропусками данных.

Были рассчитаны доли типов местности для каждого речного бассейна. Распространение типов местности принималось согласно мерзлотно-ландшафтной карте Якутии масштаба 1:2500000 (1991). Строились корреляционные зависимости между рассчитанными гидрологическими характеристиками и долями типов местности, на основании чего были сделаны выводы о гидрологической роли различных типов местности.

#### **Результаты.**

Среднееголетний слой стока рек Центральной Якутии (рис.1, справа) варьируется от 1 мм/год (р. Таатта – с. Уолба, 8290 км<sup>2</sup>) до 171 мм/год (р. Амга – с. Буяга, 23900 км<sup>2</sup>). Коэффициент вариации (C<sub>v</sub>) годового стока, характеризующий его межгодовую изменчивость, изменяется от 0.3 (р. Туолба – пос. Алексеевка, 14400 км<sup>2</sup> и р. Амга – с. Буяга, 23900 км<sup>2</sup>) до 1.87 (р. Мархинка – р.п. Марха, 408 км<sup>2</sup>). Среднееголетние осадки на исследуемых водосборах составляют от 230 до 390 мм/год (рис.1, справа). Пространственный анализ связи среднееголетних осадков и стока показал, слой стока и другие гидрологические характеристики рек с количеством осадков более 280 мм/год зависят от осадков. При осадках менее 280 мм/год зависимость не наблюдается. Среднееголетняя оценка испарения варьируется в относительно узких пределах – от 182 до 250 мм/год.

Согласно Мерзлотно-ландшафтной карте [11] основными типами местности на исследуемых водосборах являются склоновый, плакорный и межгаласный. Анализ показал, что чем выше доля межгаласного типа местности в речном бассейне, тем ниже и неустойчивее (коэффициент вариации выше, продолжительность меньше) сток. Река Танда (2000 км<sup>2</sup>, 3306), полностью покрытая межгаласным типом местности, характеризуется самым коротким периодом стока (89 дней) и очень низкой водностью (8 мм/год). Только р.Таатта (8290 км<sup>2</sup>, 3628) имеет сток ниже р. Танды, который равен 1 мм/год. 75% бассейна р. Таатты относится к межгаласному типу местности.

Чем выше доля склонового типа местности в речном бассейне, тем выше среднееголетний и максимальный суточный сток рек, а также дольше период стока. Речные бассейны с долей склонового типа более 60 % характеризуются среднееголетним стоком выше 75 мм/год и максимальным суточным слоем более 3 мм/сут. Исключением является р. Шестаковка, которая полностью покрыта склоновым типом местности, однако имеет невысокий среднееголетний (25 мм/год) и максимальный суточный (1.64 мм/сут) сток. Это может быть связано с несоответствием масштаба используемой карты типов местности (1:2 500 000) и площадью бассейна р. Шестаковки, равной 170 км<sup>2</sup>, а также с локальными условиями на водосборе, такими как существование надмерзлотных водоносных таликов. Не выявлено связи гидрологических характеристик с долей плакорного типа местности в ландшафтной структуре речного бассейна.

Характерным для межгаласного типа местности является широкое распространение полигонально-жильных льдов и покровных суглинков с высокими значениями объемной льдистости. Глубина протаивания, как правило, не превышает 1,3 м. Повсеместно развит термокарстовый процесс, который обуславливает большое количество термокарстовых озер. Так, в бассейне р. Таатты расположено около 2300 озёр, в бассейне р. Суолы – около 1600 термокарстовых озер.

Возможными причинами низкого и неустойчивого стока рек, водосборы которых преимущественно покрыты термокарстовым типом местности, являются: 1) отсутствие разгрузки с термокарстовых озер и их водосборов в реку из-за отсутствия уклона, то есть существование значительных бессточных областей на водосборе; 2) высокое испарение со снега весной и с

водной поверхности озер летом; 3) поглощение части стока подозерными таликами и фильтрация в меж- и подмерзлотные водоносные горизонты, которые не дренируются рекой в пределах водосборных бассейнов.

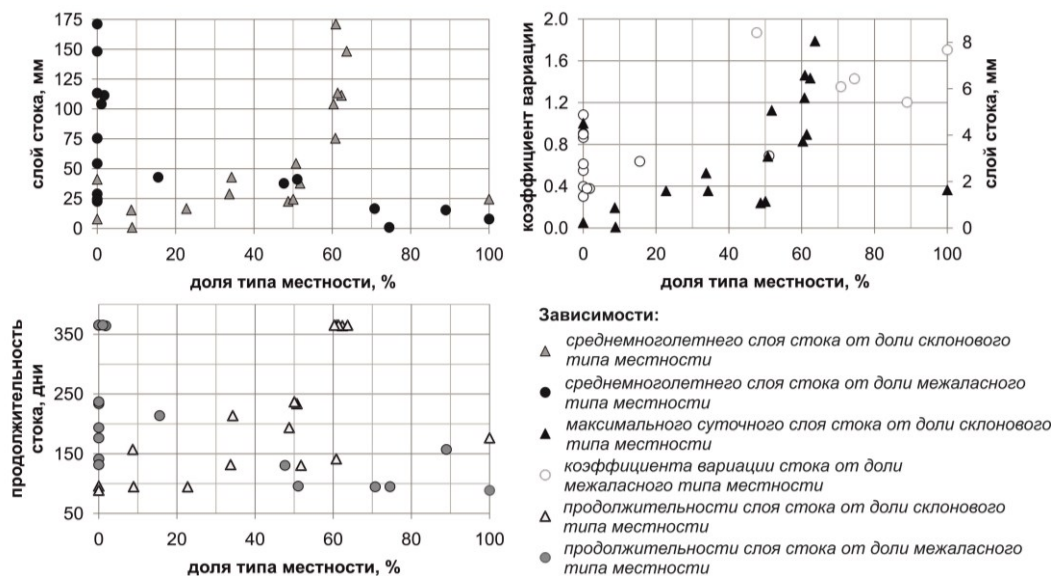


Рис. 2. Зависимости среднееголетнего, максимального суточного слоя, коэффициента вариации и продолжительности стока от доли склонового и межлассного типа местности

## Литература

1. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М.: АН СССР, 1960. 487 с.
2. Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 118 с.
3. Гидрологическая роль лесных геосистем / Отв. ред. В.А. Снытко; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т географии; [Антипов А.Н., Марунич С.В., Федоров С.Ф. и др.] 1989. 167 с.
4. Гагаринова О.В. Ландшафтно-гидрологическое районирование Прибайкалья: автореферат дис. к.г.н.: 25.00.27 / Ин-т географии СО РАН. - Иркутск, 2001. - 26 с.
5. Онучин А.А. Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов // Сибирский лесной журнал, 2015, № 2. - С. 41-54
6. Пугачев А.А. Почвенно-растительный покров территории Колымской воднобалансовой станции // Факторы формирования общего стока горных рек в Субарктике. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 141–166.
7. Василенко Н.Г. Гидрология рек зоны БАМ: Экспедиционные исследования. — СПб.: Нестор-История, 2013. — 672 с.
8. Нестерова Н.В., Макарьева О.М., Виноградова Т.А., Лебедева Л.С. Моделирование процессов формирования стока зоны БАМ на основе данных полигона Могот // Водное хозяйство России, №1, 2018 с.18-38
9. Тепловодообмен мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири и его факторы. Российская академия наук / А. Г. Георгиади, А. Н. Золотокрылин, Р. В. Десяткин и др. — Триада Москва-Тверь, 2007. — 576 с.
10. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. Под. ред. С. М. Новикова — СПб.: ВВМ, 2009. — 536 с.
11. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1: 2 500 000 / Гл. ред. П.И.Мельников. - М.: ГУГК, 1991. - 2 л.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-05-00926, 17-05-00217 и 18-45-140065 p\_a.

The study was carried out with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research in the framework of research projects No. 17-05-00926, 17-05-00217, and 18-45-140065 p\_a.



## ТРЕНДЫ ВЕКТОРОВ ДРЕЙФА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

М.А. Липатов<sup>1,2</sup>, Р.И. Май<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## TRENDS OF SEA ICE DRIFT IN ARCTIC OCEAN

M.A. Lipatov<sup>1,2</sup>, R.I. May<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*В статье предлагается новое представление характеристик линейного тренда векторов в виде скоростей изменения модуля и направления среднего вектора, на примере климатической изменчивости дрейфа льда в Северном Ледовитом океане.*

*The article suggests a new representation of the characteristics of the linear trend of vectors in the form of the rate of change of the modulus and the direction of the mean vector, for example, the climatic variability of sea ice drift in the Arctic Ocean.*

### **Введение.**

Главная особенность Северного Ледовитого океана - наличие ледяного покрова, который определяет климат северной полярной области. Ледяной покров характеризуется сплоченностью, толщиной (возрастом льда), формой (размером) ледяных образований, торосистостью, заснеженностью, разрушенностью и другими параметрами. Динамика (дрейф) ледяного покрова формирует и перераспределяет по пространству перечисленные характеристики, тем самым изменяя потоки тепла между атмосферой и океаном, что в конечном итоге приводит к формированию параметров океана и атмосферы в Арктике. Справедливо и обратное утверждение – дрейф льда зависит от параметров ледяного покрова, определяющих массу, параметры тангенциального напряжения на нижней и верхней поверхности и реологические свойства льда. Таким образом, дрейф льда может служить одним из индикаторов изменчивости климатической системы Арктики.

В последние десятилетия отмечаются межгодовые изменения объема льда в Арктическом бассейне, что отражается во всех характеристиках ледяного покрова, в частности и в параметрах дрейфа. Климатическая изменчивость, как правило, в первом приближении описывается уравнением линейного тренда. Вычисление коэффициентов тренда скалярных величин нашло широкое применение в гидрометеорологической практике, в то время как, для векторных процессов (дрейф льда, течения, ветер), интерпретация коэффициентов тренда затруднена из-за увеличения мерностей. В данной работе предложено новое представление трендов векторных величин, основанное на взаимном разложении векторов линейного тренда.

### **Материалы и методы.**

В основе работы лежит спутниковая информация о дрейфе ледяного покрова в Северном Ледовитом океане, которая может быть использована для исследования режимных характеристик динамики льда в определённых диапазонах изменчивости [1]. Существуют несколько баз данных, которые находятся в открытом доступе: Polar Pathfinder, CERSAT, OSI SAF, GlobICE, KIMURA. В работе [2] на основе сравнения спутниковой информации с инструментальными измерениями было установлено, что систематическая ошибка векторов дрейфа проекта Polar Pathfinder минимальна. Кроме того, из всех перечисленных баз данных Polar Pathfinder имеет наиболее продолжительный временной охват (с 1978 г по настоящее время). Поэтому можно сделать вывод, что база данных Polar Pathfinder может служить источником информации для исследования межгодовой и климатической изменчивости дрейфа ледяного покрова.

База данных Polar Pathfinder (Polar Pathfinder Daily 25 km EASE-Grid Sea Ice Motion Vectors, Version 3) содержит информацию о дрейфе льда в узлах сетки с пространственным разрешением 25 км и временной дискретностью 1 сутки (также доступна информация с временной дискретностью одна неделя и один месяц) (<https://nsidc.org/data/nsidc-0116>) [3]. Эта база данных

основана на анализе серии спутниковых изображений, полученных следующими радиометрами: Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E) (установлен на спутнике AQUA), Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) (установлен на спутниках серии NOAA), Scanning Multi-channel Microwave Radiometer (SMMR) (установлен на спутнике Nimbus-7), Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) (установлен на спутниках DMSP 5D-2/F11, DMSP 5D-2/F13, DMSP 5D-2/F8) и Special Sensor Microwave/Imager/Sounder (SSMIS) (установлен на спутнике DMSP 5D-3/F17). Кроме того, база данных Polar Pathfinder усваивает информацию о дрейфе льда, полученную по данным траекторий дрейфа буев программы IABP (International Arctic Buoy Programme).

Исследование климатической изменчивости векторных процессов в большинстве случаев ограничивается оценками трендов модуля скорости. Впервые тренд векторов был предложен в работе [4], где он описывался в терминах линейной векторной регрессии:

$$\vec{v}(t) = \vec{a}t + \vec{b}, \quad (1)$$

где  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  – вектора [5].

Комплекснозначный подход к определению трендов векторов применительно к дрейфу ледяного покрова был использован в работе [6]. Во всех этих работах вектор  $\vec{a}$  отображает ускорение векторного процесса, а вектор  $\vec{b}$  совпадает с вектором среднего дрейфа льда. В таком виде анализ тренда векторных процессов затруднен, так как он требует совместного сравнения направлений и модулей векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ . В работе [7] совместное сопоставление векторов ускорения  $\vec{a}$  и средней скорости  $\vec{b}$  заменили сравнением векторов скорости  $\vec{v}(t=0)$  и  $\vec{v}(t=N)$ , которые рассчитываются по формуле (1), N – длина векторного ряда. Такое представление тренда векторов наглядно (оно отображает изменения векторов по модулю и направлению), но теряет размерность ускорения векторов.

В нашей работе мы предлагаем использовать ортогональную и коллинеарную составляющую вектора  $\vec{a}$ , разрешенные относительно направления вектора  $\vec{b}$ :

$$a_{||} = |\vec{a}| \cdot \cos(D_a - D_b), \quad (2)$$

$$a_{\perp} = |\vec{a}| \cdot \sin(D_a - D_b), \quad (3)$$

где  $D_a$  – направление вектора ускорения,  $D_b$  – направление среднего дрейфа. Графически это можно изобразить как:

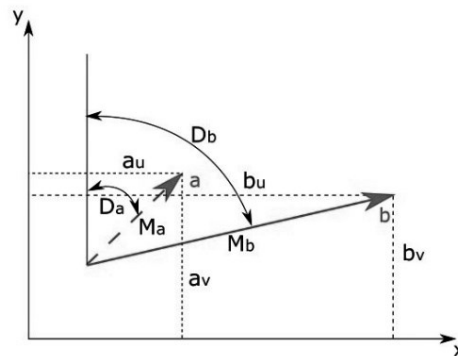


Рис. 1. Составляющие коэффициентов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  линейного тренда векторов.

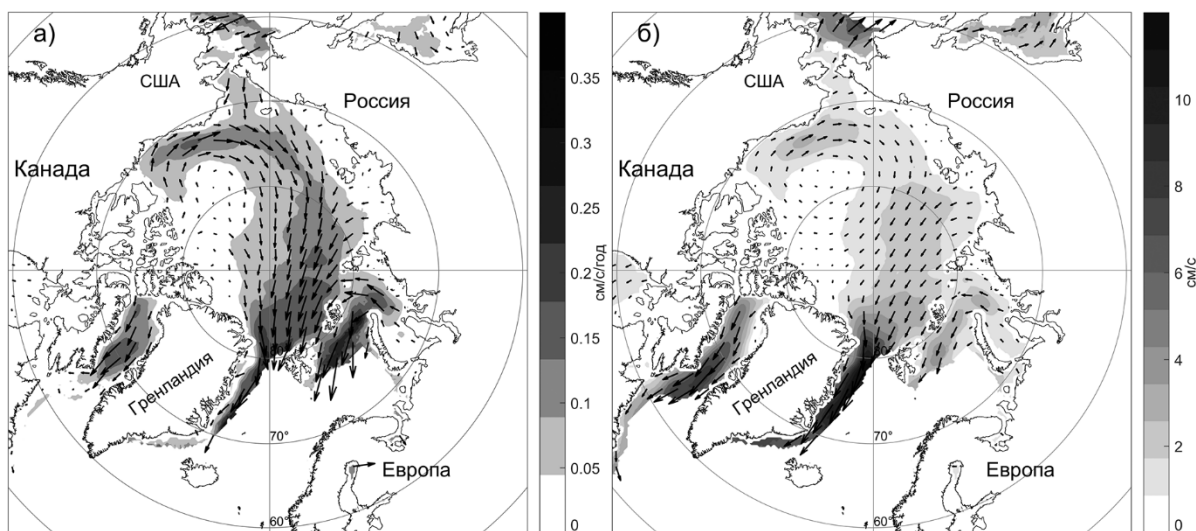
Коллинеарная составляющая вектора  $a_{||}$  показывает изменение скоростей среднего вектора (положительные значения соответствуют увеличению скорости, отрицательные – уменьшению скорости). По знаку ортогональной компоненты вектора  $a_{\perp}$  возможно определить в какую сторону отклоняется вектор (“-” влево, “+” вправо). Для определения смены направлений векторов целесообразно от ортогональной составляющей вектора  $a_{\perp}$  перейти к угловой скорости изменения направления среднего дрейфа:

$$\beta_{\perp} = \frac{|\vec{a}|}{|\vec{b}|} \cdot \sin(D_a - D_b) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

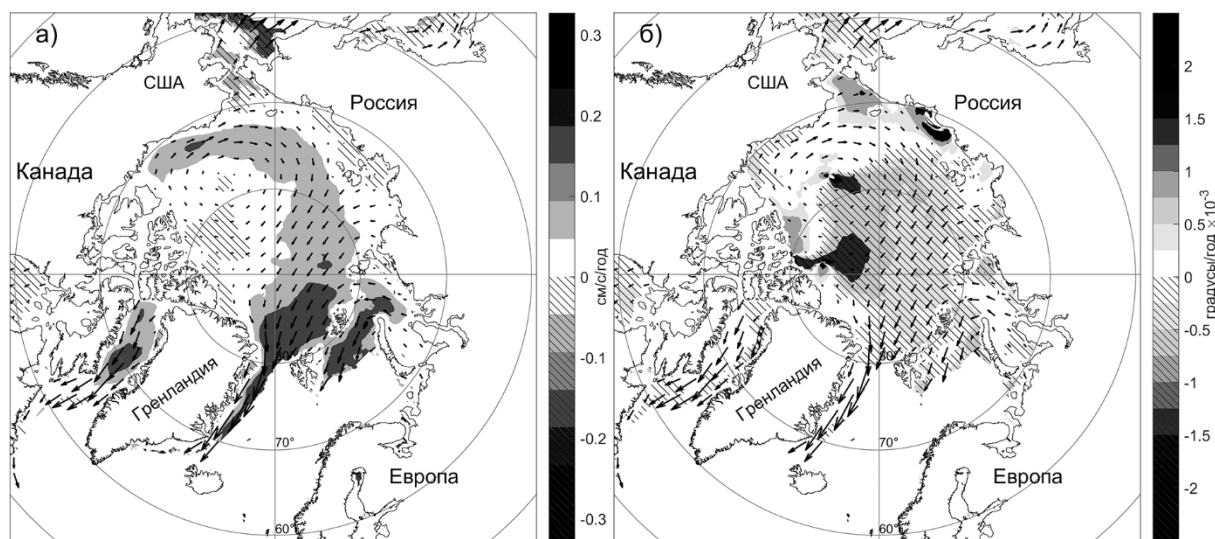
Угловая скорость (4) имеет размерность градусы на единицу времени (°/год).

### Результаты и обсуждение.

В последние десятилетия отмечается повышение температуры вод Северного Ледовитого океана и заметное сокращение количества льда в его акватории. Для оценки климатического изменения дрейфа льда мы по информации из базы данных Polar Pathfinder за 38 лет для каждого месяца рассчитали коэффициенты линейного тренда ( $\vec{a}, \vec{b}$ ). На рисунке 2а представлены вектора ускорения дрейфа льда в марте. Можно заметить, что наибольшее изменение скорости наблюдается в проливе Фрама, где модуль ускорения достигает до 0.5 см/с/год. На рисунке 2б показан средний дрейф, рассчитанный за аналогичный промежуток времени. Наибольшие скорости дрейфа льда отмечаются в проливе Фрама с характерными значениями 12 см/с. Как видно из рисунка 2 направления векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  в проливе Фрама, в стрежне трансарктического выноса и в канадском антициклоническом круговороте примерно совпадают, что означает, что здесь скорость среднего дрейфа увеличивается.



а) Коэффициент  $\vec{a}$  (вектор ускорения), см/с/год, б) коэффициент  $\vec{b}$  (средний вектор), см/с.  
Рис. 2. Параметры линейного тренда дрейфа ледяного покрова в марте с 1979 по 2016 года в Северном Ледовитом океане, рассчитанные по информации базы данных Polar Pathfinder.



а) Скорость изменения скорости среднего дрейфа ( $a_{||}$ ), см/с/год. б) угловая скорость вращения векторов среднего дрейфа ( $\beta_{\perp}$ ), °/год.

Рис. 3. Изменение скоростей дрейфа ледяного покрова в марте с 1979 по 2016 года в Северном Ледовитом океане, рассчитанные по информации базы данных Polar Pathfinder.

По рисунку 2 трудно точно сопоставить направления векторов коэффициентов линейного тренда, а значит невозможно точно определить, какая часть вектора ускорения  $\vec{a}$  описывает увеличение или уменьшение скорости среднего дрейфа, а какая описывает тенденцию изменения направления среднего дрейфа. На рисунке 3 показана коллинеарная составляющая вектора ускорения и угловая скорость вращения векторов среднего дрейфа ледяного покрова, рассчитанные по формулам (2) и (4). На рисунке видно, что в марте в проливе Фрама, северной части Баренцева моря, северо-западной части Карского моря, в зоне трансарктического дрейфа, южной части антициклонического круговорота Арктического бассейна и в море Баффина отмечается увеличение скоростей дрейфа льда. Максимальное ускорение наблюдается в проливе Фрама 0.3 см/с/год. Небольшое замедление (отрицательные значения коллинеарной составляющей вектора  $\vec{a}$  линейного тренда) отмечаются в антициклонической циркуляции Арктического бассейна возле берегов Канадского Арктического архипелага (рис. 3а). Это замедление можно объяснить тем, что за указанное время увеличивается передача льда из антициклонической циркуляции в трансарктический дрейф. Локальное пятно уменьшения скоростей дрейфа отмечается в центре антициклонической циркуляции, что свидетельствует о перемещении круговорота.

Разложение коэффициентов линейного тренда векторов (формулы (2-4)) позволяет отследить не только изменение скоростей дрейфа ледяного покрова, но и учесть тенденцию изменения направления среднего дрейфа льда, связанную с климатическими изменениями. Максимальные скорости изменения направления дрейфа льда не превосходят значения  $1^\circ$  за декаду, что до некоторой степени оправдывает использование тренда модуля скорости движения льда для исследования климатической изменчивости дрейфа. Однако области положительного (отклонения вправо) или отрицательные (отклонения влево) значения угловой скорости изменения векторов среднего дрейфа позволяют объяснить изменения потоков льда в Арктике.

#### **Заключение.**

В статье был предложен новый метод вычисления трендов векторных величин, используя ортогональную и коллинеарную составляющую вектора  $\vec{a}$ , разрешенные относительно направления вектора  $\vec{b}$ . На основе спутниковой информации дрейфа ледяного покрова из базы данных Polar Pathfinder в период с 1979 по 2016 год, и предложенного метода была рассчитана климатическая изменчивость дрейфа льда. По полученным результатам были выявлены области с характерными изменениями скоростей дрейфа с максимальным увеличением в проливе Фрама и уменьшением возле берегов Канадского Арктического архипелага. Помимо изменения скоростей данный метод позволил определить тенденции изменения направления дрейфа ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.

#### **Литература**

1. Липатов М. А. Дрейф ледяного покрова по инструментальным наблюдениям и спутниковой информации // Сборник трудов молодежной конференции «Папанинские чтения – 2017» 331-337 с.
2. May, R. I. Verification of sea ice drift data obtained from remote sensing information // Proceedings of 2018 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium. July 22-27, 2018. Valencia, Spain. 7348-7351 pp.
3. M. Tschudi, C. Fowler, J. Maslanik, J. S. Stewart, W. Meier. Polar Pathfinder Daily 25 km EASE-Grid Sea Ice Motion Vectors, Version 3. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. Boulder, Colorado USA. 2016.
4. Боков В.Н., Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А. Пространственно-временная изменчивость поля ветра в умеренных широтах северного полушария // Известия РАН Физика атмосферы и океана, 2001. Том 37 №2. С. 170-181.
5. Рожков В.А., Клеванцов Ю.П., Иванов Н.Е. Методы и средства статистической обработки и анализа информации об обстановке в Мировом океане на примере гидрометеорологии. О: ВНИИГМИ-МЦД, 2009, 416 с.
6. Kwok R., Spreen G., Pang S. Arctic sea ice circulation and drift speed: Decadal trends and ocean currents // Journal of Geophysical Research, 2013. Vol. 118. 2408-2425. doi:10.1002/jgrc.20191/
7. Белоненко Т.В., Федоров А.М., Башмачников И.Л., Фукс В.Р. Тренды интенсивности течений в Лабрадорском море и море Ирмингера по спутниковым альтиметрическим данным // Исследование Земли из космоса, 2018 №2. С. 3-12

## ДИНАМИКА ГИПОКСИЙНЫХ ЗОН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ НА РУБЕЖЕ XX и XXI ВЕКОВ

Е. Н. Литина<sup>1</sup>, Е. А. Захарчук<sup>1,2</sup>, Н.А. Тихонова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## DYNAMICS OF HYPOXIA IN THE BALTIC SEA AT THE TURN OF THE XX-XXI CENTURIES

E. N. Litina<sup>1</sup>, E.A. Zakharchuk<sup>1,2</sup>, N.A. Tikhonova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>State Oceanographic Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg state University, St. Petersburg, Russia

*Оценивается межгодовая изменчивость гипоксических условий на рубеже XX–XXI веков в Балтийском море. Результаты сравниваются с исследованиями 1951–1988 годов. Обсуждаются возможные причины ухудшения кислородного режима.*

*The interannual variability of hypoxia conditions at the turn of the XX – XXI centuries in the Baltic Sea is estimated. The results are compared with studies of 1951–1988. The possible causes of the deterioration of the oxygen regime are discussed.*

### **Введение.**

Результаты исследования кислородного режима вод Балтийского моря, выполненного на основе судовых измерений во второй половине прошлого века (1958–1988 гг.), свидетельствуют, что в рассматриваемое тридцатилетие наблюдались периоды, когда в Балтийском море совсем не отмечалось зон сероводородного заражения (1964–1965 гг.), или же такие условия наблюдались в сравнительно небольших по площади районах моря (1967, 1973, 1974, 1977 гг.) [2, 7, 8, 9]. С 1968 по 1972 гг. и с 1980 по 1984 гг. в Балтике зоны сероводородного заражения имели по площади наибольшее развитие в рассматриваемый период, а в 1969, 1970, 1972 и 1980 гг. они наблюдались даже в западной части Финского залива, чего не отмечалось в другие годы. Причины таких изменений авторы связывали, преимущественно, с меняющимися условиями адвекции североморских вод и изменением интенсивности вертикального перемешивания [2]. Цель данной работы – оценить изменения гипоксических условий в Балтийском море в конце XX и начале XXI веков, сравнить полученные результаты с оценками кислородного режима, сделанными ранее во второй половине XX века, и обсудить возможные причины современных изменений гипоксических условий в Балтике.

### **Данные и методы.**

В работе использовались судовые измерения содержания кислорода с 1989 по 2017 годы, температуры и солености - с 1979 по 2017 годы из базы данных DAS (<http://nest.su.se/das/>). Для исследования межгодовых изменений пространственного распределения районов с гипоксическими условиями, вся выборка станций разделялась на годовые массивы. Местоположение выбранных за каждый год станций отмечено на рисунке 2 в виде кружков. Если на какой-либо станции на одном или нескольких горизонтах в течение года отмечались гипоксические условия ( $O_2 < 2$  мл/л), это место помечалось черным кружком, а при значениях  $O_2 \geq 2$  мл/л – серым кружком (рис. 1-а). 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. 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 (см. рис. 1-б). Для оценки вертикальных смещений верхней границы зоны гипоксии на станциях разреза проводился квантильный анализ рядов исходных значений концентрации кислорода, наиболее обеспеченных данными измерений. Для исследования изменений во времени стратификации вод

Балтийского моря на станциях, наиболее обеспеченных данными (ВУ2, ВУ15, ВУ31), строились ряды среднемесячных значений температуры ( $T$ , °C), солености ( $S$ , ‰) и плотности ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) на поверхности моря и в придонном слое. На основе полученных рядов оценивались вертикальные градиенты ( $\Delta T$ , °C,  $\Delta S$ , ‰ и  $\Delta \rho$ , кг/м<sup>3</sup>) как разность их значений между придонным и поверхностным слоем.

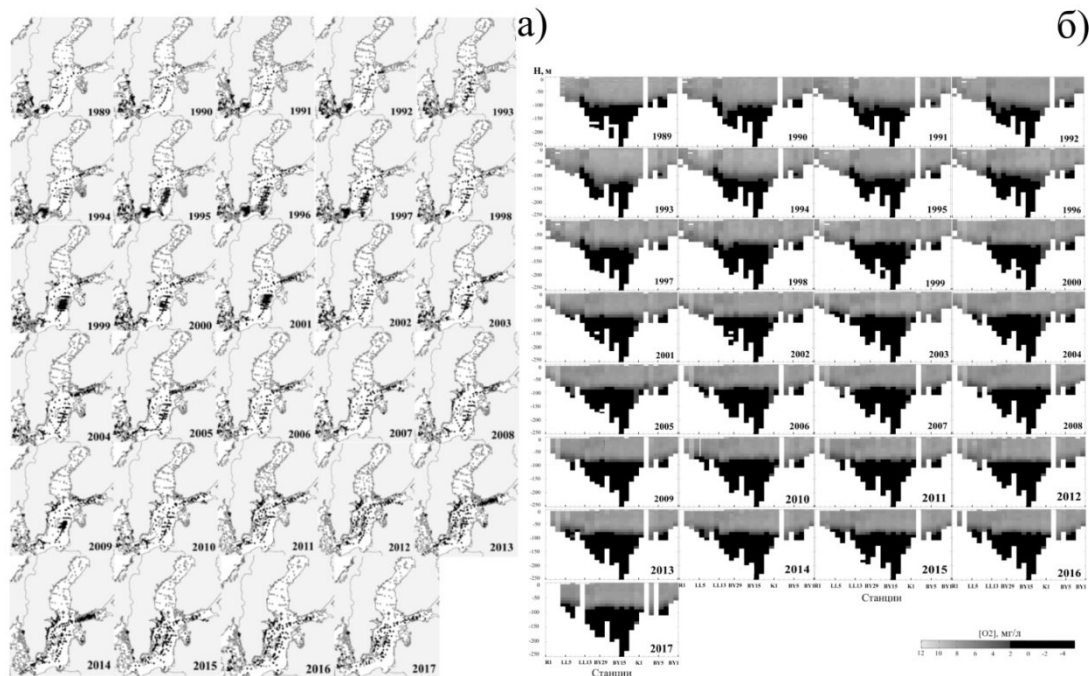


Рис. 1. Океанологические станции, где отмечались гипоксические условия ( $O_2 < 2$  мл/л, черные кружки), и где значения  $O_2 \geq 2$  мл/л (серые кружки) – а. Вертикальное распределение содержания растворенного кислорода в водах Балтийского моря на разрезе океанологических станций – б

### Результаты и их обсуждение.

Полученные нами результаты анализа данных измерений содержания растворенного кислорода на океанологических станциях международного мониторинга в 1989 – 2017 годах, свидетельствуют о заметном ухудшении кислородного режима как всего Балтийского моря в целом, так и отдельных его акваторий по сравнению с предыдущим тридцатилетием (см. рис. 1). Причины этого большинство исследователей связывает с большой антропогенной нагрузкой на экосистему Балтийского моря и последствиями глобального потепления климата на Земле.

В последние двадцать лет, благодаря объединенным усилиям правительств прибалтийских государств и деятельности Хельсинской комиссии удалось снизить на воды Балтики биогенную нагрузку, поступающую от сельскохозяйственных, промышленных предприятий и муниципальных источников, однако концентрации биогенных веществ в ее водах остаются все еще высокими [15], и в рассматриваемый нами период не наблюдается уменьшения уровня эвтрофирования вод Балтийского моря [16].

Глобальное потепление проявляется в регионе Балтийского моря в виде аномально высоких среднегодовых значений температур воздуха, которых не наблюдалось за всю историю инструментальных измерений [3]. Повышается в последние десятилетия и средняя температура вод Балтийского моря, однако это повышение не выходит пока еще за рамки диапазона исторических изменений температуры Балтики, оцененных по данным инструментальных наблюдений с 1870-х годов по настоящее время [1, 3, 4, 6].

В работе [12] для выяснения причин ухудшения экологического состояния Балтики оценивалась корреляция между изменениями от года к году площади акватории, занятой синезелеными водорослями, и 29 предикторами, среди которых были: изменение площади гипоксических зон, различные характеристики температурного режима поверхности моря,

соленость приповерхностного слоя моря, прямое и рассеянное коротковолновое излучение в июле-августе, скорость ветра, концентрации основных биогенных веществ, продолжительность солнечного сияния в июле-августе. Ни с одним из перечисленных предикторов не была выявлена значимая корреляция. Авторы делают вывод, что в настоящее время нет правдоподобного объяснения сильных межгодовых колебаний в частоте поверхностных скоплений цианобактерий, наблюдаемых в Балтийском море, но, скорее всего, по их мнению, эти колебания определяются в основном биологическими процессами [12]. Таким образом, механизм формирования вспышек цветения цианобактерий, а вместе с ними и увеличение гипоксических зон, остается все еще недостаточно понятен. Можно предположить, что ухудшение кислородного режима Балтийского моря в последние десятилетия связано со значительным влиянием динамических процессов.

Потепление климата в регионе Балтийского моря сопровождается существенными изменениями его водообмена с Северным морем. После 1983 г. отмечается резкое сокращение случаев больших балтийских затоков. С 1880-х по начало 1980-х годов большие балтийские затоки наблюдались сравнительно часто – случаи их появления варьировались в основном от одного-двух раз в год до одного раза в 3-4 года [13]. После 1983 года частота больших балтийских затоков сократилась в 5 раз по сравнению с предыдущим тридцатилетием; интервал между ними, который еще называют периодом стагнации [11], стал составлять 10-11 лет. Не вызывает сомнения, что столь значительное уменьшение случаев больших затоков негативно сказывается на кислородном режиме Балтийского моря.

Результаты анализа межгодовых изменений термохалинных условий Балтийского моря свидетельствуют, что температура воды и в поверхностном и придонном слоях в последние десятилетия растет, в то время как в трендах поверхностной и придонной солёности отмечаются разнонаправленные тенденции: в поверхностном слое она уменьшается, а в придонном увеличивается. В придонных слоях глубоководных впадин (станции ВУ15 и ВУ31) увеличение солёности происходит не монотонно, а имеет ступенчатую или волнообразную структуру. До 1993 г. солёность у дна здесь уменьшалась быстрее, чем на поверхности, а далее она начала расти. В исследуемых районах открытой Балтики отмечается усиление стратификации водных масс, прежде всего за счет увеличения вертикального градиента солёности. Увеличение стратификации по нашим оценкам отмечается в последние десятилетия и в различных районах Финского залива [3]. Понятно, что усиление стратификации приводит к ослаблению процесса вертикальной турбулентной диффузии субстанции, что негативно сказывается на вертикальном обмене кислородом между поверхностным, глубинным и придонным слоями вод Балтики.

Результаты математического моделирования показывают также, что продолжающееся потепление климата в будущем приведет к дальнейшему ухудшению качества вод Балтийского моря: возрастаню вероятности возникновения максимальных значений неорганических форм азота и фосфора, росту цветения сине-зеленых водорослей, увеличению площади бескислородных и гипоксических зон [5, 10, 14].

#### **Выводы.**

В последние десятилетия, несмотря на усилия всех прибалтийских государств по улучшению экологического состояния Балтики, в море отмечается заметное ухудшение кислородного режима. Выполненный нами анализ данных судовых измерений содержания растворенного кислорода на станциях международного мониторинга в 1989 – 2017 гг. свидетельствует, что по сравнению с предыдущим тридцатилетием в Балтийском море отмечается увеличение площади акваторий с гипоксическими условиями, лимитирующими развитие жизни в глубинных и придонных слоях. В рассматриваемый нами период в открытой Балтике наблюдается также вертикальное развитие гипоксических условий. На это указывает устойчивое повышение верхней границы гипоксического слоя со 110 – 150 м в 1990 – 1997 гг., до 70 – 80 м в последние годы. 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. Негативные кислородные условия вод Балтийского моря развиваются на фоне заметных изменений его гидрологического режима, которые, по-видимому, вызваны наблюдающимся потеплением климата: резкого сокращения случаев больших затоков

соленых и богатых кислородом североморских вод в Балтику и усилении стратификации ее водных масс.

### Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.3. Балтийское море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. /Под ред. Ф.С. Терзиева, В.А. Рожкова, А.И. Смирновой. – СПб, Гидрометеоиздат, 1992.
2. 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.
3. Захарчук Е.А., Е. Н. Литина, Клеванцов Ю.П., Сухачев В.Н., Тихонова Н.А. Нестационарность гидрометеорологических процессов Балтийского моря в условиях меняющегося климата // Труды ГОИН. 2017. № 218. С. 6 – 62.
4. Литина Е. Н., Захарчук Е. А. Изменчивость термохалинных 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.
5. Рябченко В. А., Л.Н. Карлин, А. В. Исаев, Р. Е. Ванкевич, Т. Р. Еремина, М. С. Молчанов, О. П. Савчук. Модельные оценки эвтрофикации Балтийского моря в современном и будущем климате // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 41–50.
6. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies ISSN. Series Editors: H.-J. Bolle, M. Menenti, I. Rasool. 2008. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 118 p. ISBN: 978-3-540-72785-9.
7. 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.
8. Baltic Marine Environment Commission – Helsinki Commission -1987. First Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea Area. Background Document. // Baltic Sea Environ. Proc. – 1987, N 17B.
9. Baltic Marine Environment Commission – Helsinki Commission -1990. Second Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea, 1984-1988. Background Document // Baltic Sea Environ. Proc. – 1990, N 35B.
10. Gräwe U., R. Friedland, H. Burchard. The future of the western Baltic Sea: two possible scenarios // Ocean Dynamics August 2013, Volume 63, Issue 8, pp. 901-921.
11. Lepparanta M., Myrberg K. Physical Oceanography of the Baltic Sea. Springer/Praxis, Chichester, U.K. 2009. 378 pp.
12. Mati Kahru, Ragnar Elmgren, Emanuele Di Lorenzo, Oleg Savchuk. Unexplained interannual oscillations of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea. Scientific Reports, 23 April 2018.
13. Matthaus W. The History of Investigation of Salt Water Inflows into the Baltic Sea – from the Early Beginning to Recent Results // Marine Science Reports No. 65. – Rostock-Warnemuende, Germany, Baltic Sea Res. Institute (IOW), 2006, 73 p.
14. Meier H.E.M., Andersson H.C., Eilola K. et al. Hypoxia in future climates: A model ensemble study for the Baltic Sea // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38, L24608, doi:10.1029/2011GL049929.
15. Raateoja M., Pitkänen H., Eremina T. Nutrients in the water. In: Gulf of Finland Assessment. pp. 94-113. Ed. by M. Raateoja and O. Setälä. Reports of the Finnish Environment Institute 27, 2016, 368 p.
16. Savchuk O.P. (a) Large-Scale Nutrient Dynamics in the Baltic Sea, 1970–2016. Front. Mar. Sci., 22 March 2018.



## НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНАХ СТЕПНЫХ РЕК ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ

Д.В. Магрицкий<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Н.М. Юмина<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

## THE INUNDATIONS ON THE EASTERN SEASIDE AREA OF AZOV SEA WATERSHED

D.V. Magritsky<sup>1</sup>, Cand. Sc., N.M. Yumina<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, geographical faculty, Moscow, Russia

*На водосборах и в устьях рек Восточного Приазовья неоднократно случались нагонные, стоковые и стоково-заторные, локальные дождевые (и снеготаяния) наводнения. Они имеют свои особенности территориальной локализации. Современная опасность природных стоковых и стоково-заторных наводнений незначительная, тогда как риски нагонных, природно-техногенных стоковых и локальных дождевых наводнений по-прежнему высоки.*

*At the basins and in the mouths of the rivers of the eastern seaside area of Azov sea watershed, storm surge, river water discharge and ice jam, local rainfall and intense snowmelt origin inundations have happened many times. They have their own features of territorial distribution. The present-day danger of nature origin river water discharge and ice jam floods is insignificant, while the risks of storm surge, natural and man-made river water discharge, local meteorological inundations are still high.*

Северный Кавказ – уникальный регион Российской Федерации не только по своему социально-экономическому потенциалу, природному разнообразию и географическому положению, но и по количеству опасных природных процессов и явлений. На Южный и Северо-Кавказский федеральные округа, составляющие по площади 3,4 % от территории страны с населением 16,3 % от общего населения, приходится от 18 до 25 % всех опасных гидрометеорологических явлений, зафиксированных в России [1].

Одними из наиболее опасных и разрушительных природных явлений считаются наводнения. В современной трактовке *наводнением* называют временное затопление территории, освоенной человеком для различных хозяйственных целей, которое причиняет экономический и экологический ущерб, наносит урон здоровью или приводит к гибели людей [2, 3, 4]. Затопление водой земель, не сопровождающееся ущербом, следует считать заливанием, разливом реки или озера. Для ряда экосистем как, например, заливные луга, водно-болотные угодья и нерестилища заливание является благоприятным событием. Собственно же *затоплением* называют "образование свободной поверхности воды на участке территории в результате повышения уровня водотока, водоема или подземных вод" [5], а также вследствие локальных интенсивных осадков, при поливе земель.

Наименее безопасным административным субъектом на Северном Кавказе в плане повторяемости наводнений, их максимально возможного перечня по генетическим признакам, катастрофичности последствий является Краснодарский край с Республикой Адыгеей. Достаточно вспомнить такие катастрофические наводнения, как нагонное в 1969 г., стоково-заторное в январе 2002 г., стоковые в июне и августе 2002 г., летом 2012 г. Общее же число наводнений за период с 1980 по 2013 год примерно в 3 раза превышает аналогичные характеристики Ставропольского края, республик Дагестан и Карачаево-Черкесская и намного больше показателей других субъектов [6].

Когда рассматривают ситуацию с наводнениями в Краснодарском крае, обычно имеют в виду события в горной части и на черноморском побережье Краснодарского края, а также в дельте Кубани [6, 7, 8, 9, 10]. Однако, мало кто знает, что в степной части Краснодарского края, на водосборах и в устьях рек так называемого Восточного Приазовья, также бывают серьезные наводнения, которые в условиях усиливающейся климатической и синоптической неустойчивости, вместе с маловодьями и засухами формируют основную угрозу производственному комплексу и местному населению. Оценить ситуацию с наводнениями в Восточном Приазовье и картировать полученные результаты авторам помогли как данные многолетних стационарных гидрологических наблюдений за уровнями и расходами воды (вплоть до 2013 г.) и их сопоставление с так называемыми критическими высотными отметками, так и материалы уникальных баз данных: 1) «Наводнения на Северном Кавказе» (свидетельство

№ 2013621138 от 12.09.2013 г.; авторы –Магрицкий Д.В., Юмина Н.М., Ретеюм К.Ф.) [11]; 2) «Опасные гидрологические явления на морских побережьях Европейской России» (№ 2015620918 от 16.06.2015 г.; автор – Магрицкий Д.В.).

В Восточном Приазовье, согласно авторской классификации опасных гидрологических процессов и событий [3], возможны нагонные, стоковые и стоково-заторные, локальные метеорологические (дождевые и снеготаяния) наводнения. Причем стоковые наводнения могут быть как природного, так и техногенного происхождения. Упомянутые типы наводнений доминируют в разных районах Восточного Приазовья.

Отдельно следует рассматривать морское побережье и лиманные устья рек Еи, Челбаса и Бейсуга, подверженные воздействию опасных морских нагонов и штормовых нагонно-волновых накатов. Их генерируют сильные западные и северо-западные ветра. Значительный ущерб, в т. ч. с человеческими жертвами, морские нагоны и нагонные наводнения наносят г. Ейску и Ейской косе. Наиболее тяжелые последствия имели события в 1831, 1892, 1914 и 1969 гг. Последние опасные нагоны и сопутствующие им наводнения были в марте 2013 г. и сентябре 2014 г. Всего с 1980 по 2015 гг. известно о не менее 4–8 опасных нагонах на морском побережье Приморско-Ахтарского и Ейского районов. Побережье Щербиновского района намного безопаснее. Особым подрайоном являются устья рр. Ея, Челбас и Бейсуг. Это обширные заболоченные территории (плавни), периодические затопляемые речными (во время половодья) и морскими (во время штормовых нагонов) водами. В устье р. Еи нагоны способствуют проникновению в реку морских солоноватых вод из Ейского лимана (на расстояние около 8 км) и вызывает подъем воды у ст. Старощербиновской почти до 1 м [12].

Второй район – это днища долин рр. Ея, Бейсуг, Челбас, Кирпили и их притоков. До недавнего времени здесь основную угрозу представляли стоковые и стоково-заторные наводнения во время весеннего половодья. В 1745, 1783, 1809, 1859, 1877, 1888, 1898 и 1920 гг. Таким наводнениям (речь идет о значительных) подверглись станицы Кушевская, Брюховецкая, Тимашевская и др. Половодье здесь сравнительно непродолжительное и проходит обычно в марте. Половодье характеризуется резким и кратковременным подъемом, достигающим максимума за 4–5 дней. На его пике максимальный подъем уровня над меженным варьирует от 1–2 м у большинства рек до 3–4 м в нижнем течении рр. Ея и Куго-Ея (рис. 1). Это сравнительно немного, поскольку высота берегов на многих участках выше. Например, в среднем течении р. Бейсуг высота берегов 7–8 м, ниже по течению берега понижаются 5–6 м [12]. Современная максимальная высота подъема уровня меньше в 2–3 раза. Речные воды могут затопить пойму (обычно глубиной не более 0,5–1,5 м (до 40% общей протяженности); а на некоторых участках р. Еи – до 1–3 м) (рис. 2). Уровень может даже достичь неблагоприятных и опасных отметок. Затопление обычно кратковременное, например, от 2 до 5 дней в районе ст. Дядьковской (р.Бейсуг).

В настоящее время рассматриваемые реки и их притоки зарегулированы многочисленными гидротехническими сооружениями. В бассейне р. Ея насчитывается 732 таких сооружений; на р. Челбас и ее притоках – 365 пруда; реки бассейна р. Бейсуг перегорожены 295 дамбами; на реках бассейна р. Кирпили – 363 перегораживающих сооружения, из них 88 плотин (только у 14 имеются поверхностные водосбросы) (из Отчета Кубанского ГАУ по ГК №11587; с.53–55). Единственное, что угрожает социально-хозяйственным объектам и сельхозугодьям вдоль этих рек – это стоковые затопления и наводнения из-за аварийного прорыва плотин прудов и небольших водохранилищ на реках. Вероятность этого высокая ввиду плохого состояния плотин, отсутствия у некоторых из них сбросных сооружений, сильного зарастания и заиления искусственных водоемов (кое-где слой ила достигает 5–7 м) и др. Чтобы этого не произошло, весной организуются регулируемые прораны в плотинах, но не всегда успешно. В результате формируются волны прорыва и частично затапливаются на р. Бейсуг и р. Левый Бейсужек станицы Брюховецкая и Переясловская, пос. Киновия, хут. Лиманский, ст. Дядьковская и др., на р. Челбас – станица Новодеревянковская, населенные пункты Кубанская степь и Калинино, а также сельхозугодья. На р. Кирпили в зоне риска находятся прибрежные территории г. Тимашевска, пос. Медведовское, на р. Ее – ст. Кушевская. Ширина полосы затопления невелика – от нескольких десятков до сотен метров.

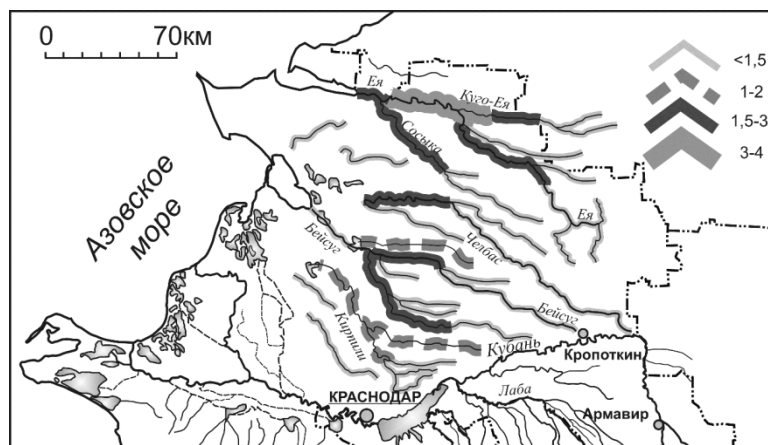


Рис. 1. Карта максимально возможного повышения уровня воды (над меженным уровнем и в метрах) в реках Восточного Приазовья (в пределах Краснодарского края)

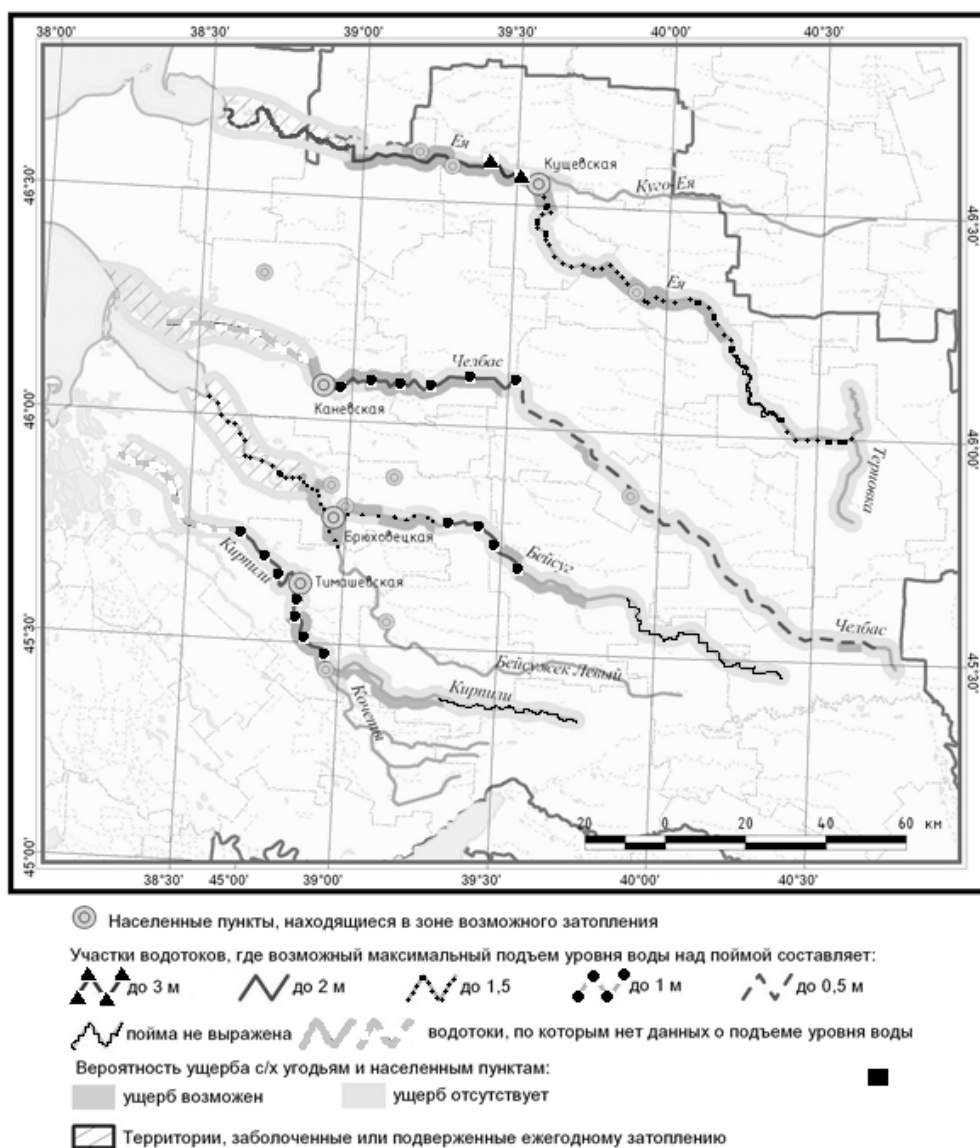


Рис. 2. Карта опасности затоплений речной поймы и риска ущерба сельскохозяйственным угодьям и населенным пунктам в Восточном Приазовье [6]

В случае неконтролируемого прорыва плотины, что объективно возможно в силу вышеуказанных причин, зона затопления и масштабы ущерба будут существенно больше. Последнее крупное стоковое наводнение естественно-антропогенного происхождения было в марте 1998 г. Тем не менее, ввиду большой высоты берегов и защищенности ряда пунктов дамбами протяженность опасных участков существенно меньше (менее 1/3) протяженности безопасных (рис. 2).

Третий фактор затопления – локальные ливневые осадки и быстрое таяние снежного покрова. В условиях малых уклонов местности, несовершенной ливневой канализации в населенных пунктах, в случае замерзшей почвы, при высоком стоянии уровней подземных вод они могут приводить к затоплению отдельных сельскохозяйственных угодий (на междуречье) и урбанизированных территорий. Так, было в июне 1993 г. (Староминский район), июле 2003 г. (Ейский район), июле 2013 г. (Кореновский и Динский районы). Увеличить масштаб таких затоплений способны распространенные здесь подтопления по причине подъема грунтовых вод и выхода их на поверхность, в том числе как результате создания прудов и русловых водохранилищ, нерационального искусственного полива орошаемых земель.

Тем не менее, в настоящее время, это самый безопасный в плане наводнений сектор Краснодарского края. Это предусматривают в отношении данной территории ограниченный перечень мероприятий по снижению рисков наводнений. В первую очередь он должен включать меры по защите г. Ейска от нагонных наводнений, реконструкцию гидротехнических сооружений на реках и защитных дамб в районах населенных пунктов и на уязвимых участках.

### Литература

1. Базелюк А.А. Опасные гидрометеорологические явления на юге европейской территории России // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей. – М., 2012. С. 33–42
2. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. – М., 2006. 256 с.
3. Магрицкий Д.В. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2016. №2. С.35–61.
4. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. – Л., 1988. 184 с.
5. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. – М., 2002. 19 с.
6. Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Юмина Н.М. Наводнения в Краснодарском крае и республике Адыгея // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2013. №4. С.44–63.
7. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного Федерального округа. М., 2007. 384 с.
8. Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Наводнения в дельте р. Кубани // Водные ресурсы. 2011. Т.38. №4. С. 387-406.
9. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. – Екатеринбург, 2008. 432 с.
10. Alexeevsky N., Magritsky D.V., Koltermann K.P., Krylenko I. and Toropov, P. Causes and systematics of inundations of the Krasnodar territory on the Russian Black Sea coast // Natural Hazards and Earth System Science. 2016. №16. Pp.1289-1308.
11. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Ретеюм К.Ф., Юмина Н.М. Научное обоснование структуры и содержания базы данных для изучения процессов затопления освоенной местности // Материалы Всероссийской научной конференции. – Новочеркасск, 2013. С.17–23.
12. Борисов В.И. Реки Кубани. – Краснодар, 1978. 80 с.

*Исследования выполнены за счет гранта РФФ №14-17-00155 (стоковые и местные метеорологические наводнения) и гранта РФФИ № 16-05-00288 (нагонные наводнения в устьях рек и на морских побережьях).*

*The studies were carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 14-17-00155 (runoff and local meteorological floods) and the RFBR grant No. 16-05-00288 (surge floods in river mouths and on the sea coasts).*

## ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В АТМОСФЕРЕ

Г.И. Мазуров<sup>1</sup>, И.А. Тарабукин<sup>1</sup>, В.И. Акселевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

## POSSIBILITIES OF MEASURING THE SPEEDS OF MESOSCALE VERTICAL AIR FLOWS IN THE ATMOSPHERE

G.I. Mazurov<sup>1</sup>, I.A. Tarabukin<sup>1</sup>, V.I. Akselevich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Main Geophysical Observatory A.I. Voeikov, St. Petersburg, Russia

*Представляется новый прибор для измерения мезомасштабных вертикальных потоков воздуха в атмосфере. Рассматриваются возможности его совершенствования, направления применения. Анализируются результаты первых измерений. Обсуждаются достоинства и недостатки прототипа прибора.*

*A new device for measuring mesoscale vertical air flows in the atmosphere is presented. The possibilities of its improvement, directions of application are considered. The results of the first measurements are analyzed. The advantages and disadvantages of the prototype device are discussed.*

Вертикальные потоки воздуха в основном определяют качественно, считая, что на наветренной стороне зданий в городе, возвышенностей и гор развиваются восходящие потоки, а на подветренной нисходящие (рис. 1). Из него видно, что развиваются и завихрения. Все эти потоки оказывают влияние на формирование облачности различных ярусов и вызывают турбулентность атмосферы, что приводит к болтанке летательных аппаратов (ЛА), а также они влияют на распределение примесей по вертикали. Чем выше здания и возвышенности и чем больше скорость горизонтальных потоков (ветра), тем сильнее будут развиваться вертикальные потоки. Кроме того, скорость этих потоков зависит от степени нагрева Солнцем освещенной и теневой сторон зданий и возвышенностей.

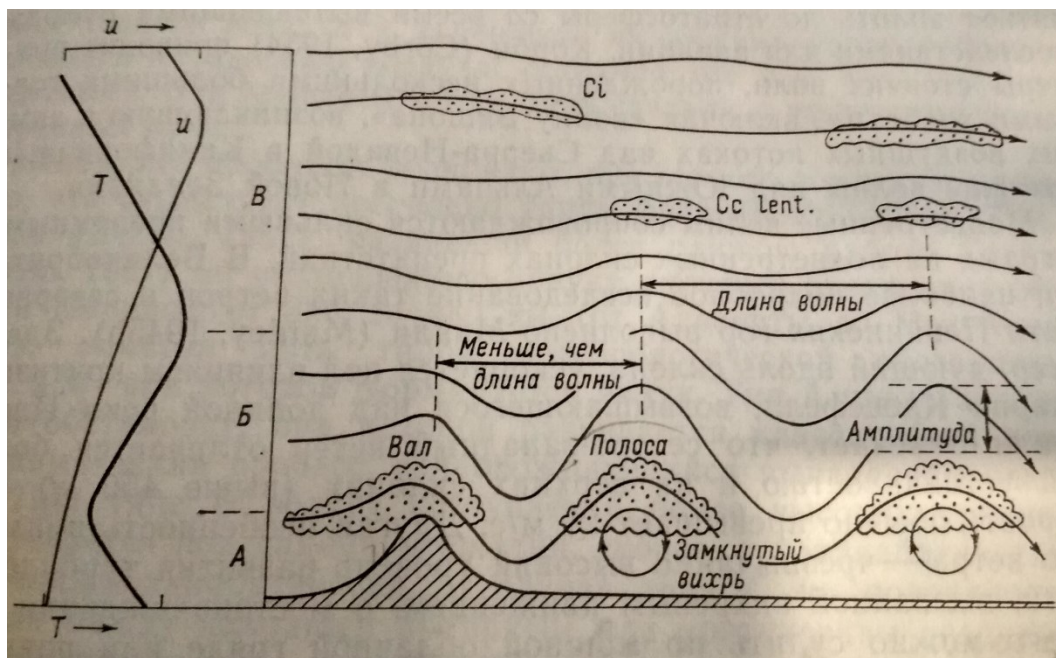


Рис. 1. Качественное выявление влияния скорости ветра ( $u$ ), который усиливается с высотой до тропопаузы, и различной стратификации температуры ( $T$ ) на развитие форм облаков под влиянием восходящих и нисходящих потоков воздуха, а также завихрений (замкнутый вихрь) за горным хребтом высотой около 1 км. Слои А и В – понижение температуры с высотой, слой Б – повышение. Показаны длины волн и их амплитуды, которые с высотой уменьшаются [1]

Интенсивность этих потоков формирует уровни загрязнения воздуха и отрицательно влияет на безопасность полетов всех видов ЛА. Так, восходящий вертикальный поток будет увеличивать подъемную силу ЛА, а нисходящий – уменьшать. В обоих случаях будет изменяться угол атаки, что отрицательно воздействует на безопасность полета. При этом при восходящих потоках длина разбега уменьшается, а пробега – увеличивается. При нисходящих потоках наблюдается обратная картина. Роль вертикальных потоков воздуха возрастает в связи с более широким внедрением в практику малоразмерных беспилотных ЛА. Похоже на влияние сдвига ветра. Для многих метеорологических и аэронавигационных задач полезно знать количественную величину вертикальных потоков воздуха (их интенсивность) и направленность.

По площади развития следует выделить 3 вида вертикальных движений воздуха: микромасштабные (сантиметры и метры), мезомасштабные (десятки и сотни метров) и синоптического масштаба (сотни километров).

Существуют способы измерения микромасштабных вертикальных потоков воздуха и других газов в закрытых помещениях, строящихся зданиях и шахтах. Они имеют целью расчет мощности вентиляционных устройств и определение места их установки. Для этого используются анемометр типа АРИ-49 или крыльчатый анемометр типа АССО-3 [2], которыми измеряют скорости воздушных потоков в нескольких точках исследуемого помещения. Ось вращения датчика ориентируют перпендикулярно набегающему потоку. Полученные результаты осредняют. На эту процедуру требуется достаточно много времени.

Для атмосферы с ее достаточно крупномасштабными вертикальными потоками такой способ не подходит. В Российской Федерации имеются горные районы и районы с возвышенностями (например, Краснодарский край). В них необходимо измерять вертикальные потоки не только на склонах возвышенностей (см. рис. 1), но и, например, потоки вблизи кучево-дождевого облака, которые меняются по знаку на противоположные, вблизи разогретых стен и крыш зданий и т.п. Вертикальные потоки воздуха применяются и для ввода реагента в облако с целью активного воздействия на него [3].

Для измерения скоростей вертикальных потоков воздуха в пограничном слое атмосферы предлагается использовать прибор «Анемометр вертикальных потоков воздуха». В нем датчик скоростей анеморумбометра М63М-1 повернут на  $90^0$  и убран измеритель направления (румбов). Кроме того, сделана защита от ветра с тем, чтобы исключить влияние горизонтальных потоков воздуха (рис. 2). Известно, что скорости ветра, как правило, значительно больше скорости вертикальных потоков. Однако, при некоторых аэро-синоптических ситуациях (прохождение атмосферных фронтов, смерчей, шквалов и т.п.) они могут быть соизмеримы. Установить датчик можно на высоте 2 м или на уровне флюгера. В этом случае сможем измерять скорости вертикальных потоков воздуха на склонах гор, вблизи зданий при прохождении атмосферных фронтов, смерчей, торнадо и вблизи кучево-дождевого облака. Это позволит увеличить точность численного моделирования последнего, а также подробнее рассмотреть особенности загрязнения пограничного слоя атмосферы.

В настоящее время скорости вертикальных потоков воздуха синоптического масштаба не измеряются, а рассчитываются численным путем и в соответствии с этим составляются карты вертикальных токов.

Необходима проверка экспериментальным путем предлагаемого прибора, его градуировка и сравнение полученных результатов измерений с вычисленными, а также выявление оптимальных размеров ветровой защиты.

Можно попробовать для увеличения пространственного масштаба осреднения скоростей вертикальных потоков увеличить диаметр приемного устройства (датчика скорости) примерно до 1 м, повернув анеморумбометр М63М-1 на  $90^0$  и, сделав ветровую защиту.

Значения измеренных средних скоростей потоков позволят рассчитать примерный объем воздуха, переносимый по вертикали с определенной площади за 1 час или 10 часов. За больший промежуток расчет производить нельзя, так как вмешивается суточный ход притока солнечной радиации.

Целесообразно внести конструктивные изменения в существующие анемометры или анеморумбометры, убрав датчик направления ветра у последних, расположив ось вращения горизонтально и, закрепив на определенной высоте.

Нами изготовлен действующий макет в натуральную величину анемометра для измерения вертикальных потоков воздуха (рис. 2) и с его помощью проведены соответствующие измерения. Датчиком является четырехлопастная вертушка, расположенная горизонтально, которая имеет защиту от ветра, и вращается под влиянием набегающих вертикальных потоков в ту или другую сторону. Измерения этим прибором вертикальных потоков выполнялись в течение весны и лета 2018 года. Они показали, что прибор реагирует на восходящие потоки воздуха на наветренной стороне здания и нисходящие потоки на подветренной их стороне, скорости потоков увеличиваются с усилением ветра и увеличением влияния высоты солнцестояния, а также реагирует на вид подстилающей поверхности (свежую вспашку, асфальт и травяной покров или воду). При антициклональном типе погоды, когда ветры слабые, интенсивность вертикальных потоков зависит от интенсивности притока солнечной радиации (конвекции). К одному дистанционному пульту может быть подключено два датчика скорости вертикальных потоков, удаленных на расстояние до 10 км. При прохождении атмосферных фронтов, шквалов, смерчей и кучево-дождевых облаков скорости вертикальных потоков оказываются значительными и даже соизмеримыми со скоростями ветра (горизонтальными потоками). В последнем случае они меняются на противоположные. На индикацию могут выводиться средние скользящие значения скорости потоков за 2 и 10 минут, а также максимальные скользящие значения характеристик потоков за тот же период.



Рис. 2. Слева фотоснимок четырехлопастной вертушки (вид снизу) в корпусе ветровой защиты и справа фотоснимок общего вида приемного устройства на треноге (вид сбоку) без указателя скорости вертикальных потоков.

Недостатками прибора являются трудность транспортировки, громоздкость, отсутствие мобильности. Для ликвидации последнего недостатка прибор можно устанавливать на подвижное средство.

Достоинства прибора: результаты измерений вертикальных токов позволяют впервые перейти от качественных рассуждений к количественным оценкам, что особенно важно при моделировании.

### Литература

1. Смит К. Основы прикладной метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. – 1978. - 424 с.
2. Плотников А.Д., Сучкова Л.И. Сравнительный анализ приборов и методов измерения скорости и направления ветра. //Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Ползуновский альманах. №2. – 2010. - С. 119-122.
3. Качурин Л.Г. Физические основы воздействий на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеиздат. – 1973. – 366.

## РЕГРЕССИОННЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ АЙСБЕРГОВ

Р.И. Май<sup>1,2</sup>, Е.А. Павлова<sup>1</sup>, А.И. Тюгалева<sup>2</sup>, С.В. Хотченков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## REGRESSIONAL RELATIONS BETWEEN THE GEOMETRIC PARAMETERS OF ICEBERGS

R.I. May<sup>1,2</sup>, E.A. Pavlova<sup>1</sup>, A.I. Tyugaleva<sup>2</sup>, S.V. Hotchenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint - Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*В работе рассматриваются вопросы, связанные с определением регрессионных соотношений для геометрических параметров айсбергов российской Арктики. На основе архивных данных выводятся эмпирические зависимости между длиной айсберга и другими геометрическими параметрами айсберга (высота, ширина, осадка, площади и объемы надводной части).*

*The paper describes issues related to the definition of regression relations for the geometric parameters of icebergs in the Russian Arctic. On the basis of archival data, empirical dependencies between the iceberg length and other geometric parameters of the iceberg (height, width, draft, areas and volumes of the surface part) are derived.*

Айсберги представляют серьезную опасность для навигации, добычи и транспортировки полезных ископаемых на шельфе. Обеспечение безопасной деятельности человека на шельфе арктических морей требует разработки комплекса мероприятий по обнаружению, мониторингу, прогнозированию дрейфа айсбергов и оценки риска айсберговой опасности. В основе систем прогноза и мониторинга перемещения опасных ледяных образований лежит численная модель дрейфа айсбергов. Современная численная модель дрейфа айсберга представляет собой уравнения движения, учитывающие воздействие на айсберг ветра, сопротивления воды и течений, наклона уровня моря, воздействие морского льда, ветрового волнения, грунта и силу Кориолиса. Сила воздействия ветра складывается из тангенциального и нормального напряжений, и, следовательно, для расчета этой силы необходимо знать площади поперечного (вертикального) сечения  $S_{va}$  и площади горизонтального сечения  $S_{hw}$  (площади айсберга по ватерлинии) надводной части айсберга (рис 1). Для определения силы сопротивления воды необходимо задать площадь поперечного (вертикального) сечения подводной части айсберга  $S_{vw}$  (рис 1). Силы, обусловленные воздействием ледяного покрова и ветрового волнения, рассчитываются в зависимости от линейных размеров (длина  $L$  или ширина  $W$ ) айсберга (рис 1). И, наконец, сила воздействия грунта на айсберг зависит от глубины моря и осадки айсберга ( $D$ ) (рис 1). Таким образом, для выполнения прогностического или диагностического расчета дрейфа айсберга необходимо знать массу айсберга ( $M$ ), и следующие его геометрические параметры:  $L$ ,  $W$ ,  $D$ ,  $S_{va}$ ,  $S_{vw}$ ,  $S_{hw}$ .

Сейчас для обнаружения опасных ледяных объектов чаще всего используются спутниковые снимки в различных диапазонах электромагнитного спектра, которые позволяют моментально охватить большую акваторию, недоступную для обследования судном. Однако по спутниковым изображениям высокого разрешения можно оценить лишь горизонтальные линейные размеры айсберга. Следовательно, для задач айсбергового менеджмента (в том числе для использования модели дрейфа айсбергов в оперативном режиме) необходимо знать статистические закономерности, связывающие линейные размеры надводной части с другими параметрами айсберга (площадь лобового и касательного сопротивлений, глубина осадки, масса айсберга).



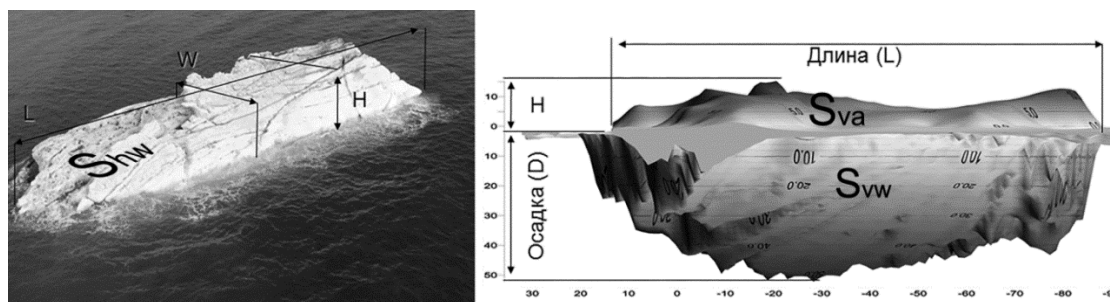


Рис. 1. Схема геометрических размеров айсберга.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) имеет базу данных айсбергов, обнаруженных в морях российской Арктики начиная с 1937 года по настоящее время. Источником информации для базы данных, как правило, служили судовые и авиационные ледовые разведки. Поэтому, большая часть базы данных содержит в себе информацию о координатах, времени обнаружения опасных ледяных объектов, типе айсберга и геометрических параметрах надводной части: длина, ширина, высота.

В нашей работе мы будем следовать такой же идеологии составления эмпирических соотношений массы и геометрии айсберга с данными линейных размеров, что и в работе [1]. Будем считать, что эмпирические соотношения, связывающие линейные размеры айсберга с массой или геометрии айсбергов, должны иметь совпадение физических размерностей: линейная связь для линейных измерений, квадратичная - для площадей, кубическая - для объемов. Такие зависимости можно выразить только степенной функцией вида

$$\hat{Y} = k \times L^n, \quad (1)$$

где  $\hat{Y}$  - восстанавливаемые значения параметра айсберга,  $k$  - искомый коэффициент, связывающий длину айсберга  $L$  с параметром  $\hat{Y}$ ;  $n=1$  - для линейных характеристик (ширина, высота, осадка),  $n=2$ , для квадратичных характеристик (площади различных сечений айсберга),  $n=3$  - для трехмерных характеристики объема и масса айсберга.

Найти формулу расчета значения коэффициентов  $k$  при заведомо известной функции можно с помощью метода наименьших квадратов:

$$k = \frac{\sum Y \times L^n}{\sum L^{2 \times n}}, \quad (2)$$

где  $Y$  и  $L$ , - известные из измерений параметры геометрии айсберга и длина айсберга. Оценками качества установленных зависимостей могут служить коэффициент детерминации ( $R^2$ ) и среднеквадратическая ошибка (RMSE).

Анализ информации из базы данных ААНИИ показал, что регрессионные соотношения между геометрическими характеристиками столообразных айсбергов резко отличаются от аналогичных соотношений других типов айсбергов. Это объясняется тем, что столообразные айсберги представляют собой правильные прямоугольные объекты с равномерным распределением длины и ширины по высотам и глубинам. Для столообразных айсбергов можно использовать простые соотношения для определения площадей, объемов и массы, и теоретические соотношения для оценки осадки. Теоритические соотношения между высотой и осадкой для других типов айсбергов, как правило, не соблюдаются.

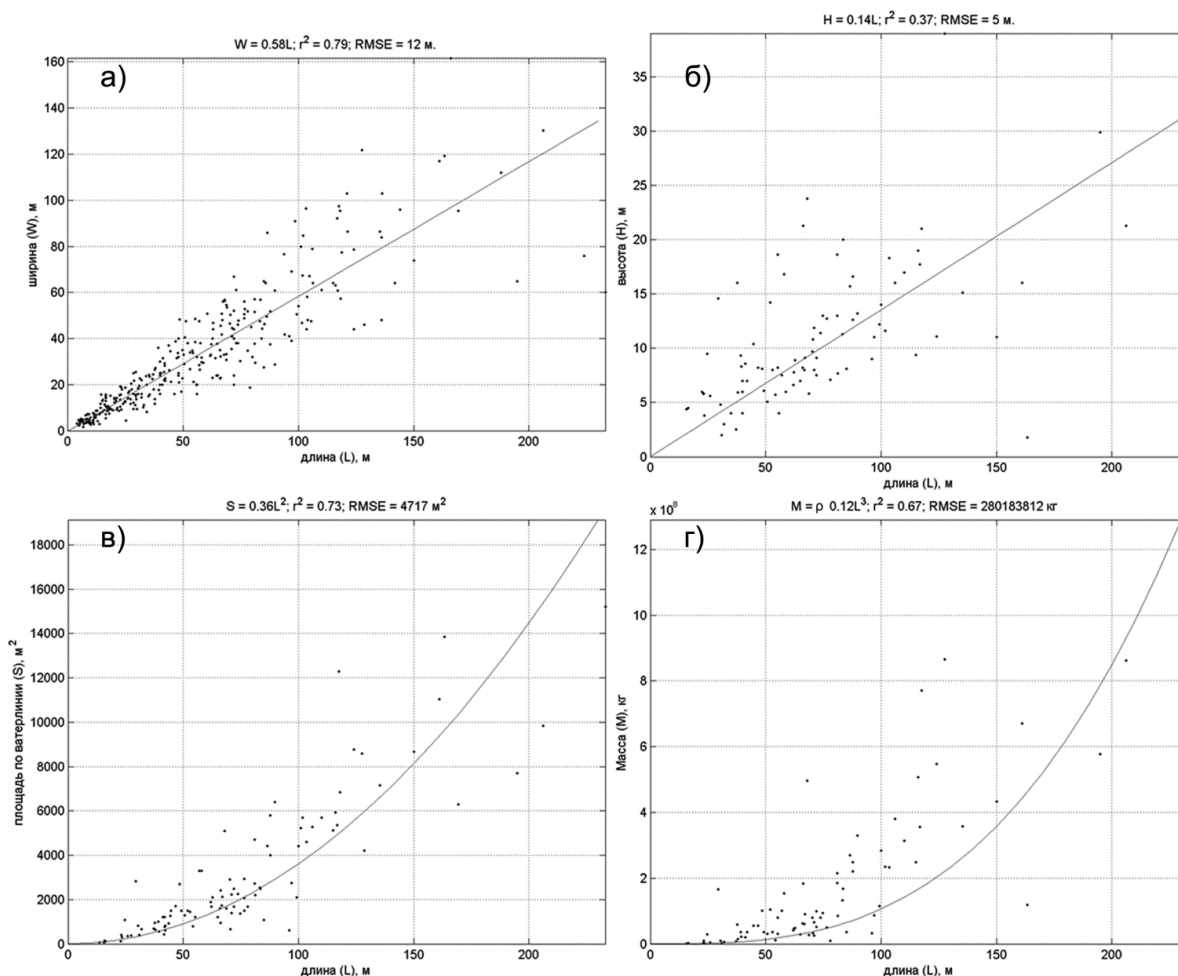


Рис. 2. Эмпирические зависимости, связывающие длину айсберга с шириной (а), высотой (б), площадью по ватерлинии (в) и массой айсберга (г).

В данной работе находятся соотношения геометрических характеристик для не столбовидных айсбергов. Используя массив данных геометрических размеров надводной части айсбергов по формуле (2) нам удалось получить следующие эмпирические соотношения. Ширина ( $W$ ) айсбергов в 1,7 раза меньше длины ( $L$ ):

$$W = 0.58 \times L \quad (3)$$

(коэффициент детерминации ( $R^2$ ) равен 0.79, среднеквадратическая ошибка (RMSE) составила 12 м) (рис. 2а). Регрессионное уравнение, связывающее длину ( $L$ ) и высоту ( $H$ ) айсберга

$$H = 0.14 \times L \quad (4)$$

имеет относительно низкий коэффициент детерминации ( $R^2=0.37$ ) при RMSE = 5 м (рис. 2 б). Это связано с тем, что под высотой айсберга подразумевается расстояние от водной поверхности до наиболее высокой точки айсберга (рис 1). Соответственно, зависимость между  $L$  и  $H$  существенно варьируется в зависимости от формы (типа) айсберга. Для задач айсбергового менеджмента более важна не максимальная высота ( $H$ ), а средняя высота айсберга ( $H_s$ ), так как, зная горизонтальные линейные размеры айсберга и среднюю высоту можно оценить площадь лобового сопротивления айсберга  $S_{va}$ .

Регрессионное уравнение

$$H_s = 0.42 \times H, \quad (5)$$

связывающее максимальную высоту айсберга ( $H$ ) и среднюю высоту айсберга ( $H_s$ ), имеет достаточно высокие оценки качества аппроксимации ( $R^2=0.73$ , RMSE=1 м). Эмпирические соотношения, связывающие длину ( $L$ ) и среднюю высоту ( $H_s$ ) айсберга, а значит и площадь лобового сопротивления  $S_{va}$ , имеют вид:

$$H_s = 0.06 \times L \quad (R^2=0.35, \text{RMSE}=2 \text{ м}), \quad (6)$$

$$S_{va} = 0.06 \times L^2 \quad (7)$$

Помимо лобового (нормального) воздействия на айсберг, ветер оказывает воздействие по касательной. Для учета этой силы необходимо знать горизонтальную площадь айсберга по ватерлинии ( $S_{hw}$ ), которая является функцией горизонтальных размеров надводной части айсберга ( $L$  и  $W$ ). Регрессионное уравнение, связывающее длину ( $L$ ) и площадь  $S_{hw}$  имеет вид (рис 2в):

$$S_{hw} = 0.36 \times L^2 \quad (R^2=0.73, \text{RMSE}=4717 \text{ м}^2) \quad (8)$$

Зная геометрические размеры надводной части айсберга, можно оценить ее объем  $V_a$ :

$$V_a = 0.01 \times L^3 \quad (R^2=0.67, \text{RMSE}=34544 \text{ м}^3), \quad (9)$$

а зная объем надводной части  $V_a$  можно по теоретическим соотношениям найти объем подводной части  $V_w$ , суммарный объем айсберга  $V=V_a+V_w$  и массу айсберга  $M=V \times \rho$ , где  $\rho$  - плотность льда. По нашим данным регрессионное уравнение, связывающее длину ( $L$ ) и массу ( $M$ ) айсберга соответствуют виду

$$M = \rho \times 0.12 \times L^3 \quad (R^2=0.67, \text{RMSE}=280183312 \text{ кг}) \quad (10)$$

В базе данных ААНИИ есть также единичные измерения осадки айсбергов. Предварительные оценки показали, что осадка не столообразных айсбергов в среднем в 4 раза больше высоты айсберга:

$$D = 4,0 \times H, \quad D = 0,6 \times L \quad (11)$$

Эти соотношения похожи на уравнения, полученные в работах [1], [2] для гренландских айсбергов:  $D = 0,7 \times L$ ,  $D = 2,91 \times L^{0,71}$ ,  $D = 3,9 \times L^{0,63}$ ,  $D = 1,95 \times L^{0,79}$  и  $D = 3,781 \times L^{0,63}$ . Что косвенно подтверждает наши предварительные оценки.

## Литература

1. Barker A., Sayed M., Carrieres T. Determination of iceberg draft, mass and cross-sectional areas. // Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference. 2004. 899-904 pp.
2. Singh S., Green S., Ennis T., Comfort C., Davidson, L. PERD Iceberg Database for the Grand Banks Region. Submitted to the Program on Energy Research and Development by Fleet Technology Ltd., in association with Agra Seaborne Ltd. PERD/CHC Report. 1998. 20-36 pp.

*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».*

*This work was supported by the RFBR grant 18-05-60109 “Study of the formation and evolution of dangerous ice phenomena and ice formations in the Arctic under current climate change”.*

## ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ И КЛИМАТ

В.Н. Малинин<sup>1</sup>, С.М. Гордеева<sup>1</sup>, Л.М. Наумов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## GREENHOUSE EFFECT AND CLIMATE

V.N. Malinin<sup>1</sup>, S.M. Gordeyeva<sup>1</sup>, L.M. Naumov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Показано, что влагосодержание атмосферы через парниковый эффект оказывает существенное влияние на изменчивость температуры воздуха, поэтому его следует рассматривать как климатообразующий фактор, который играет заметную роль в формировании современного глобального потепления.*

*It has been shown that as the total precipitable water has a significant effect on variability of the air temperature through the greenhouse effect, it should be regarded as a climate forcing, playing a significant role in formation of the modern global warming.*

Атмосферный водяной пар является основным парниковым газом. Его вклад в парниковый эффект (ПЭ) по современным данным оценивается в 50 %, вклад облачности – в 25 %, вклад CO<sub>2</sub> – только в 20 %. Оставшиеся 5 % приходятся на долю других парниковых газов [1]. В общем случае парниковый эффект можно представить суммой природной и антропогенной компонент, т.е. ПЭ = ПЭ<sub>прир</sub> + ПЭ<sub>антр</sub>. Естественный ПЭ вызван рядом природных факторов, в частности процессами крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и извержениями вулканов, в результате чего в атмосферу выбрасывается значительное количество углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и других парниковых газов. Антропогенный ПЭ обусловлен выбросами в атмосферу CO<sub>2</sub> и других газов за счет различных видов человеческой деятельности. Вследствие сильной турбулентности и значительных скоростей движения воздушных масс происходит быстрое перемешивание различных атмосферных примесей, в том числе парниковых газов различного происхождения. Полное перемешивание в атмосфере в глобальном масштабе оценивается примерно неделей. Очевидно, что в настоящее время *корректное разделение ПЭ на естественную и антропогенную компоненту вряд ли возможно* [2]. Однако, по мнению экспертов МГЭИК, антропогенный ПЭ доминирует. Главный аргумент – экспоненциальный рост выбросов в атмосферу углекислого газа, который создает ПЭ. Благодаря ПЭ происходит рост температуры воздуха, которая в результате наличия положительной обратной связи с водяным паром вызывает повышение его содержания в атмосфере.

В качестве доказательства, что водяной пар является лишь ключевым следствием, но не причиной процесса глобального потепления, делается ссылка на уравнение Клаузиуса-Клапейрона (УКК), которое связывает насыщающую упругость водяного пара с температурой воздуха. Из этого уравнения следует, что при повышении средней глобальной температуры воздуха (14 °C) на 1 градус насыщающая упругость водяного пара повышается на 6,5 %. Но в действительности УКК является чисто термодинамическим и не описывает реальную атмосферу. Кроме того, насыщающая упругость водяного пара – это не эквивалент влагосодержания атмосферы (ВА). В общем случае формирование ВА происходит в результате вертикального влагообмена атмосферы с океанической поверхностью, который можно представить в виде уравнения [3]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \operatorname{div} F = E - P, \quad (1)$$

где  $W$  – влагосодержание атмосферы,  $F$  – вертикально-интегрированный горизонтальный полный поток водяного пара,  $E - P$  – эффективное испарение. Величина  $\operatorname{div} F$ , исходя из теоремы Остроградского-Гаусса, интерпретируется как разность между выносом атмосферной влаги за пределы рассматриваемой территории и ее вносом вглубь этой территории. Если рассматривать Мировой океан в целом, то  $\operatorname{div} F$  означает результирующий вынос водяного пара с океана на континенты. При осреднении данного уравнения для земного шара  $\operatorname{div} F = 0$ .

Итак, изменения ВА в соответствии с уравнением глобального атмосферного баланса влаги определяются исключительно разностью глобальных величин испарения и осадков или, в первом

приближении, разностью испарения и осадков над Мировым океаном. Именно это игнорируется экспертами МГЭИК.

Обратимся к анализу линейных трендов компонентов влагообмена глобальной системы океан-атмосфера совместно с температурой воздуха приземного слоя и температурой поверхностного слоя воды (ТПО). Предварительно тренды приведены к безразмерному виду путем расчета его индекса  $I_{тр} = 100a_1n/X_{cp}$  [4], где  $a_1$  – угловой коэффициент,  $n$  – длина временного ряда,  $X_{cp}$  – среднее значение тренда. Индекс тренда – некий аналог коэффициента вариации, используемого для сравнения изменчивости характеристик, имеющих разную размерность.

Таблица 1. Оценки уравнений трендов, оценки коэффициентов детерминации и индекса тренда для характеристик глобальной системы океан-атмосфера за период 1988–2016 гг.

Характеристика	Уравнение тренда	Коэффициент детерминации	Индекс тренда, %
ВА	$0,057 t + 27,09$	$R^2 = 0,82$	5,91
ТВ	$0,018 t + 16,74$	$R^2 = 0,72$	3,07
ТПО	$0,017 t + 17,19$	$R^2 = 0,71$	2,83
Е	$0,286 t + 132,8$	$R^2 = 0,51$	6,05
Р	$0,403 t + 122,7$	$R^2 = 0,58$	9,08
Е-Р	$-0,116 t + 10,12$	$R^2 = 0,62$	40,1

Из таблицы 1 видно, что максимальный коэффициент детерминации отмечается для ВА, а наименьший – для испарения. Если даже не принимать во внимание эффективное испарение, для которого большая величина  $I_{тр}$  в определенной степени обусловлена малым средним значением, то индекс тренда максимален для осадков (9.0%), почти одинаков для испарения и влагосодержания (6.0 и 5.9 %) и минимален для ТПО и ТА (2.8 и 3.1 %). По сути это означает, что долговременные (трендовые) изменения ВА зависят, прежде всего, от вертикального влагообмена океана с атмосферой, а не от глобального потепления.

Обратимся теперь к рис. 1, на котором дается более подробный анализ динамики индексов тренда для ВА и ТВ [2]. До 2012 года расхождение между ними практически постоянно и равно 2,1 %. Однако в последние 4 года в результате ускорения роста ВА индекс тренда начинает повышаться более быстрыми темпами по сравнению с индексом тренда для ТВ, вследствие чего расхождение достигает 2,8 %. Кроме того, повышение индекса тренда для ВА начинается с 2013 года, а для ТВ – с 2014 года, т.е. именно ускорение роста ВА стимулирует ускорение роста ТВ, а не наоборот. Очевидно, что такое повышение тренда во влагосодержании атмосферы не может быть обусловлено температурой воздуха. Поэтому вполне определенно можно утверждать, что долговременные (трендовые) изменения ВА зависят преимущественно от вертикального влагообмена океана с атмосферой, а не от глобального потепления.

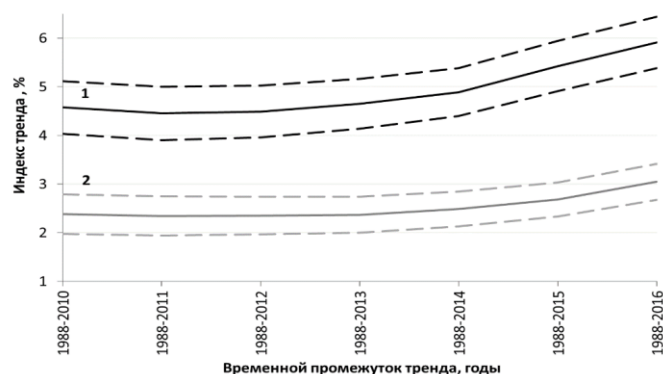


Рис. 1. Межгодовая изменчивость индексов тренда влагосодержания атмосферы (1) и температуры воздуха (2) над Мировым океаном с 1988–2010 гг. по 1988–2016 гг. Пунктирными линиями отмечены стандартные ошибки оценки тренда.

На рис. 2 приводится межгодовой ход ВА и эффективного испарения ( $E-P$ ) для Мирового океана за период 1988–2016 гг. Из рис. 2 видно, что эффективное испарение имеет сильный отрицательный тренд ( $Tr = -0,75$  мм/10 лет). Согласно тренду, оно уменьшилось за рассматриваемый период на 3,3 см. ВА за этот же период увеличилось на 1,6 мм. Отсюда следует, что долговременные изменения ВА могут быть обусловлены только изменениями компонентов влагообмена океана с атмосферой и не связаны с глобальной температурой воздуха. Однако в действительности оба процесса влияют на изменения ВА одновременно. И поскольку полное обновление водяного пара в атмосфере происходит примерно за 8 суток, то разделить их вклад в дисперсию ВА практически нереально.

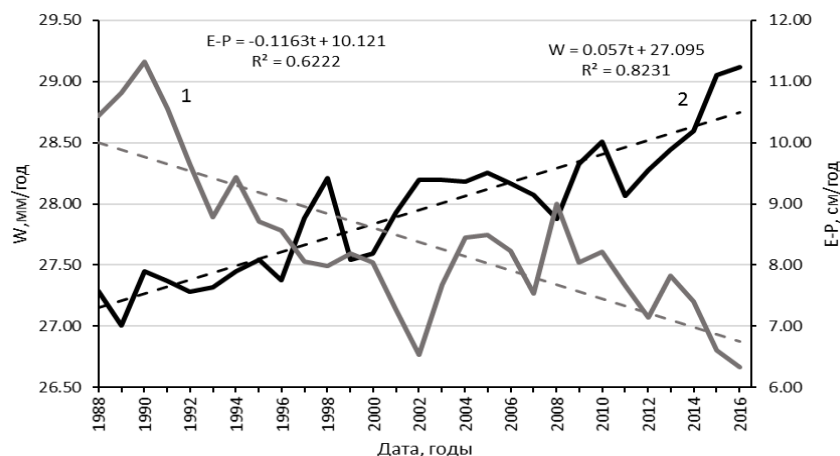


Рис. 2. Межгодовой ход эффективного испарения (1), см/год, и влагосодержания атмосферы (2), мм/год, над Мировым океаном за 1988-2016 гг.

Итак, полученные результаты полностью опровергают вывод экспертов МГЭИК [5] о том, что «...увеличение концентрации водяного пара является ключевым следствием, но не причиной процесса глобального потепления и, следовательно, полностью обусловлено положительной обратной связью между ними». В действительности, ВА следует рассматривать как климатообразующий фактор, который играет заметную роль в формировании современного глобального потепления.

### Литература

1. Schmidt G. A., Ruedy R. A., Miller R. L., Lacis A. A., Attribution of the present-day total greenhouse effect, *J. Geoph. Res.*, 2010, Vol. 115, No. D20, pp. 2156-2202.
2. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М. Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 243–251.
3. Малинин В.Н. Влагообмен в системе океан-атмосфера. Л.: Гидрометеоиздат, 1994. 197 с.
4. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Изменчивость влагосодержания над океаном по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1. С. 3-11.
5. IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

## О ПОТЕПЛЕНИИ АРКТИКИ 20-40-Х ГОДОВ

В.Н. Малинин<sup>1</sup>, П.А. Вайновский<sup>1</sup>, Ю.В. Митина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ABOUT THE WARMING OF THE ARCTIC OF THE 20-40S

V.N. Malinin<sup>1</sup>, P.A. Vaynovsky<sup>1</sup>, Yu. V. Mitina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Показано, что процесс потепления проходил неодинаково в Американском и Евразийском регионах Арктики, причем он был обусловлен разными факторами, совокупность которых действовала однонаправлено в сторону усиления процесса потепления.*

*It is shown that the process of warming was happening differently in American and Eurasian Arctic, it being caused by various factors which together acted unidirectionally to enhance the process of warming.*

В историю климата 20-40-годы прошлого столетия вошли как «потепление Арктики». Действительно, именно в северных широтах потепление было максимально выражено. Несмотря на то, что прошло почти сто лет, причины данного потепления до сих пор не выяснены [1]. Более того, по мнению авторов работы [2] «арктическое потепление 1920-1940 гг. является одной из самой загадочной климатической аномалией 20-го века». Однако, не вызывает сомнений, что оно было обусловлено естественными причинами [3] и не связано с антропогенной деятельностью. Цель данной работы – оценка интенсивности первого потепления Арктики в ее различных районах и выявление факторов, его формирующих.

В настоящее время известно несколько десятков архивов характеристик климатической системы за продолжительные многолетние периоды времени. Однако количество их пока не перешло в качество. Расхождения в данных различных архивов для Арктики, как правило, являются максимальными по сравнению с другими регионами, причем меняются как по пространству, так и во времени. Наиболее привлекательным для Арктики является разработанный в NASA Goddard Institute of Space Science (NASA GISS) уникальный проект Berkeley Earth Surface Temperature (BEST). Уникальность его состоит в том, что был создан объединенный архив данных, объединяющий 1,6 миллиарда отчетов о температуре воздуха из 16 существующих архивов данных только для поверхности Земли. Методология и алгоритмы обработки данных и контроля их качества на всех этапах описана в [4].

Для выполнения расчетов в Арктике было отобрано 12 районов, расположенных севернее 60° с.ш., которые были сгруппированы на два региона по принципу их географической близости. Евразийский регион состоит из 7 районов: Шпицберген, Исландия, Норвегия, Таймыр, Ямал, Якутия, Чукотка. Американский регион состоит из 5 районов: Аляска, Юкон, Нунавут, Северные территории Канады, Гренландия. Из них 4 района относятся к России, 3 – к Канаде. Самый маленький район – о. Шпицберген, самый крупный – Северные территории Канады. Для каждого из этих районов в архиве BEST выполнено усреднение температуры воздуха по имеющимся первичным данным.

На рис. 1 представлен межгодовой ход аномалий средней годовой температуры воздуха, осредненной для широтной зоны 64–90°с.ш. за период 1900–2014 гг. Нетрудно видеть, что на графике отчетливо проявляются два ярко выраженных потепления. Первое начинается в 1919 году, заканчивается в 1938 году, второе и более длительное начинается в 1979 году и заканчивается в 2011 году. В табл. 1 даны статистические характеристики этих потеплений. Градиент определялся как амплитуда потепления, деленная на его продолжительность, а вклад тренда в дисперсию – по коэффициенту детерминации. Как следует из таблицы 1 первое потепление даже несколько сильнее второго: градиент и величина тренда для него выше.

Таблица 1. Статистические характеристики потеплений средней годовой температуры воздуха в широтной зоне 64–90° с.ш. по данным архива BEST

Потепление	Начало	Конец	Амплитуда, °С	Градиент, °С/год	Тренд, °С/год	Вклад тренда в дисперсию, %
Первое	1919	1938	2.28	0.12	0.065	0.52
Второе	1979	2011	2.72	0.08	0.059	0.64

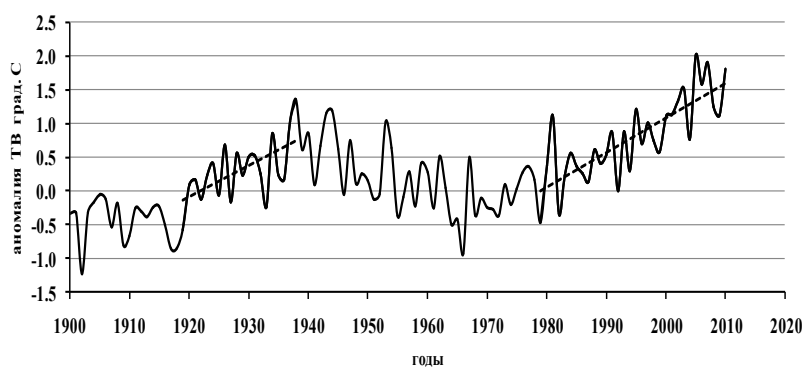


Рис. 1. Межгодовой ход аномалий средней годовой температуры воздуха осредненной для широтной зоны 64–90° с.ш. за период 1900–2014 гг.

Обратимся теперь к оценке первого потепления для Арктики (таблица 2). Начинается и заканчивается оно примерно в одно и то же время круглый год. Однако интенсивность его резко различается. Особенно ярко потепление проявляется зимой. Из табл. 2 видно, что оценка тренда зимой в 3 раза выше, чем летом. Зона максимальной зимней интенсивности потепления простиралась по всей территории Сибири от Ямало-Ненецкого округа до Чукотки. Средний градиент температуры здесь составлял 0,55–0,59 °С/год, а максимальный тренд достигал 0,22°С/год на Таймыре и 0,20 °С/год в Ямало-Ненецком округе. Очаги потепления для годовых интервалов времени в основном отражают зимние условия и значительно хуже летние. Корреляция годовых и зимних значений ТВ составляет  $r=0,85$ .

Таблица 2. Статистические характеристики средней годовой температуры воздуха Арктики, осредненные для 12 районов севернее 60 с.ш. за период потепления

Период	Начало	Конец	Амплитуда, °С	Градиент, °С/год	Тренд, °С/год	Вклад тренда в дисперсию, %
Год	1916	1938	3.47	0.16	0.064	0.30
Лето	1916	1937	2.82	0.16	0.048	0.15
Зима	1917	1936	7.67	0.42	0.147	0.25

На рис. 2 представлен межгодовой ход 3-летней скользящей средней осредненной температуры воздуха отдельно для Америки (5 районов) и Евразии (7 районов). На рис. 2 видно, что есть существенные различия в росте ТВ в Северной Америке и Евразии, то есть потепление в них проходило неодинаково. В Евразии потепление началось в 1917 г., т.е. на 2 года раньше чем в Америке и раньше закончилось (1936 г.). В Америке оно продолжалось до 1942 г. Наиболее важной особенностью потепления является то, что оно проходило в 2 этапа. Очень ярко это проявилось в Америке, где первый этап отмечался в течение 1919–1928 гг., затем к 1934 г. произошло интенсивное падение температуры почти на 1 °С. После этого начался второй этап потепления с не менее интенсивным ростом ТВ. В Евразии наблюдалось существенно более слабое падение ТВ в течение 1922–1927 гг. на 0,4 °С. Такие существенные расхождения в ТВ между этими регионами заметно сказываются на величине статистической связи. Корреляция между ТВ в Америке и Евразии ( $ТВ_{AM}$  и  $ТВ_{ЕВ}$ ) составляет  $r=0,33$ , причем после удаления



линейного тренда она становится даже отрицательной  $r=-0,57$ . Это означает, что процесс потепления в указанных регионах в значительной степени вызван разными факторами.

Попытки объяснить данное потепление 60-летним циклом [5] не увенчались успехом, ибо в работе [6] было показано, что он является лишь случайным колебанием, которое может неожиданно возникнуть и также неожиданно исчезнуть. В работе [7] с помощью спектрального анализа данных температуры воздуха внетропической части северного полушария за последние две тысячи лет было установлено отсутствие значимого цикла в диапазоне 50–70 лет. Очевидно, потепление в Арктике вызвано в основном совокупностью региональных факторов, которые действовали однонаправленно в сторону усиления процесса потепления.

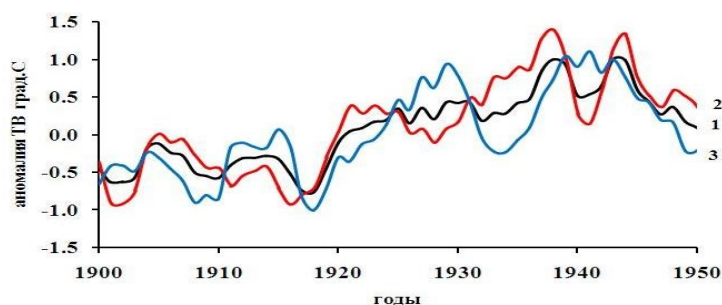


Рис. 2. Межгодовой ход 3-летней скользящей средней осредненной температуры воздуха по 12 районам Арктического бассейна (1), для Евразии (2) и Америки (3).

Перечислим вначале основные факторы, которые могут влиять на потепление в Евразийском регионе Арктики: Арктическое колебание (АК), атлантическая мультидекадная осцилляция (АМО), североатлантическое колебание (САК), атмосферная циркуляция в виде форм циркуляции W, E и C, характеристики Исландского минимума давления (давление в центре и пространственные миграции), ледовитость Баренцева моря (СБМ).

Детальный анализ указанных характеристик показал, что перед началом потепления (1916–1917 гг.) сложилась следующая гидрометеорологическая ситуация. Отмечалась ярко выраженная зональная циркуляция, о чем свидетельствуют положительные аномалии зональной формы циркуляции W и отрицательные аномалии формы E. Индекс АК имел экстремально отрицательное значение, что соответствует максимальному развитию арктического антициклона (АА), экстремально высокой ледовитости и экстремально низкой ТВ. Развитию АА также способствовало экстремально южное положение центра ИМД. Одновременно отмечались положительные значения САК и отрицательные значения АМО, т.е. почти вся акватория СА была занята отрицательными аномалиями ТПО.

Корреляционный анализ среднегодовых аномалий температуры воздуха в Евразии ( $ТВ_{ЕВ}$ ) с климатическими характеристиками показал, что наиболее высокая корреляция отмечается с СБМ ( $r=-0,78$ ), с АМО ( $r=0,61$ ) и с АК ( $r=0,58$ ). Следует отметить сложный характер формирования потепления в Евразии. Возможно, он происходил следующим образом. Начиная с 1918 года, когда отмечался абсолютный минимум АК, начинается его резкий рост, который заметно сильнее роста ТВ. Этот рост заканчивается в 1923 году. Одновременно происходил стремительный рост САК и быстрое смещение к северо-востоку ИМД с 1918 г. до 1923 г., вследствие чего арктический антициклон значительно ослабевал, ТВ повышалась, а ледовитость в СЕБ и особенно в Баренцевом море уменьшалась. Именно АК, САК и ИМД «тащат» Арктику в потепление до 1923 г., причем главенствующую роль в этом играет ИМД. Далее в процесс потепления включается АМО, так как температура воды Северной Атлантики резко повышается с 1924 г. до 1933 г. и остается очень теплой минимум до 1945 г. Главным фактором такого влияния может служить адвекция теплой воды на север в системе теплого Североатлантического течения. Косвенным свидетельством этого является наличие высокой корреляции ТПО в Норвежском и Баренцевом морях с  $ТВ_{ЕВ}$ . Одновременно происходит перестройка атмосферной циркуляции. Зональная форма W начинает ослабевать с 1924 года до 1936 г., а меридиональная форма E, наоборот, растет. Индекс САК постепенно уменьшается с 1923 года до 1936 года, но переходит в отрицательную фазу только в 1932 году. Это означает то, что они совместно

уменьшают зональный перенос в умеренных широтах, вызывают интенсификацию циклонов в северо-восточном направлении и усиление адвекции теплых атлантических вод в Баренцево море, в котором вследствие этого уменьшается ледовитость и растет температура воды моря. При этом в Арктике происходит уменьшение давления, ослабевает полярный антициклон, что также способствует потеплению.

В Американском регионе Арктики на потепление могут влиять следующие факторы: тихоокеанский/североамериканский индекс (Pacific/North American Pattern, PNA), Северотихоокеанское колебание (North Pacific oscillation, NPO), тихоокеанское декадное колебание (Pacific decadal oscillation, PDO), Арктическое колебание, формы атмосферной циркуляции  $Z$ ,  $M_1$  и  $M_2$  и даже САК, при положительной фазе которого происходит усиление северных ветров на море Лабрадор, что вызывает похолодание в северо-восточной Канаде. Корреляционный анализ среднегодовых аномалий температуры воздуха в Американском регионе ( $T_{BAM}$ ) с климатическими характеристиками показал, что наиболее высокая корреляция отмечается с NPO ( $r=-0,77$ ), с PNA ( $r=0,69$ ), с PDO ( $r=0,68$ ) и с  $M_1$  ( $r=-0,60$ ). Совокупное действие этих разнонаправленных факторов привело к потеплению на севере Американского континента. При этом, как будет показано ниже, наибольший вклад в процесс потепления вносит тепловое состояние северной части Тихого океана, которое характеризуется индексом PDO.

Для сглаженных по трехлетиям годовых значений  $T_{BEB}$  и  $T_{BAM}$  были построены модели множественной линейной регрессии с определяющими факторами. С помощью пошаговой процедуры методом включения переменных была построена оптимальная модель межгодовых колебаний  $T_{BEB}$  за 1917-1937 гг., содержащая 4 переменных. В стандартизированном виде ее можно представить как

$$Z_{\Delta T_{BEB}} = -0,680Z_{S(BM)} + 0,098Z_E + 0,238Z_{AMO} + 0,471Z_{AK} \quad (1)$$

Коэффициент детерминации данной модели  $R^2=0,87$ , стандартная ошибка  $\Delta T_{BEB}$  составляет  $0,17^\circ\text{C}$  при стандартном отклонении  $\sigma=0,48^\circ\text{C}$ . Модель значима по критерию Фишера, а все предикторы значимы по критерию Стьюдента. Наименее точно значения  $\Delta T_{BEB}$  воспроизводятся за 1928, 1929, 1933 гг. Зная коэффициенты корреляции  $\Delta T_{BEB}$  с переменными в формуле (1), нетрудно оценить непосредственный вклад разных факторов в коэффициент детерминации:

$$R^2 = 0,43 + 0,04 + 0,14 + 0,26 = 0,87 \quad (2)$$

Итак, половина дисперсии рассчитываемых значений  $\Delta T_{BEB}$  зависит от ледовитости в Баренцевом море, другая половина – от АК, АМО и Е. Но поскольку ледовитость с высокой точностью определяется температурой воды ( $TW$ ) на Кольском разрезе и АК, то получаем совокупность четырех факторов, наилучшим образом описывающих первое потепление в Евразии: два океанических фактора (АМО и  $TW_{KP}$ ) и два атмосферных фактора (АК и форма Е).

В оптимальную регрессионную модель для  $\Delta T_{BAM}$  вошли 4 переменные (NPO, PDO,  $M_1$  и АК). Коэффициент детерминации этой модели  $R^2=0,81$ , стандартная ошибка  $\Delta T_{BAM}$  составляет  $0,27^\circ\text{C}$  при стандартном отклонении  $\sigma=0,55^\circ\text{C}$ . Хотя эта модель несколько хуже по сравнению с моделью для  $\Delta T_{BEB}$ , тем не менее, она хорошо описывает межгодовую изменчивость  $\Delta T_{BEB}$ . В стандартизированной форме она имеет вид:

$$Z_{\Delta T_{BAM}} = -0,25Z_{NPO} + 0,38Z_{AK} + 0,59Z_{PDO} - 0,15Z_{M1} \quad (3)$$

Отсюда получаем следующий вклад разных факторов в коэффициент детерминации:

$$R^2 = 0,19 + 0,13 + 0,40 + 0,09 = 0,81 \quad (4)$$

Нетрудно видеть, что половина вычисленной дисперсии  $\Delta T_{BAM}$  описывается тепловым состоянием воды в северной части Тихого океана, а другая половина – атмосферными факторами.

## Литература

1. Семенов В.А. Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера-арктические льды-океан // Фундаментальная и прикладная климатология, 2015, №1, С.231-248.
2. Bengtsson L., Semenov V.A., Johannessen O.M., 2004: The Early Twentieth-Century Warming in the Arctic – a Possible Mechanism. J. Climate, 17, 4045-4057.
3. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. №2 (6), 2012. С.66-79.
4. Robert Rohde, Richard A. Muller, et al. (2013) *Berkeley Earth Temperature Averaging Process*. Geoinfor Geostat: An Overview 1:2. doi:10.4172/gigs.1000103.

5. Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова, евразийских арктических морей и их возможные причины // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 6. С. 5–14.
6. Малинин В.Н., Гордеева С.М. О современных изменениях глобальной температуры воздуха // *Общество. Среда. Развитие*. 2011. № 2. С. 215–221.
7. Вайновский П.А., Малинин В.Н., Митина Ю.В. Статистический анализ температуры воздуха северного полушария за последние две тысячи лет // *Ученые записки РГГМУ*. 2015. №45, С. 169-179.

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ АГУЛЬЯССКОГО ТЕЧЕНИЯ НА МЕРИДИОНАЛЬНУЮ ТЕРМОХАЛИННУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ

А.А. Мальшева<sup>1</sup>, А.В. Колдунов<sup>1</sup>, Т. В. Белоненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## THE EFFECTS OF AGULHAS VARIABILITY ON THE MERIDIONAL THERMOHALINE CIRCULATION

A.A. Malysheva<sup>1</sup>, A.V. Koldunov<sup>1</sup>, T.V. Belonenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Агульясов перенос относится к водам, экспортируемым из Индийского океана в Атлантический системой течений Агульяс. Анализируются мезомасштабные вихри, сформированные в районе Agulhas Retroflexion по данным массива Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH. Рассматриваются вихри, зарегистрированные в районах, относящихся к Агульясову переносу. Эти вихри переносят в Южную Атлантику аномалии температуры и солёности воды, влияя на термохалинную циркуляцию. Проанализированы треки долгоживущих мезомасштабных вихрей, которые вовлечены в Агульясов перенос, и рассмотрено изменение их числа для пяти районов, которые пересекаются вихрями по мере их продвижения на запад. Показано, что только шестая часть вихрей пересекает Атлантику и достигает берегов Южной Америки. Указанные оценки позволяют оценить величину Агульясова переноса: 21—27 Sv.*

*The Agulhas leakage refers to the waters exported from the Indian Ocean to the Atlantic from the Agulhas current. Mesoscale eddies formed in the area of Agulhas Retroflexion area according to the data of the Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH are analyzed. Eddies belonging to the Agulhas leakage found in five regions are considered. These eddies transfer warm and saline water anomalies to the South Atlantic, affecting global thermohaline circulation. The tracks of long-lived mesoscale eddies involved in the Agulhas leakage are analyzed and the variation of their number in five areas of interest is considered. Moving westward these eddies cross the Atlantic. It is shown that only a sixth part of eddies reach the shores of the South America. This approach makes it possible to determine the value of the Agulhas leakage: 21—27 Sv.*

### **Введение.**

Течение Агульяс — главный источник теплой и соленой воды, переносимой из Индийского океана в Атлантику. К югу от побережья Африканского континента, в районе 30—45° ю.ш., 10—35° в.д., оно совершает резкий разворот на восток, образуя петлю (разворот Агульяс) диаметром 340 км. В англоязычных источниках это явление получило название «Agulhas Retroflexion» [1].

Agulhas Retroflexion периодически формирует отдельные антициклонические ринги (кольца), которые состоят из теплых и соленых вод Индийского океана. Температура и солёность воды в них выше, чем в окружающих водах равной плотности, на 5 °С и 0,3 psu соответственно [2]. Перемещаясь со средней скоростью 12 см/с, ринги быстро распадаются, образуя вихри меньших масштабов (мезомасштабные вихри), которые сохраняют характерные свойства как минимум до 5° в.д. в западном направлении и до 46° ю.ш. в южном направлении [1].

Целью работы является оценка Агульясова переноса за период 1993—2015 гг. по данным спутниковой альтиметрии. Указанная цель достигается путем подсчета числа долгоживущих вихрей, переносящих характеристики вод Индийского океана на большие расстояния. Число долгоживущих вихрей, перемещающихся от места их генерации к берегам Южной Америки, обратно пропорционально пройденному расстоянию.

### **Описание данных.**

Использовались данные массива Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH (<http://wombat.coas.oregonstate.edu/eddies/>) за период 1993—2015 гг. 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 Williams et. al. [4].

В основу алгоритма заложено разделение анализируемого поля аномалий уровня на пиксели (квадраты со стороной 0,25°) и последующее выделение на их основе мезомасштабных вихрей.

### Методы и результаты.

Для анализа Агульсова переноса было выбрано пять районов (рис. 1). Первый район находится в пределах области  $0—45^\circ$  ю.ш.,  $30^\circ$  з.д.—  $40^\circ$  в.д. Выбор данного района обусловлен исследованием [5], где анализируется общая вихревая динамика региона, включая вихри Агульса, которые впоследствии вовлекаются в Агульсов перенос. Вторым районом, расположенным в пределах области  $30—45^\circ$  ю.ш.,  $10—35^\circ$  в.д., — это район Agulhas Retroflection, в котором непосредственно зарождаются вихри Агульсова переноса. Третий район ( $30—45^\circ$  ю.ш.,  $5—10^\circ$  в.д.) примыкает к району Agulhas Retroflection и характеризует число вихрей, которые покинули район формирования. Большая часть из них под влиянием  $\beta$ -эффекта распространяется в западном направлении. Именно эти вихри участвуют в переносе свойств вод Индийского океана в Атлантический. Четвертый район ( $20—35^\circ$  ю.ш.,  $15—20^\circ$  з.д.) демонстрирует число долгоживущих вихрей Агульсова переноса, достигших центральной части Южной Атлантики. И, наконец, пятый район ( $20—35^\circ$  ю.ш.,  $30—35^\circ$  з.д.) характеризует число долгоживущих вихрей, которые достигли западной части Южной Атлантики.

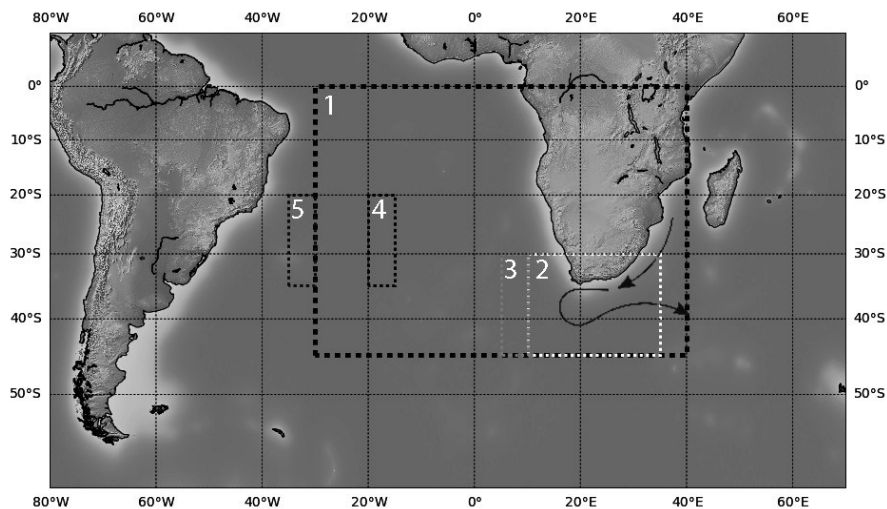


Рис. 1. Районы исследования (указаны цифрами 1-5).

Для каждого из пяти районов мы составили временные ряды (месячное осреднение), характеризующие число мезомасштабных вихрей, выделенных методом автоматической идентификации.

Агульсов перенос составляют вихри, которые, образуясь в районе Agulhas Retroflection, впоследствии перемещаются на запад (северо-запад) и пересекают Атлантический океан. Поскольку скорость дрейфа мезомасштабных вихрей составляет несколько см/с, вихри с небольшой продолжительностью жизни диссипируют раньше, чем они пройдут необходимое расстояние, чтобы достичь западной части Южной Атлантики. Поэтому мы рассматриваем только долгоживущие вихри, продолжительность жизни которых превышает один год.

Для дальнейшего анализа нами были построены треки движения вихрей, образованных в районе Agulhas Retroflection. На рис. 2 показаны треки вихрей с продолжительностью жизни один, два и три года. Видно, что долгоживущие вихри Агульсова течения, перемещаясь в западном направлении, пересекают Атлантический океан и тем самым переносят свойства вод Индийского океана к берегам Южной Америки. Заметим, что число вихрей с продолжительностью жизни более трех лет существенно уступает числу вихрей с продолжительностью жизни более двух лет, которое, в свою очередь, меньше числа вихрей с продолжительностью жизни более одного года. Средний диаметр вихрей, участвующих в Агульсовом переносе, составляет 165,5 км, максимальный — 366,9 км, а минимальный — 26,4 км

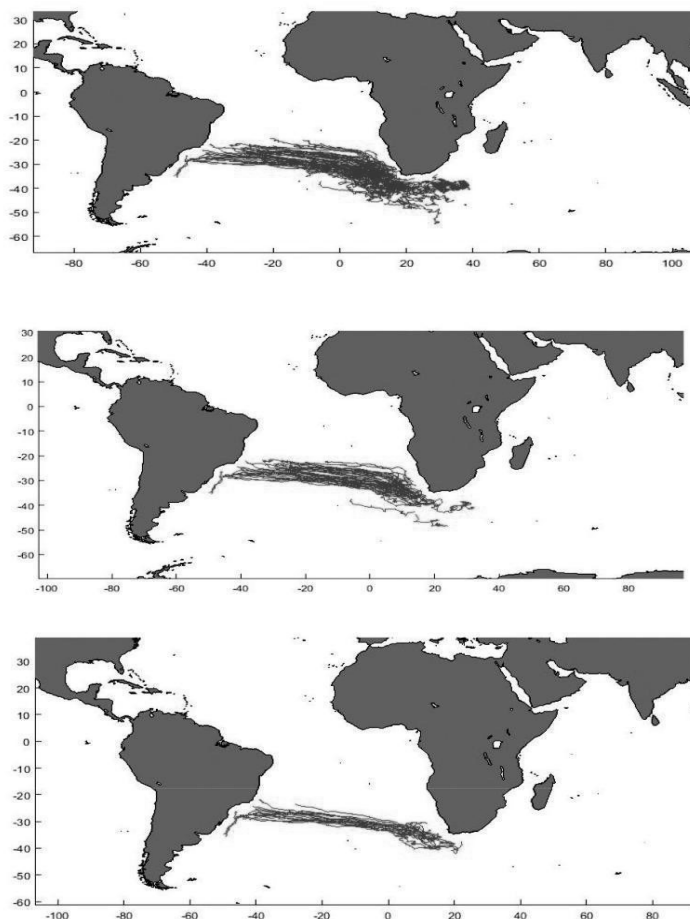


Рис. 2. Треки мезомасштабных вихрей с продолжительностью жизни не менее одного года (а), двух лет (б) и трех лет (в).

Проанализируем изменчивость числа мезомасштабных вихрей в рассматриваемых районах. Временной ряд составляет 276 значений, соответствующих среднему числу вихрей за каждый месяц. Из рис. 3а видно, что число вихрей в районе 1 варьирует от 223 до 268. Изменчивость составляет приблизительно 17 % от общего числа вихрей. На вейвлет-диаграмме (рис. 3б) хорошо выделяются масштабы 1 и 3 года, а также промежуточные максимумы в диапазоне 2—3 года. Отметим, что рассматриваемая изменчивость существенно нестационарна.

Во втором районе среднее за месяц число вихрей варьирует от 28 до 41, в третьем – от 6,5 до 13.

За весь период (1993—2015 гг.) 89 вихрей с продолжительностью жизни более одного года пересекли район 3 (см. рис. 2). Именно эти вихри потенциально способны переносить на большие расстояния воды течения Агульяс. Район 4 пересекли только 40 вихрей, срок жизни которых превышал год (см. рис. 2). И всего лишь 20 вихрей с продолжительностью жизни более одного года, сформированные водами течения Агульяс (в районе 2), достигли берегов Южной Америки.

Из вышесказанного следует, что интенсивность Агульсова переноса на качественном уровне можно оценить по числу мезомасштабных вихрей в тот или иной период. Если исходить из того, что средний перенос одним вихрем составляет 3 Sv [6], то тогда для района 3 средняя оценка величины Агульсова переноса составляет 27 Sv, а для районов 4 и 5 — 21 Sv.

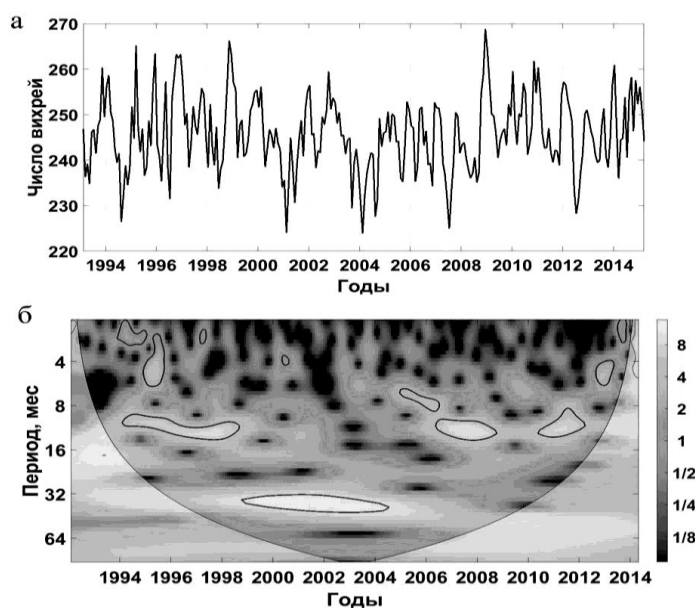


Рис. 3. Временная изменчивость числа мезомасштабных вихрей, выделенных в районе 1 методом автоматической идентификации за период 1993—2015 гг. (а) и вейвлет-анализ временного ряда (б). Использовались вейвлеты Морле. Более ярким цветом выделена область достоверности.

#### Выводы.

В настоящей работе были рассмотрены пять районов, относящихся к Агульсову переносу, и проанализированы треки мезомасштабных вихрей, сформировавшихся в районе Agulhas Retroflection и перемещающихся в западном направлении под влиянием  $\beta$ -эффекта. Будучи сформированными в водах Индийского океана, эти вихри переносят в Южную Атлантику аномалии тепла и солености, оказывая возможное влияние на меридиональную термохалинную циркуляцию. На основе массива Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH авторами настоящей работы было проанализировано, как изменяется число вихрей, участвующих в Агульсовом переносе. При этом рассматривались только те вихри, продолжительность жизни которых превышала один год. Было показано, что за 23-летний период (1993—2015 гг.) в районе Agulhas Retroflection сформировалось 126 вихрей, а затем их число последовательно уменьшалось: 89 вихрей в районе 3, 40 вихрей в районе 4 и 20 вихрей в районе 5. Таким образом, только шестая часть вихрей пересекает Атлантику и достигает берегов Южной Америки. Указанные оценки позволяют косвенно оценить величину Агульсова переноса за 23-летний период (1993—2015 гг.): для района 3 средняя оценка составляет 27 Sv, а для районов 4 и 5—21 Sv.

Для рассматриваемых районов проанализирована изменчивость числа вихрей и показано, что во всех рассмотренных случаях выделяется 2—3-летний масштаб колебаний, связанный, возможно, с квазидвухлетними циклами колебания атмосферных параметров. Для других масштабов изменчивость вихрей, очевидно, носит случайный характер. Вклад годовых колебаний проявляется только в отдельные годы и также не во всех районах; при этом имеется сходство вейвлет-диаграмм в районах 4 и 5, для которых наблюдается практически одинаковый диапазон изменчивости.

#### Литература

1. Lutjeharms J.R.E., van Ballegooyen R.C., 1988. The Retroflection of the Agulhas Current. *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1570—1583.
2. Gordon A. L., 1985. Indian—Atlantic transfer of thermocline water at the Agulhas Retroflection. *Science*, 227, 1030—1033.
3. Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R. M., 2011. Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Prog. Oceanogr.*, 91, 167—216.

4. Williams S., Petersen M., Bremer P.—T., Hecht M., Pascucci V., Ahrens J., Hlawitschka M., Hamann B., 2011. Adaptive extraction and quantification of geophysical vortices. *IEEE Transactions On Visualization and Computer Graphics*, 17(12), 2088—2095
5. Biastoch A., Böning C. W., Lutjeharms J. R. E., 2008. Agulhas leakage dynamics affects decadal variability in Atlantic overturning circulation. *Nature*, 456, 489—492.
6. Gordon A. L., Haxby W. F., 1990. Agulhas eddies invade the South Atlantic: Evidence From Geosat altimeter and shipboard conductivity-temperature-depth survey. *J. Geophys. Res.: Oceans*, 5(C3), 3117—3125.



## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

М.А. Мамаева<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## STATE AND PERSPECTIVES OF HYDROMETEOROLOGICAL EDUCATION

M.A. Mamaeva<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Приводится обзор развития системы гидрометеорологического образования в России. Представлены основные подходы и проекты новой инициативы стран-членов ВМО в области образования и подготовки кадров “Глобальный кампус ВМО”.*

*Review of the hydrometeorological education system in Russia is given. Approaches and projects of new initiative “WMO Global Campus” of the member-states are presented.*

После 30-х годов прошлого столетия в связи с интенсивным развитием производительных сил и освоением территорий резко увеличилась потребность в квалифицированных кадрах в области гидрометеорологии и океанологии. С целью подготовки таких специалистов были созданы первые в мире специализированные учебные заведения: Московский гидрометеорологический институт и Харьковский гидрометеорологический институт, которые во время ВОВ были переведены в г. Ленинград и г. Одессу соответственно, а также Московский, Ростовский, Владивостокский гидрометеорологические техникумы.

По некоторым данным [1], к 1970 году в пятнадцати ВУЗах гидрометеорологического профиля обучалось свыше 8000 студентов. Около 7500 человек обучалось в девяти техникумах, ведущих подготовку специалистов со средним специализированным образованием. Кроме того, повышение квалификации наблюдателей гидрометеорологической сети осуществлялось на базе одногодичных школ в Ростове-на-Дону, Свердловске, Алма-Ате, Новосибирске. Научные кадры готовились в аспирантурах при научно-исследовательских учреждениях Гидрометслужбы и АН СССР, а также в Ленинградском и Одесском гидрометеорологических институтах.

Подготовка инженеров и техников производилась по специальностям: метеорология (со специализацией в области синоптики, климатологии, численных методов прогноза погоды, аэрологии, эксплуатация гидрометеорологических приборов), гидрология суши, океанология, агрометеорология, гидрография.

Гидрометеорологическое образование в 20 веке предусматривало изучение трех основных комплексов дисциплин, а именно: общественно-политических, общенаучных (высшая математика, физика, теоретическая механика, химия, основы электроники и автоматики, применение ЭВМ, иностранный язык и пр.), и узкоспециализированных. Профилирующими дисциплинами по специальности “Метеорология” традиционно являлись общая, динамическая, синоптическая метеорология, методы метеорологических наблюдений (в том числе с использованием ИСЗ, радиолокаторов), аэрология, основы численных методов прогноза погоды, активные воздействия на климат и погодные процессы, климатология и пр. Специальность “Гидрология” предусматривала изучение таких дисциплин как, общая гидрология, гидрометрия, метеорология, геодезия, гидрогеология, водохозяйственные расчеты, динамика потоков и русловых процессов, водно-технические изыскания и пр. Для океанологов основными профилирующими дисциплинами были общая океанология, морская гидрометрия, физика и химия океана, региональная и прикладная океанология, морские гидрологические прогнозы, общая, динамическая и синоптическая метеорология и др.

На практическую подготовку отводилось около 50 % учебного времени. Практические занятия проводились как в учебных лабораториях и бюро прогнозов, так и на производстве во время прохождения стажировок (экспедиции, проектно-изыскательные организации, гидрометеорологические станции и пр.). Срок обучения традиционно составлял пять лет, а в техникумах на базе 8 классов средней школы – три с половиной года.

По состоянию на 31 декабря 1970 года [1] в системе Гидрометслужбы СССР было занято более 30 000 специалистов с высшим и средним специальным образованием, при этом около 6 000 обучались заочно в гидрометеорологических институтах и техникумах.

В 1988 году был создан Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов [2], являющийся структурным подразделением Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Планы и учебные программы курсов повышения квалификации были рассчитаны на обучение специалистов, имеющих высшее профессиональное образование и опыт работы по специальности. До настоящего времени ИПК, осуществляя образовательную деятельность, взаимодействует с научно-исследовательскими учреждениями (НИУ) Росгидромета. Теоретические и практические занятия проводятся с использованием производственной и научной базы НИУ.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что подготовка кадров в области гидрометеорологии в СССР носила государственный характер. За рубежом в капиталистических странах не существовало системы подготовки кадров в области гидрометеорологии, подобной советской. Некоторые университеты предлагали пройти специализированный курс подготовки специалистам, имеющим высшее образование в смежных областях. В США такие курсы предлагали, например, университеты Нью-Йорка, Колорадо, Калифорнии, Аризоны, Флориды. Вопросами гидрометеорологического образования и помощи развивающимся странам в подготовке кадров занимался и продолжает заниматься ряд международных организаций, и в первую очередь, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и ЮНЕСКО.

В последние годы произошла кардинальная смена подходов в организации образования и подготовки кадров, вызванная все более остро заявляющимися о себе проблемами, стоящими перед ВМО и, соответственно, национальными гидрометеорологическими службами (НГМС), такими как: возрастающие ограничения финансовых и человеческих ресурсов, устаревание требований к подготовке кадров в связи с имеющей место глобальной модернизацией гидрометеорологического обслуживания, всемерным развитием информационных технологий и имеющей место цифровой революцией, внедрением принципиально новых принципов и методов гидрометеорологического обслуживания в повседневную деятельность, появление абсолютно нового класса гидрометеорологических приборов и оборудования и, как следствие, отсутствие современных унифицированных квалификационных рамок специалистов-гидрометеорологов. В результате произошла смена образовательной парадигмы, когда на первый план вышел компетентностно-ориентированный подход в образовании.

Так, ВМО разработало и издало официальный документ № 1083 «Наставление по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии» [3], в котором введены новые определения. Так, например, «метеоролог» - это специалист, завершивший обучение в рамках т.н. пакета обязательных программ (VIP-M). При этом на международном рынке образовательных услуг появились новые игроки, не принадлежащие университетскому сектору образования, предоставляющие многочисленные качественные дистанционные курсы и учебные модули, ориентированные на приобретение конкретных профессиональных навыков и умений. Несмотря на это, в настоящее время практически во всем мире наблюдается нехватка квалифицированной рабочей силы в области гидрометеорологического обеспечения национальных экономик несмотря на то, что в мире имеется достаточно большое число различных учебных и образовательных учреждений, предлагающих образовательные услуги в данной области. Существующие в настоящее время отечественные образовательные программы и отдельные учебные курсы не отвечают в полной мере современным международным требованиям к результатам обучения.

Автору удалось собрать и проанализировать информацию о 44 университетах мира, ведущих подготовку бакалавров и магистров в области гидрометеорологии. Так, в Австралии, как показывает проведенный анализ, таких 3 университета, в Великобритании – 6, в Швеции – 4, в Финляндии – 2, в Дании – 2, в Италии – 2, в Норвегии – 2, в Германии – 2, в Турции – 2, в Китае – 2, в Индии – 3, в Болгарии – 1, в Румынии – 1, в Исландии – 1, в Греции – 1, в Нидерландах – 1, в Аргентине – 1, в Украине – 1, Японии – 1. Наиболее востребованными являются программы, связанные с климатологией и изменением климата, численными методами прогноза, ГИС-технологиями, интерпретацией спутниковых данных, менеджментом и экономикой в области

гидрометеорологии. Средняя стоимость обучения составляет примерно 200 000 руб в год. Самая высокая стоимость в Monach University (Австралия). Часто для обучения в университетах предоставляются различные стипендии и гранты.

Кроме того, настоящая сеть Региональных учебных центров Всемирной метеорологической организации состоит из 27 центров (по состоянию на сентябрь 2018 года, расположенными в Алжире, Анголе, Барбадосе, Бразилии, Коста-Рике, Египте, Иране, Ираке, Израиле, Перу, Южной Кореи, Катаре, Турции, ЮАР, Узбекистане, Венесуэле) [4]. В некоторых случаях такие центры являются многокомпонентными (как например, в Аргентине, КНР, Индии, Индонезии, Кении, Мадагаскаре, Нигере, Нигерии, Филиппинах, РФ). Специальная программа по образованию и подготовке кадров ВМО (ПОПК <http://www.wmo.int/pages/prog/dra/etrp.php>) на конкурсной основе предоставляет стипендии студентам из наименее развитых стран. Наиболее активными являются РУЦ ВМО в КНР (Nanjing University of Information Science and Technology, China Meteorological Administration), Индии (Indian Institute of Technology (Roorkee), India Meteorological Department Training Centre (New Delhi), Central Training Institute and National Water Academy (Pune), Барбадос (Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology), Бразилии (Centro Virtual de Ensino e Treinamento em Meteorologia). Однако, далеко не все РУЦ ВМО являются одинаково активными и эффективными с точки зрения удовлетворения образовательных потребностей НГМС стран-членов ВМО в силу различных причин.

Помимо вышеназванных организаций, ряд учебных подразделений НГМС предлагает учебные курсы, как например: ENM/Météo-France, European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) / National Weather Service, UNESCO/INE-Delft.

Для решения проблемы существующего кадрового голода в условиях ограниченных ресурсов и меняющихся задач, и функционала НГМС стран-членов ВМО в свете вызовов современного мира в ходе 12 симпозиума по образованию и подготовке кадров Всемирной метеорологической организации (Франция, 2013) впервые была представлена новая концепция развития системы образования и подготовки кадров для НГМС «Глобальный кампус ВМО».

Глобальный кампус ВМО является глобальной сетью университетов, образовательных учреждений и учебных центров НГМС стран-членов ВМО, участвующих в разработке и предоставлении образовательных услуг в области гидрометеорологии и смежных дисциплин. Его цель заключается в том, чтобы ответить на вызовы эволюционирующих глобальных приоритетов в области подготовки специалистов-гидрометеорологов с использованием механизмов синергии, обмена и сотрудничества в рамках такого сообщества. Кроме того, в период ускоренного развития информационно-коммуникационных технологий перед университетами и другими провайдерами образовательных услуг в области гидрометеорологии открывается все больше новых возможностей.

Деятельность в рамках Глобального кампуса ВМО частично обусловлена потребностями стран-членов в получении доступа к экономически эффективному обучению своего персонала, которое позволяет приобретать требуемые компетенции в своих службах для соответствия стандартам и рекомендуемой практике, описанным в Техническом регламенте ВМО, а также в различных руководствах, подготовленных Техническими комиссиями ВМО [5].

Глобальный кампус в настоящее время находится в стадии технико-экономического обоснования, однако некоторые проекты Глобального кампуса ВМО уже доказали свою эффективность. Технико-экономическое обоснование Глобального кампуса ВМО [6] проводится с помощью различных демонстрационных проектов, к активному участию в которых приглашаются национальные университеты и другие провайдеры образовательных услуг, предлагающих программы подготовки и переподготовки в области гидрометеорологии и смежных областей. Так, например, подготовлен календарь событий ВМО WMO Learn Events [7]. Коммуникационным механизмом Глобального кампуса ВМО является WMO Learn, предоставляющий собой портал для обмена информацией о предстоящих учебных мероприятиях и имеющихся в свободном доступе образовательных ресурсах и материалах, представляющих интерес для тех, кто хочет подготовить специалиста в области гидрометеорологии, владеющего востребованными современными знаниями и навыками. WMO Learn способствует сотрудничеству, повышению осведомленности об успешных практиках и совместных проектах стран-членов ВМО. Ожидается, что такие мероприятия окажут заметное влияние на количество,

качество и доступность к учебным мероприятиям и ресурсам для стран-членов ВМО. Результаты демонстрационных проектов будут сообщены на 18 Конгрессе ВМО в 2019 году.

Реализация идей, подходов и проектов в рамках Глобального кампуса ВМО расширит возможности национальных гидрометеорологических служб в части получения доступа к качественному профессиональному обучению своих сотрудников.

### **Литература**

1. Хзмалян К. А., Подготовка специалистов гидрометеорологического профиля в СССР, Л., 1966; Метеорология и гидрология за 50 лет Советской власти. Сборник, Л., 1967.
2. Официальный сайт ИПК Росгидромета [Электронный ресурс]. URL: <http://ipk.meteorf.ru/> (дата обращения 26.08.2018)
3. ВМО-№ 1083 Наставление по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии, Том I: Метеорология (Дополнение VIII к Техническому регламенту ВМО), 2012.
4. Перечень Региональных учебных центров Всемирной метеорологической организации [электронный ресурс]. URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/dra/etrp/rtes.php> (дата обращения 26.08.2018)
5. Текущий статус компетенций, разрабатываемых Техническими комиссиями ВМО [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/dra/etrp/competencies.php> (дата обращения: 26.08.2018).
6. WMO Global Campus Roadmap [Электронный ресурс]. URL: [https://ane4bf-datapl1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/A\\_Global\\_Campus\\_RoadmapV3\\_clean\\_1.pdf?j\\_K28R5JArimhlA8xlm16DoBCg\\_RIRI8](https://ane4bf-datapl1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/A_Global_Campus_RoadmapV3_clean_1.pdf?j_K28R5JArimhlA8xlm16DoBCg_RIRI8) (дата обращения: 03.05.2018).
7. Календарь событий ВМО [Электронный ресурс]. URL: <http://learningevents.wmo.int/>(дата обращения: 26.08.2018).

*При подготовке настоящей статьи были использованы материалы и рекомендации членов Совета экспертов по образованию и подготовки кадров Исполнительного совета Всемирной метеорологической организации г-на Рича Джеффриса (Корпорация университетов для атмосферных исследований, США) и Дэвида Фаррелла (Карибский институт метеорологии и гидрологии, Барбадос), со-председателей рабочей группы, занимающейся технико-экономическим обоснованием практической реализации Глобального кампуса ВМО.*

*In preparing this article were used materials and recommendations from members of the Council of Experts on Education and Training of the Executive Board of the World Meteorological Organization Mr. Rich Jeffreys (University Corporation for Atmospheric Research, USA) and David Farrell (Caribbean Institute of Meteorology and Hydrology, Barbados), co-chairs feasibility study panel on the practical implementation of the WMO Global Campus.*

## ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.Д. Мартьянов<sup>1</sup>, А.Ю. Дворников<sup>1</sup>, В.А. Рябченко<sup>1</sup>, Д.В. Сеин<sup>1,2</sup>, С.М. Гордеева<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт Альфреда Вегенера, Центр Полярных и Морских исследований им. Гельмгольца, Бремерхафен, Германия

<sup>3</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PRIMARY PRODUCTION AND SEA ICE IN THE ARCTIC SEAS BASED ON THE MATHEMATICAL MODELING

S.D. Martyanov<sup>1</sup>, A.Yu. Dvornikov<sup>1</sup>, V.A. Ryabchenko<sup>1</sup>, D.V. Sein<sup>1,2</sup>, S.M. Gordeeva<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia

<sup>2</sup>Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research; Bremerhaven, Germany

<sup>3</sup>Russian State Hydrometeorological University; St. Petersburg, Russia

*Работа направлена на дальнейшую разработку региональной совместной эко-термогидродинамической модели арктических морей с целью использования ее для лучшего понимания процессов взаимодействия динамических и экосистемных процессов в океане при изменяющемся климате.*

*The work is focused on the further development of a regional coupled eco-thermohydrodynamic model of the Arctic seas with the aim of using it to better understand the interaction of dynamic and ecosystem processes in the ocean under a changing climate.*

### **Введение.**

В последние десятилетия резкое сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане (СЛО) привело, в частности, к тому, что все большая площадь свободной воды доступна для свободного проникновения фотосинтетически активной радиации (ФАР) в водную толщу. Несмотря на все большее использование средств спутниковых измерений при исследовании функционирования морских экосистем и их большой вклад, одних лишь дистанционных измерений недостаточно. В настоящее время оценить долю первичной продукции, возникающую подо льдом или ниже поверхностного слоя, доступного для дистанционного измерения, можно лишь с использованием численных математических моделей морских биогеохимических циклов, должным образом откалиброванных и верифицированных по данным наблюдений.

Настоящая работа направлена на дальнейшую разработку региональной совместной эко-термогидродинамической модели арктических морей с целью использования ее для лучшего понимания процессов взаимодействия динамических и экосистемных процессов в океане при изменяющемся климате. В ней приводятся результаты модельного климатического расчета на 40-летний период для региона арктического шельфа (Карское, Баренцево и Белое моря) при задании внешних воздействий (атмосферный форсинг, условия на открытых границах моря), полученных по результатам расчетов современного климата (1920-2005) по региональной совместной модели ROM в соответствии со сценарием AR5 IPCC [1].

### **Методы и средства.**

Расчет современного климата для акваторий Баренцева, Карского и Белого морей выполнялся на общей модели циркуляции Массачусетского Технологического Института MITgcm [2]. MITgcm представляет собой общую трехмерную модель циркуляции океана, основанную на полных уравнениях гидродинамики несжимаемой жидкости в приближении Буссинеска. Численный алгоритм основан на методе конечных объемов, что обеспечивает точное выполнение закона сохранения массы, а также ускоряет время интегрирования модели по сравнению с конечно-элементными моделями океана аналогичного пространственного разрешения [3]. В качестве модели морского льда используется модель вязкопластической реологии, основанная на работах Хиблера [4-6] и впоследствии модернизированная и обобщенная в работе [7].

Термогидродинамическая модель MITgcm была объединена с разработанной и протестированной ранее для Баренцева моря трехмерной 7-компонентной NPZD-моделью океанской биогеохимии пелагиали, включающей в себя углеродный цикл [8].

Описанная совместная эко-термогидродинамическая модель была адаптирована для части акватории Северного Ледовитого океана, включающей Белое, Баренцево и Карское моря. Расчетная сетка – криволинейная, квазиортогональная, с северным полюсом, перенесенным в западное полушарие, состоящая из  $544 \times 518$  расчетных узлов в горизонтальной плоскости и имеющая 51 z-уровень в вертикальном направлении (рис. 1). По вертикали дискретность в верхних слоях составляет 2-5 м, в нижних – до 50 м. Шаг по времени задавался равным 120 с. Период счета составлял 40 лет (1966–2005 гг.).

Начальные условия, условия на открытых границах, а также атмосферный форсинг задавались из результатов расчетов модели ROM [1], что обеспечивало согласованность этих полей между собой. Расход речных вод задавался по климатическим данным. Поступление органических и неорганических веществ с речным стоком не учитывалось. Более полное описание данной совместной модельной системы, а также ее верификацию, можно найти в работе [9].

#### Результаты.

Общий взгляд на характер колебаний первичной продукции в исследуемом районе дает интегральная по всему району первичная продукция, временной ход которой, вместе с ходом суммарной площади ледяного покрова, осредненные за гидрологический год (с октября по сентябрь), показан на рис. 1. Как видно, за исследуемый период (1966-2005 гг.) для суммарного льда тренд отрицательный, то есть с потеплением климата, общая площадь морского льда в Баренцевом, Карском и Белом морях уменьшилась. Для первичной продукции – тренд незначимый ( $p$ -уровень = 0.30), для площади льда – значимый ( $p$ -уровень = 0.006).

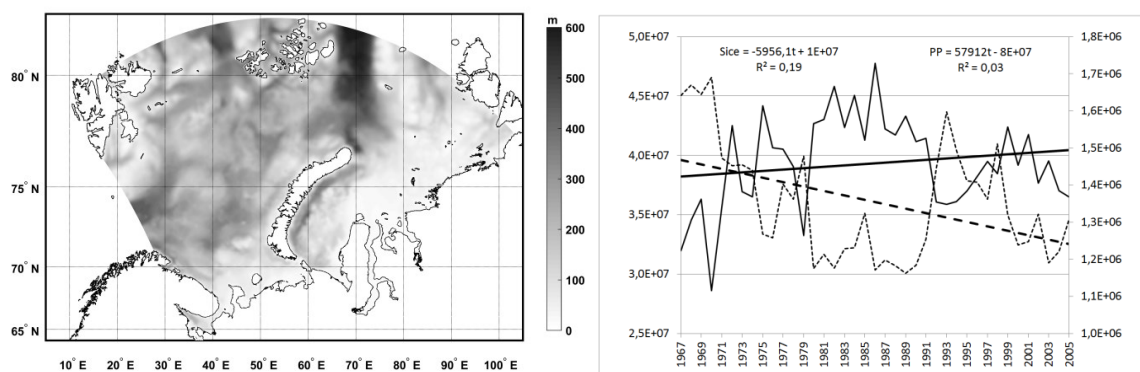


Рис. 1. Слева – Модельная область и карта глубин. Справа – Межгодовая изменчивость средних за гидрологический год интегральной первичной продукции (сплошная линия, [ммоль N/c], левая шкала) и суммарной площади льда (пунктирная линия, [км<sup>2</sup>], правая шкала) в модельной области.

Известно, что оценка тренда сильно зависит от длины выборки: если рассматривать период 1966-1992 гг., то очевидно, что обе характеристики изменяются в противофазе и тренды их значимы и противоположны, так что при быстром уменьшении площади ледяного покрова первичная продукция фитопланктона значительно возрастает. Однако, начиная с 1993 гг., несмотря на сохраняющуюся оппозицию двух характеристик, их величина тренда уменьшается, что приводит к его исчезновению у первичной продукции. В 1999-2000 гг. произошел «сбой» взаимосвязи и первичная продукция начала уменьшаться вместе с продолжающимся сокращением площади льда. Возможно, начали преобладать другие лимитирующие первичную продукцию факторы, например, уменьшилась ФАР вследствие увеличения облачности в Арктике. Эту гипотезу еще только предстоит проверить.

Коэффициент корреляции интегральной первичной продукции с суммарной площадью льда (осредненных за гидрологический год) за период 1966-2005 гг. составляет -0.80, с площадью льда сплоченностью  $C_i > 0.15$  он также равен -0.80, а с площадью пакового льда ( $C_i > 0.8$ ) -0.82. Так как осреднение за гидрологический год характеризует, в основном, площадь льда зимой, а первичную продукцию – весной, когда эти характеристики максимальны, то малая ледовитость

в предшествующую зиму является основной причиной увеличения первичной продукции в текущем году.

Кроме того, анализ колебаний площади пакового льда (сплоченность льда  $C_i > 0.8$ ) и суммарной площади пакового льда и маргинальной зоны льда ( $C_i > 0.15$ ) показал, что медленнее всего сокращается площадь пакового льда. Другими словами, менее сплоченный лед тает быстрее, что естественно объясняется ростом площади поверхности соприкосновения льда с водой при уменьшении сплоченности.

Во время цветения водорослей значительная часть продукции приходится на маргинальную зону льда со сплоченностью  $0.15 < C_i < 0.8$ . На рис. 2 представлен внутригодовой ход интегральной по модельной области первичной продукции (PP), площади маргинальной зоны льда (Smiz), а также суммарной площади льда (Sice) в отдельные годы рассматриваемого периода. Годовой ход Smiz характеризуется двумя максимумами – большим весенним и небольшим осенним. Весенний максимум формируется в процессе таяния и разрушения ледового покрова, который сопровождается отрывом отдельных льдин от пакового льда с их последующим дрейфом в свободное ото льда море. В результате площадь Smiz сначала увеличивается, достигая максимума в конце июня – начале июля, а затем по мере таяния однолетнего льда уменьшается до минимума в августе-сентябре. Небольшой осенний максимум Smiz связан с быстрым увеличением площади тонкого льда в начале его образования поздней осенью, при котором площадь пакового льда высокой сплоченности практически не меняется, и с последующим уменьшением площади тонкого льда по мере роста толщины льда и увеличения его сплоченности. Из рис. 2а и рис. 2с видно, что в течение любого года пик интегральной по морю первичной продукции возникает практически синхронно с максимумом площади Smiz. В течение вегетационного периода, который в Арктике совпадает с периодом светового дня (с марта по октябрь), синхронный коэффициент корреляции площади Smiz и интегральной по модельной области первичной продукции составляет 0.87. Вместе с тем, из рис. 2b и рис. 2d видно, что временной ход суммарной площади льда ведет себя абсолютно иначе: весной наблюдается резкое сокращение суммарной площади льда, что приводит к интенсивному росту первичной продукции. При этом коэффициент корреляции рядов среднесуточных значений этих величин составляет лишь -0.36.

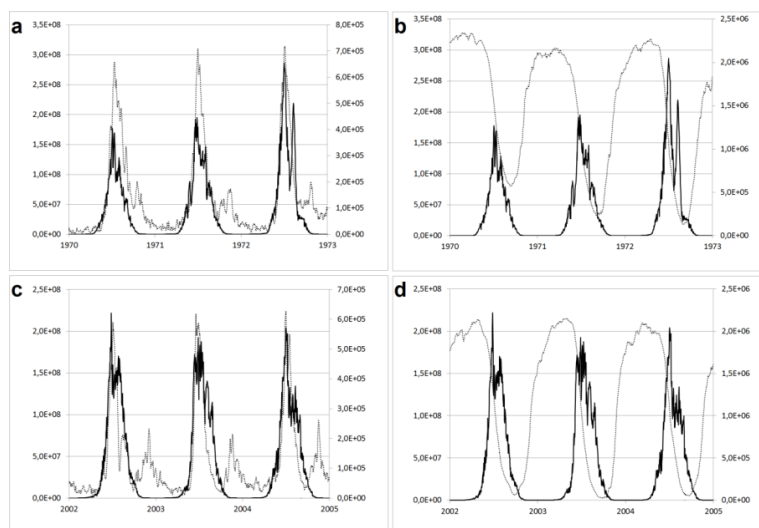


Рис. 2. Внутригодовой ход интегральной по области первичной продукции (сплошная линия, [ммоль N/c], левая шкала), площади маргинальной зоны льда и общей площади льда (пунктирная линия, [км<sup>2</sup>], правая шкала) в начале и в конце рассматриваемого периода. а) PP и Smiz, 1970-1972 гг.; б) PP и Sice, 1970-1972 гг.; в) PP и Smiz, 2002-2004 гг.; д) PP и Sice, 2002-2004 гг.

### Обсуждение и заключение.

Любопытной представляется полученная связь между площадью маргинальной зоны льда и первичной продукцией: время наступления их весенне-летних пиков совпало, коэффициент корреляции оказался высоким, тем самым еще раз доказывая важность данной зоны в функционировании морской экосистемы. Межгодовая изменчивость средних за гидрологический год интегральной первичной продукции и суммарной площади льда, как и ожидалось, демонстрирует противофазность, что позволяет утверждать, что малая ледовитость в предшествующую зиму является основной причиной увеличения первичной продукции в текущем году.

Недостатки полученного решения связаны в первую очередь с простотой используемой биогеохимической модели. Известно, что в арктических регионах Мирового океана значительная часть биомассы фитопланктона приходится на диатомовые, которые, помимо неорганического азота, лимитируются также и неорганическим кремнием. Также в течение вегетационного периода в реальности происходит смена преобладающих видов фитопланктона. Данные аспекты функционирования нижнего трофического уровня морской экосистемы не описываются используемой биогеохимической моделью, в которой реализован лишь некоторый "обобщенный" фитопланктон, лимитирующийся только концентрацией нитратов и коротковолновой радиацией. Отметим также, что для корректного описания процесса реминерализации, а тем более в таких шельфовых районах, как Баренцево и Карское моря, необходимо использование некоторой бентосной модели, которая отсутствует в используемом экосистемном блоке.

### Литература

1. 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.
2. 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.
3. Danilov, S., Ocean modeling on unstructured meshes, Ocean Modelling, 69, 195–210, 2013. DOI: 10.1016/j.ocemod.2013.05.005.
4. Hibler, III, W. D., A dynamic thermodynamic sea ice model, J. Phys. Oceanogr., 9, 815–846, 1979.
5. Hibler, III, W. D., Modeling a variable thickness sea ice cover, Mon. Wea. Rev., 1, 1943–1973, 1980.
6. Zhang, J., and W. D. Hibler, III, On an efficient numerical method for modeling sea ice dynamics, J. Geophys. Res., 102(C4), 8691–8702, 1997.
7. Losch, M., D. Menemenlis, J.-M. Campin, P. Heimbach, and C. Hill, On the formulation of sea-ice models. Part 1: Effects of different solver implementations and parameterizations, Ocean Modelling, 33(1–2), 129–144, 2010. doi:10.1016/j.ocemod.2009.12.008.
8. 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. Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika. 2017, 10, 1, 11-16.
9. 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. Fundamentalnaya i Prikladnaya Hidrofizika. 2018, 11, 2, 108—117. doi: 10.7868/S2073667318020107.

*Результаты исследований в разделе «методы и средства», получены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0014). Результаты исследований в разделе «результаты», получены за счет средств Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16-55-76021). Работа была поддержана в рамках проекта ERANetEXOSYSTEM (грант 01DJ16016) Федеральным министерством образования и науки Германии. Расчеты проводились на вычислительном кластере DKRZ.*

*The research results in the “methods and tools” section were obtained in the framework of the state assignment of the FANO of Russia (subject No. 0149-2018-0014). The research results in the “Results” section were obtained at the expense of the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 16-55-76021). The work was supported by the ERANetEXOSYSTEM project (grant 01DJ16016) by the German Federal Ministry of Education and Science. The calculations were carried out on the DKRZ computing cluster.*



## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ МУЛЯНКИ ГОРОДА ПЕРМИ

А.В. Минкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

## ECOLOGICAL ASPECTS OF THE STATE OF SMALL RIVERS OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE RIVER OF MULYANKA OF THE CITY PERM

A.V. Minkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia

*Рассматриваются условия формирования химического состава малых рек урбанизированных территорий на примере реки Мулянки. Приводится районирование территории бассейна реки Мулянки в пределах города Перми по ее экологическому состоянию. Даются рекомендации по рекреационному использованию реки.*

*The conditions for the formation of the chemical composition of small rivers of urbanized territories are considered. Crayons. Zoning of the basin of the river basin is given. Flicks within the city of Perm according to its ecological state. Recommendations are given on the recreational use of the river.*

По территории города Перми протекает более 100 водотоков, большинство из которых – малые реки. Река Мулянка является одной из наиболее используемых и загрязненных малых рек города Перми, поскольку протекает как по промышленно развитой части территории города, так и по той части, в которой расположены жилые дома, кооперативные гаражи, сады. Кроме этого, значительная ее часть протекает по ООПТ «Черняевский лесопарк», что делает ее более интересной в отношении исследований гидрохимического состава [1] Для его изучения в 2013 и 2017 годах были отобраны пробы на 6 створах (рис. 1) и проведен их анализ.



Рис. 1. Схема отбра проб [3]

Пространственно-временной анализ химического состава воды показал, что основными загрязняющими ингредиентами, превышающими предельно допустимую концентрацию (далее

ПДК), являются  $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_2$ , а показателями, превышающими ПДК – прозрачность и запах. Наибольшие концентрации химических ингредиентов наблюдались в весенний период, а наименьшие – в летний. Общей закономерности изменения их по длине реки не было выявлено, видимо, это связано с тем, что хим. состав в каждом створе формируется под влиянием различных источников загрязнения. Повышенные концентрации химических компонентов наблюдаются в створах 5 и 6 (рис. 1).

Известно, что существуют зависимости между расходами воды и химическими показателями. Для расчета расхода воды в полевых условиях определена величина скорости течения. Установлено, что из всех исследуемых химических показателей четкая обратная зависимость наблюдается между минерализацией и расходом воды – на всех исследуемых створах во 3 сезона года (весна, лето, осень). Прямая зависимость наблюдается между прозрачностью и расходом воды также на всех исследуемых вертикалях. Относительно других химических показателей – четкой зависимости не прослеживается. Вероятнее всего это связано с недостаточно продолжительным рядом наблюдений [2].

Химический состав воды влияет на гидробиологический состав, а вместе они определяют качество воды в реке. Чем меньше видовое разнообразие водных обитателей, тем более загрязненной является вода. Анализ данных наблюдений ГосНИОРХа [4] показал, что наибольшее видовое разнообразие в реке Мулянке представлено в верхнем течении реки, которое характеризуется естественным фоном: донных сообществ (53) таксона, 38 видов рыб, 36 видов и форм планктонных зооценозов. С продвижением от истока к устью реки Мулянки обедняется качественный состав бентофауны, уменьшается количественное развитие макрозообентоса, что свидетельствует об ухудшении качества воды, приводящему к нарушению речной экосистемы.

Мы предположили, что причинами, определяющими экологическое состояние воды, являются ливневые стоки с территорий дачных участков, автотрассы и территории жилого района; сброс сточных вод; поступление загрязненных подземных вод; уменьшение самоочищающей способности реки вследствие того, что русло переходит в озеровидный участок и резко уменьшаются скорости течения.

Для определения возможности поступления загрязняющих компонентов с поверхностным стоком с использованием программы ArcMap была составлена карта линий стока. Анализ ее показал, что в 3 створе повышение ПДК по нитритам и аммонийному азоту связано со смывами вод, богатых азотными удобрениями с огородов и дачных участков. В 5 створе повышение минерализации связано с тем, что она находится в пределах жилого района, где улицы посыпают песчано-соляной смесью и в соответствии с направлением линий стока загрязняющие компоненты поступают в реку, кроме того, в районе 5 створа расположен несанкционированный слив канализации в реку. На химический состав воды в районе 6 створа влияют сточные воды, поступающие с промышленных предприятий, расположенных на прилегающей к ней территории и очистных сооружений города. Кроме этого самоочищающая способность реки здесь уменьшается за счет ее расширения и, соответственно, уменьшения скоростей течения [3].

Анализ данных о химическом составе подземных вод, отобранных в скважинах, расположенных на территории особо охраняемой природной территории «Черняевский лесопарк». показал, что величина минерализации в них незначительная и, следовательно, подземные воды не могут быть источником поступления солей в реку Мулянку.

С учетом расположения источников загрязнения, рельефа местности, направления движения линий поверхностного стока, структуры биоты реки, химическим составом воды, типом и состоянием берегов нами выделены 4 района: 1 - район интенсивного загрязнения воды, 2 - незначительного загрязнения, 3 – умеренного загрязнения; 4 – незагрязненный (рис. 2).

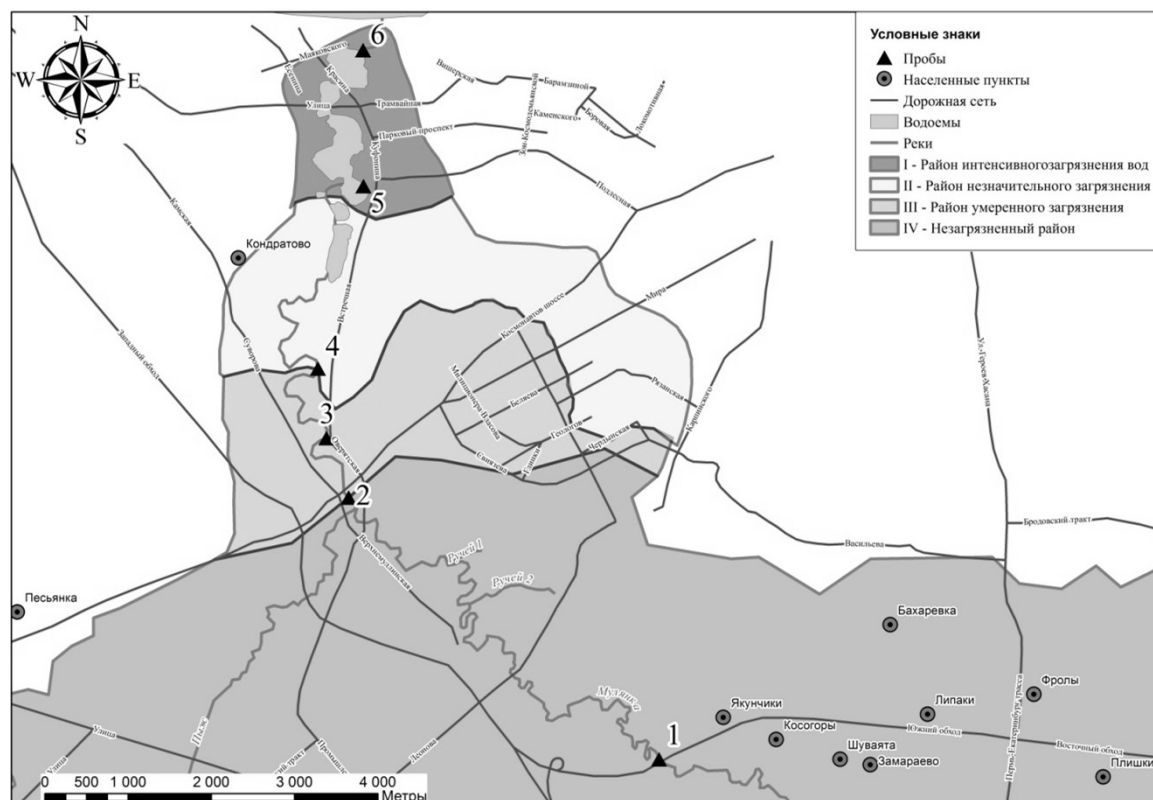


Рис.2. Районирование территории бассейна реки Мулянки в пределах города Перми по ее экологическому состоянию [3]

Район 1 - район интенсивного загрязнения воды расположен в пределах от границы особо охраняемой природной территории «Черняевский лесопарк» в районе жилой застройки до устья реки Мулянки. Загрязнение воды характеризуется высоким содержанием нитритов, аммонийного азота и таких показателей, как запах. Причинами загрязнения воды являются: сбросы сточных вод промышленных предприятий, расположенных в данном районе (свыше 15), поступление высокоминерализованных стоков с территории жилой застройки (микрорайон Парковый), уменьшение самоочищающей способности реки за счет низких скоростей течения и расходов воды в расширенном участке реки.

Район 2 - район незначительного загрязнения воды. Отличительной особенностью этого района является то, что ее территория полностью лежит в пределах особо охраняемой природной территории «Черняевский лесопарк». Качество воды реки по органолептическим показателям в данной зоне (запах, прозрачность) не отвечает гигиеническим требованиям. Содержание остальных химических компонентов находятся в пределах ПДК.

Район 3 – район умеренного загрязнения воды реки расположен в пределах от устья реки Пыж до границы особо охраняемой природной территории «Черняевский лесопарк». Загрязнение воды в реке обусловлено превышением ПДК по таким химическим ингредиентам, как нитриты и аммонийный азот. Однако численные значения превышения ПДК в данной зоне намного меньше, чем в предыдущей – всего в 2-7 раз. Причинами загрязнения вод являются ливневые стоки с территорий дачных участков, сельскохозяйственных угодий, автотрассы, а также сбросы сточных вод промышленных предприятий данного района (более 5).

Район 4 - незагрязненный район расположен в пределах от границы города Перми и Пермского района до устья реки Пыж. Показатели качества воды в этом районе находятся в пределах ПДК и ниже.

Ликвидировать факторы, определяющие увеличение загрязнения в районах 1 и 3 вряд ли возможно, но для улучшения химического состава вод могут быть рекомендованы абсорбирующие насаждения, которые являются эффективными агентами для детоксикации сточных вод. (рогоз узколистный, камыш, тростник обыкновенный, лесополоса и др.). В районе

2 основное внимание должно быть уделено проведению работ по укреплению берегов, очистки дна и русла, береговой зоны.

### **Литература**

1. Двинских С., Китаев А., Зуева Т., Шукова И. Водные объекты и их роль в формировании экологической обстановки города Перми. Пермь: Перм. Ун-т, 2011.
2. Двинских С., Зуева Т., Экологическая ситуация как условие формирования здоровья. Saarbrücken, 2016.
3. Минкина А. Антропогенные причины загрязнения малых рек г. Перми на примере р. Мулянки // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VI Междунар. научн.-практ. конф. 2017. Т. 3, С. 136-140.
4. Фондовые материалы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга».

## ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВ РЕК ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЁШСКОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

И.В. Мискевич<sup>1</sup>, д-р геогр. наук

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## HYDROLOGICAL-HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF RIVER MOUTHS IN WEST PART OF CHOSHA BAY OF THE BARENTS SEA

I.V. Miskevich<sup>1</sup>, Dr.Sc.

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

*Рассмотрены гидрологические и гидрохимические характеристики макроприливных устьев рек восточного побережья полуострова Канин. Эти водные объекты являются слабо исследованными. Выявлено наличие в устьях рек аномально высоких концентраций взвесей, в основном, связанных с действием приливов. Обнаружена большая пространственная изменчивость в распределении величины рН и кислородонасыщения, а также повышенное содержание легкоокисляемой органики и общего азота. Важную роль в этом играет наличие здесь обширных зарослей растений-галофитов.*

*The hydrological and hydrochemical characteristics of the macrotidal estuaries of the rivers of the Eastern coast of the Kanin Peninsula are considered. These water bodies are poorly investigated. The presence of abnormally high concentrations of suspensions, mainly associated with the action of tides, in the estuaries of rivers was revealed. A large spatial variability in the distribution of pH and oxygen saturation, as well as an increased content of easily oxidizable organic matter and total nitrogen was found. An important role in this is played by the presence of extensive thickets of plants-halophytes.*

Устья рек и реки восточного побережья полуостров Канин в целом, в отличие от его западного побережья, практически не изучены. Это, с одной стороны, связано с отсутствием здесь населенных пунктов, с другой стороны, с присутствием навигационных сложностей с заходом в устья рек в западной части Чёшской губы Баренцева моря экспедиционных морских судов, несмотря на наличие приливов значительной величины.

В настоящей статье рассматриваются устьевые объекты на западе Чёшской губы в районе, ограниченном мысом Микулкинс севера и рекой Малая Крутая с юга. Данный район находится в тундровой зоне, и для него характерно наличие сравнительно густой речной сети, но её водотоки из-за специфики геоморфологии полуострова очень короткие, и все они имеют статус «малых рек». В подобной ситуации, протяженность устьевых объектов с макроприливыми условиями может становиться сопоставимой с длиной самого речного водотока.

Согласно справочному пособию [1] в рассматриваемом районе имеется 21 река протяженностью более 12 км. К наиболее крупным водотокам здесь относятся:

- река Перепуск (Большой Перепуск) на юге района длиной 83 км;
- река Нодтей (Костылиха, Надтей) на севере района длиной 81 км;
- река Большой Ярней (Двойникова) на севере района длиной 66 км;
- река Чёша (Падра) в центре района длиной 61 км;
- река Голубница на юге района длиной 51 км.

Согласно навигационному пособию *Таблицы приливов* [2] запад Чёшской губы относится к районам Баренцева моря с наиболее высокими приливами. Их средняя величина возрастает от 2,2 метров около мыса Микулкин до 3,4 метров на юге рассматриваемой территории. Максимальная величина прилива возможная по астрономическим причинам здесь может достигать 5,7 метров. Внутри устьев рек эстуарного типажа счет особенностей их геоморфологии величина прилива может быть еще более высокой.

Среди устьев рек западной части Чёшской губы гидролого-гидрохимические исследования были проведены только в устьевой области реки Чёша в период летней межени. В 2014 году они в ограниченном объеме осуществлялись в рамках комплексной экспедиции Архангельского центра ВОО «Русское географическое общество» [3]. В 2017 году такие, более детализированные исследования провело Северо-Западное отделение Института океанологии РАН. Их результаты, в частности, нашли отражение в статьях [4,5]. Также необходимо упомянуть, что в рамках рыбохозяйственных исследований в 1961 году СевНИИП провел геоморфологические и

гидрохимические исследования рек Жемчужной и Двойник на севере Чёшской губы [6]. Но при этом гидрохимические наблюдения носили ограниченный характер (всего 2 пробы) и затронули только речные воды на границе зоны их осолонения.

Если ориентироваться на морфологические признаки, то устьевые области рек на полуострове Канин по классификации В.Н. Михайлова [7] следует разделить на два типа: простой (с однорукавным бездельтовым устьевым участком реки и открытым устьевым взморьем) и эстуарный (с однорукавным бездельтовым устьевым участком реки и полузакрытым устьевым взморьем). Первый тип устьевой формы характерен для наиболее мелких рек, второй – для наиболее крупных. У последних на устьевом взморье обычно присутствует блокирующая коса, которая может полностью покрываться водой при сизигийных приливах и мощных ветровых нагонах. В эстуариях воронкообразная конфигурация берегов наблюдается только во 2-й половине фазы отлива. На малой воде приливного цикла вместо воронки здесь, как правило, фиксируется наличие узкого каналообразного водотока с множеством меандр и квазиперекатных участков с глубинами менее 1 метра.

В рассматриваемом районе наблюдается полусуточный мелководный тип прилива с присутствием полусуточного неравенства. При входе в устье реки простого типа приливная волна быстро затухает. В эстуариях на протяжении нескольких километров от границы с морем величина прилива чаще всего остается неизменной или даже несколько возрастает. Если ориентироваться на смену цвета воды в эстуариях запада Чёшской губы по космическим снимкам, то влияние приливов, как, фактора вызывающего помутнение (смену цвета) воды здесь распространяется на 5-15 км, в зависимости от характера прибрежной местности. Наиболее сильно влияние приливов прослеживается на юге района.

Приливные движения устьевых вод генерируют соответствующие течения с максимальными скоростями до 0,5-1,5 м/с и даже более, а также хорошо выраженную короткопериодную изменчивость солености устьевых вод. Они имеют полусуточный характер и в целом соответствуют колебаниям уровня воды. Характерная протяженность осолонения устьевых водотоков в летнюю межень, если ориентироваться на исследования устьевой области р. Чёши, составляет 7-15 км. В конце зимней межени устьевые области рек в рассматриваемом районе быстрее всего полностью занимают морские воды, а на пике весеннего паводка не исключается их полное распреснение, по крайней мере, в момент малой воды приливного цикла.

В короткопериодной изменчивости температуры воды рассматриваемых устьев рек летом доминирует суточный цикл. Но в конце весны-начале лета, когда разница между прогревом морских и речных вод может различаться на порядок, следует ожидать преобладание полусуточных циклов приливного генезиса.

Для рассматриваемых устьев рек характерно наличие аномально высокого содержания взвешенных веществ, обусловленного взмучиванием связанных мелкодисперсных наносов, которые покрывают обширные приливные осушки [5]. Концентрация взвесей при этом может достигать уровня 1500-4500 мг/л, который не наблюдается как в морских водах, так и в речных водах даже в период весеннего паводка.

Речные воды, поступающие в устьевые объекты запада Чёшской губы, отличаются малой минерализацией – 70-90 мг/л в летнюю межень. Среди катионов преобладает натрий, среди анионов – хлориды [8]. Такой состав главных ионов связан с влиянием морских аэрозолей на водосборы небольших водотоков в прибрежной зоне юго-востока Баренцева моря, и он также прослеживается в его других районах. Исключение могут представлять реки, водосборы которых располагаются на гористой территории северной части полуострова Канин, где проходит кряж Канин Камень. Там минерализация может достигать 200-300 мг/л и, возможно, даже выше, доминанта среди анионов переходит к гидрокарбонатам [6], а среди катионов может преобладать кальций.

Кислородный режим рассматриваемых устьев рек в вегетационный период зависит от 2-х факторов – степени мутности вод, ограничивающих интенсивность фотосинтеза водной растительности и наличия обширных зарослей галофитных растений, выделяющих кислород. Как показывают данные в таблице 1, летом в эстуарии р. Чёши наблюдается на фоне высокого содержания взвесей наблюдается пониженное содержание кислорода 6,5-9,6 мг/л при насыщенности 69,9-94,5 %. Однако в лагунных озерах устьевой области р. Чёши с наличием массовых зарослей макрофитов кислородонасыщение летом поднимается до 113-140 %. Можно

ожидать, что кислородный баланс смещается в сторону увеличения кислородонасыщения устьевых вод по мере смещения к северу, т.е. в направлении уменьшения величины прилива, которая во многом определяет степень их замутнения. По крайней мере, по данным работы [6] насыщенность вод кислородом в устье р. Большой Ярней на севере полуострова Канин летом достигала 100 %.

Таблица 1. Статистическая характеристика изменчивости содержания взвесей и гидрохимических параметров в эстуарии р. Чёшина поверхностном горизонте по данным наблюдений на 3-х суточной станции 20-23 июля 2017 года (створ 4км выше морской границы эстуария)

Статистики	S, %	Взвеси, мг/л	pH	Кислород		БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /л
				мг/л	%	
Среднее значение	12,23	1073	7,83	7,90	82,0	3,38
Стандартное отклонение	10,88	1085	0,16	0,96	8,0	1,08
Медиана	7,80	753	7,82	8,06	83,5	3,05
Нижний квартиль (25%)	1,10	569	7,74	6,99	74,8	2,71
Верхний квартиль (75%)	23,40	1333	7,91	8,67	87,0	3,95
Максимальное значение	28,40	4316	8,29	9,59	94,5	5,31
Минимальное значение	0,20	147	7,50	6,46	69,9	1,80
Количество наблюдений	37	13	37	37	37	13

В зимний период содержание кислорода в устьях рек может заметно снижаться, особенно, для водотоков в южной части рассматриваемого района, где их водосборы заметно заболочены. Если, ориентироваться на данные исследований средних рек южной части Чёшской губы, в частности, эстуария р. Омы [9], то концентрации кислорода в конце зимней межени в начале зоны смешения морских и речных вод здесь могут снижаться до 2-4 мг/л (10-20 %).

Для распределения величины pH в устьях рек западной части Чёшской губы также характерна пространственная неоднородность. Устьевые воды на севере полуострова Канин, где имеются карбонатные породы, имеют щелочные свойства, и величина pH летом здесь колеблется около уровня 7,6-8,4 [6]. Речные воды, поступающие в устьях рек, водосборы которых занимают низменные тундровые ландшафты, имеют кислотные свойства. В них величина pH даже в вегетационный период не превышает 6,2-6,8. Исключение могут составить реки с обилием мелководных озер, сильно заросших водными макрофитами и обилием фитопланктона, воды которых за счет процессов фотосинтеза весной и летом имеют слабощелочные свойства.

По мере увеличения солености, примерно в диапазоне 1-5 %, в устьевых водах южной части рассматриваемого района наблюдается смена кислотных свойств на щелочные. На морских границах эстуариев величина pH обычно возрастает до уровня 7,5-8,2. Следует заметить, что высокие величины pH (8,2-8,5), кроме этого, в период вегетации типичны для лагунных осолоняемых озер, заросших галофитной растительностью.

Параметр БПК<sub>5</sub>, который принято считать индикатором наличия легкоокисляемой органики, в устьях рек западной части Чёшской губы, отличается повышенными значениями (таблица 1), часто превышая ПДК для рыбохозяйственных водоемов (2 мг O<sub>2</sub>/л). Это можно связать с наличием в них высокого содержания взвесей и сильных приливо-отливных течений. Они создают условия, которые можно трактовать, как наличие «гидромельницы» [10], которая перемалывает водную растительность на большое количество детритных взвесей, окисление которых требует существенных затрат кислорода.

Наличие обширных зарослей маршевых макрофитов в эстуариях рассматриваемого района также вызывает появление высоких концентраций органического азота за счет деятельности симбиотических микроорганизмов, образующих ризосферу с высшими растениями галофитами [11]. Такие симбиотические микроорганизмы переводят молекулярный азот атмосферы в соединения, связываемые высшими растениями в ходе процесса азотификации, возможно усиливаемого периодическим их заливанием водой и последующей осушкой. Здесь

концентрации растворенных органических соединений азота (130-170 мг/л) на порядок превышают их величины в речных и морских водах, поступающих в устье реки.

При дальнейших исследованиях рассматриваемого района рекомендуется обратить внимание на устья рек северо-западной части Чёшской губы (Большой Ярней, Нодтей и Большая Ойва), как на водные объекты, с одной стороны, с наибольшим потенциалом поражения при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов на судоходных путях юго-востока Баренцева моря, с другой стороны, с присутствием таких ценных в коммерческом отношении видов рыб как голец, кумжа и пелядь (не исключаются заходы сёмги, горбуши и омуля).

### Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 3. Северный Край. Л.: Гидрометеиздат. 1967. 612 с.
2. Таблицы приливов на 1990 год. Том I. Воды Европейской части СССР. Издание ГУНИО, 1989. 244 с.
3. Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Брызгалов В.В. Исследования экосистем эстуариев рек Чиж и Чёша на полуострове Канин. Архангельск: Изд-во «КИРА». 2014. 107 с.
4. Мискевич И.В., Белоруков С.К., Мосеев Д.С., Яковлев А.Е., Лещев А.В. Характеристика природных условий озера Мелкое в устьевой области реки Чёша в Баренцовом море (по следам экспедиции РГО 1902 года) // Труды Архангельского центра Русского географического общества. Вып. 5. Архангельск. 2017. С. 354-360.
5. Мискевич И.В., Коробов В.Б. Гидродинамические аспекты формирования высоких концентраций взвешенных веществ в мезоприливных и макроприливных устьях рек Белого и Баренцева морей // Труды Всероссийской конференции «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. С-Пб.: Аграф. 2017. С. 344-347.
6. Макаеева Н.С. Гидрологические особенности рек бассейна Чёшской губы // Отчет Северного НИИ промышленности по теме № 2 « Состояние запасов сёмги в реках Архангельской области и мероприятия по её увеличению. Архангельск.:Фонд СевПИНРО. 1961. С.126-146.
7. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Том 31. № 1. С. 5-14.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-37, 38 ó м. Святой Нос, м. Канин Нос. Объяснительная записка. С-Пб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2008. 251 с.
9. Мискевич И.В. Гидрохимия устьев рек Чёшской губы Баренцева моря // Известия ВГО.Т.119. Вып.5.1987. С. 443-446.
10. 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.
11. Мискевич И.В., Чульцова А.Л., Мосеев Д.С. Марши мезо-макроприливных эстуариев рек арктической зоны как источник растворенного органического азота для водных экосистем //Естественные и технические науки. 2018. № 4. С.75-81.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

А.С. Михайлова<sup>1</sup>, Л. Н. Василевская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

## RESEARCH OF SOIL TEMPERATURE IN THE SOUTH OF FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

A.S. Mikhaylova<sup>1</sup>, L.N. Vasilevskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

*Цель работы заключается в исследовании температурного режима деятельного слоя почвы по данным наблюдений за температурой почвы на метеорологических станциях юга Дальнего Востока.*

*The purpose of the work is research of temperature regime of active soil layer using to observations of temperature data of soil in the meteorological stations in the South of the Far East.*

Современная проблема в метеорологии – глобальные изменения климата, которые воздействуют на все компоненты биосферы, включая почвенный покров. С наибольшей скоростью под влиянием климатических условий изменяется такое свойство почвы, как ее температура [1, с. 5]. Гидрометеослужбой России за более чем столетний период наблюдений собран огромный массив данных по температуре почвогрунтов, который содержит суточные значения температуры почвы на глубинах до 320 см, полученные на метеорологических станциях Российской Федерации за последние десятилетия [3, 4].

Целью данной работы является исследование особенностей режима, оценка изменения температуры почвогрунтов и процессов промерзания и оттаивания в деятельном слое почвы на юге Дальневосточного Федерального округа. В качестве исходных материалов использовались данные ежедневных наблюдений за температурой почвы как на основных (20, 40, 80, 160 и 320 см), так и на дополнительных глубинах (120 и 240 см) на 40 станциях Дальнего Востока (рис. 1) с 1963 по 2013 гг., взятых с сайта ВНИГМИ МЦД, <http://www.meteo.ru/>.

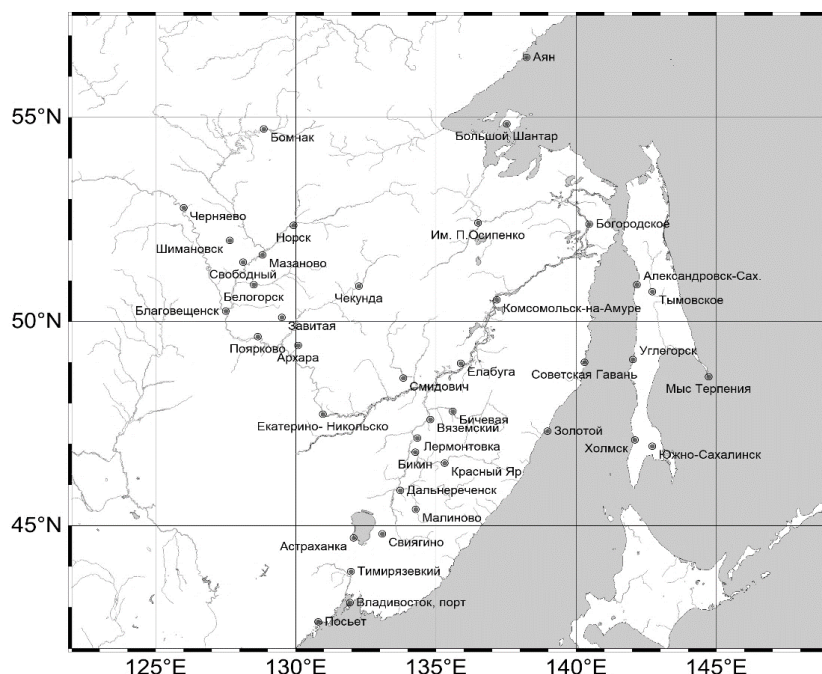


Рис. 1. Карта-схема расположения метеостанций [2, с.322].

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи: формирование исходной базы данных; заполнение (восстановление) пропусков в базе данных; расчет статистических

характеристик температуры и продолжительности сезонного оттаивания; классификация годового хода на различных глубинах; анализ динамики многолетнего хода температуры почвы.

На первом этапе [2, с.322] работы из ежедневных наблюдений была сформирована база ежемесячных данных о температуре почвогрунтов на горизонтах 20, 40, 80, 120, 160, 240 и 320 см; пропуски в исходных рядах заполнялись средними многолетними значениями (число пропусков составило менее 30% от общего количества). Был выполнен статистический анализ месячной температуры почвы на всех горизонтах, включающий расчет стандартных характеристик. Отметим, что практически во всех исходных рядах среднемесячной температуры относительная ошибка среднего не превышает 10%, что указывает на репрезентативность исходной выборки.

Нами было показано, что по мере увеличения глубины с подстилающей поверхности передается меньшее количество тепла, даты максимума и минимума сдвигаются. Максимальный прогрев наблюдается на большинстве станций в конце лета – начале осени; максимальное охлаждение происходит в середине зимы. В таблице 1 помещены значения годовой амплитуды, рассчитанные как разница температуры между максимальными и минимальными значениями в годовом ходе.

Таблица 1. Средние многолетние значения годовой амплитуды температуры почвы на разных горизонтах

Индекс станции	Название станции	Годовая амплитуда на горизонте, °С			
		20 см	80 см	160 см	320 см
31168	Аян	19,2	13,0	8,5	5,1
32071	Тымовское	15,9	12,1	8,4	5,2
31510	Благовещенск	28,5	20,0	12,7	7,2
31725	Смидович	27,2	17,1	11,1	5,1
31960	Владивосток	26,8	19,2	13,5	–

Уменьшение годовых колебаний температуры происходит по мере увеличения глубины. В пространственном распределении выявлена следующая закономерность: большие сезонные колебания характерны для юга исследуемой территории, меньшие – для севера. Наибольшие амплитуды наблюдаются на станции Благовещенск (от 28,5 °С вблизи поверхности до 7,2 °С на глубине 320 см), наименьшие – на станции Тымовское (от 15,9 °С на горизонте 20 см до 5,2 °С на горизонте 320 см).

Далее было проведено исследование динамики годовой и сезонных температур почвы на глубинах 20,80,160 см (рис.2). В качестве сезонной температуры рассматривалась температура в центральные месяцы сезонов (январь, апрель, июль, октябрь). Повышение температуры почвы по построенному линейному тренду выявлено на более 80% станций. Средняя скорость повышения температуры на всех глубинах зимой составила 0,24°С/10 лет (0,3°С/10 лет на глубине 80 см); весной – 0,18°С/10 лет (0,25°С/10 лет на глубине 160 см); летом – 0,33°С/10 лет (0,41°С/10 лет на горизонте 240 см); осенью – 0,31°С/10 лет (0,33°С/10 лет на глубине 120 см) [2, с.323].

Для определения продолжительности сезонного оттаивания определялись даты промерзания и оттаивания почвы за каждый год на горизонтах 20, 80 и 160 см. За дату промерзания выбиралось значение температуры почвы ниже нуля градуса, а за дату оттаивания – выше нуля. В результате анализа календаря характеристик сезонного оттаивания было выявлено: сезонное промерзание деятельного слоя на севере исследуемого района начинается в среднем в конце ноября; с глубиной дата замерзания смещается, в среднем наступает в конце декабря – начале января. В центральной и южной части района замерзание почвы начинается позже, в начале декабря, на нижележащих глубинах – в январе – феврале. Таяние почв на северных станциях начинается в мае, на глубине почва достигает положительной температуры в среднем в середине июня. На центральных станциях температура выше нуля градусов выявлена уже в апреле; на южных станциях – в конце марта-начале апреля (таблица 2).

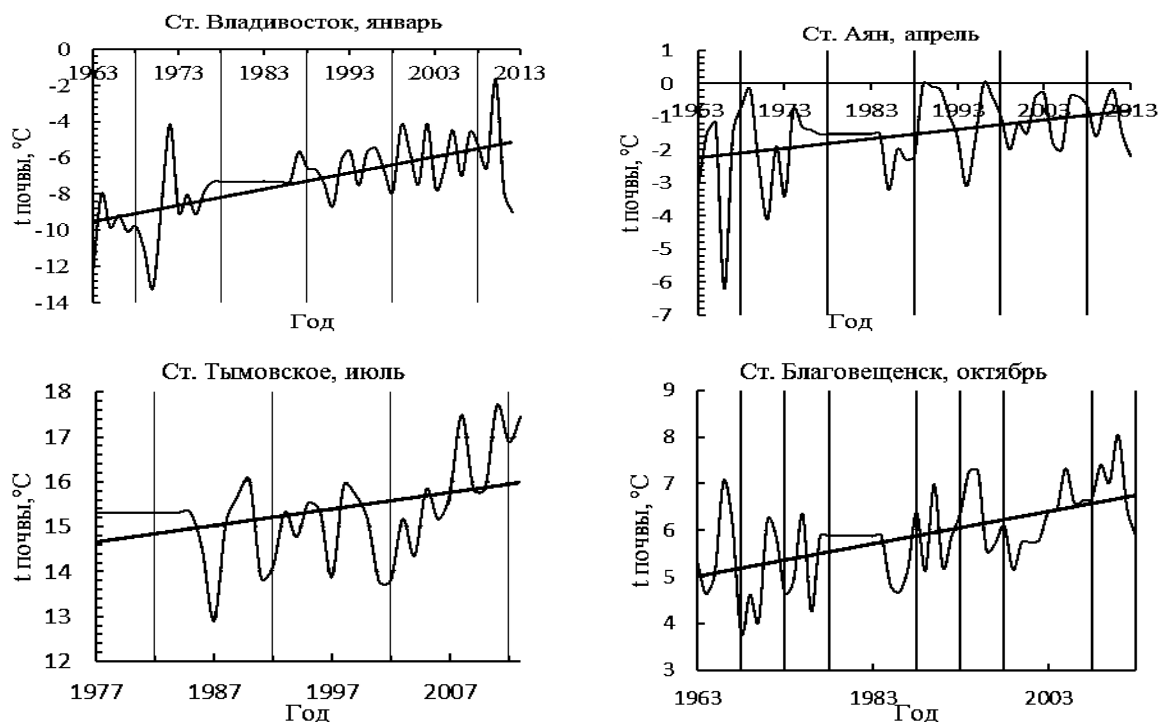


Рис. 2. Динамика температуры почвы на глубине 20 см (жирная линия – линейный тренд).

Таблица 2 Характеристики сезонного оттаивания почвы в районах юга Дальнего Востока

20 см						
Название станции	Даты замерзания			Даты оттаивания		
	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя
Аян	25.11	20.01	26.10	21.05	11.06	14.04
Тымовское	25.01	7.03	7.12	25.04	13.05	23.03
Благовещенск	12.11	1.12	29.10	8.04	18.04	29.03
Смидович	20.11	29.11	10.11	12.04	23.04	28.03
Владивосток	28.11	13.12	12.11	31.03	12.04	13.03
80 см						
Название станции	Даты замерзания			Даты оттаивания		
	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя
Аян	26.01	9.03	17.11	31.05	2.07	6.04
Тымовское	–					
Благовещенск	13.12	30.01	29.11	6.05	15.05	1.04
Смидович	22.01	23.03	7.12	17.05	6.06	30.03
Владивосток	3.01	16.12	23.02	13.04	9.05	9.03
160 см						
Название станции	Даты замерзания			Даты оттаивания		
	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя
Аян	13.02	15.04	24.12	29.06	2.08	15.05
Тымовское	–					
Благовещенск	12.02	20.03	21.01	6.06	22.06	11.04
Смидович	9.03	25.03	22.02	23.05	30.06	7.04
Владивосток	13.02	28.02	18.01	14.04	12.05	24.03

Продолжительность безморозного периода в регионах юга Дальнего Востока с севера на юг увеличивается как на поверхности, так и в нижележащих слоях. С глубиной безморозный период

имеет большую продолжительность, чем на поверхности почвы. (рис. 3). Так, на севере района средняя продолжительность 185-200 дней в верхних слоях почвы, южнее продолжительность увеличивается до 240-300 дней. Наименьшая продолжительность безморозного периода в почвах наблюдается в Амурской области, средняя продолжительность сезонного оттаивания составляет около 208 дней, наибольшая – в Сахалинской области, где положительные температуры отмечаются в году около 256 дней.

Глубина промерзания почвы с севера на юг, естественно, уменьшается. По нашим данным средняя глубина промерзания в Амурской области, на севере Хабаровского края, в Еврейской автономной области составляет приблизительно 300 см (глубже температуры почвы положительные); на юге Хабаровского края, Приморья – 80-120 см. В Сахалинской области положительные температуры наблюдаются почти на всех горизонтах, кроме северных станций, где глубина промерзания составляет 80 см.



Рис. 3. Средняя продолжительность безморозного периода в Амурской области, дни (на оси абсцисс станции расположены с севера на юг).

### Литература

1. Корнева И.А. Современные климатические изменения нижней тропосферы и деятельного слоя почвы в Московском регионе: диссертация канд. геогр. наук: 25.00.30; [Место защиты: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова] Москва, 2015, 247 с.
2. Материалы Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам, Владивосток, 16–30 апреля 2018 г. [Электронный ресурс] / Отв. ред. А.В. Малюгин. – Электрон. дан. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2018. – Режим доступа: [https://www.dvfu.ru/schools/school\\_of\\_natural\\_sciences/sciences/the-conference/new-page.php](https://www.dvfu.ru/schools/school_of_natural_sciences/sciences/the-conference/new-page.php).
3. Шерстюков А. Б. Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176, С.233
4. Шерстюков А. Б. Статистический контроль массива суточных данных температуры почвогрунтов // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176. С.224

## ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА И ДИАГНОЗА МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ МНОГОЯЧЕЙКОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАТОРА

Ю.П. Михайловский<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.А. Синькевич<sup>1</sup>, д-р техн. наук, А.М. Абшаев<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

## FEATURES OF THE FORECAST AND DIAGNOSIS OF THE LIGHTNESS ACTIVITY OF MULTICELL CONVECTIVE CLOUDS ACCORDING TO THE RADAR INFORMATION

Yu. P. Mikhailovsky<sup>1</sup>, Cand. Sc., A.A. Sinkevich<sup>1</sup>, Dr. Sc., A.M. Abshaev<sup>2</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Main Geophysical Observatory. A.I. Voeikova, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>High Altitude Geophysical Institute, Nalchik, Russia

*Представлен анализ особенностей развития электрических процессов в многоячейковом облаке. Используются данные МРЛ-5 и грозопеленгационной системы LS8000. Получена тесная корреляционная связь частоты молний, фиксируемых в низко- и высокочастотном диапазонах с объемом переохлажденной части с отражаемостью более 35 дБZ, как для одноячейкового, так и для многоячейкового облака. Для анализируемых облаков установлено, что одноячейковые облака генерируют большее количество молний на единицу объема переохлажденной части.*

*The analysis of the features of the development of electrical processes in a multi-cell cloud is presented. The data from MRL-5 and the LS8000 thunderstrip system was used. A close correlation was obtained between the frequency of lightning recorded in the low and high frequency ranges with the volume of the supercooled part with a reflectivity of more than 35 dBZ both for single-cell and multi-cell clouds. For the analyzed clouds, it was found that single-cell clouds generate a greater number of lightning per unit volume of the supercooled part.*

### **Введение.**

Большинство грозовых и грозоградовых облаков представляют собой так называемые «многоячейковые» облака [6,8]. Отдельные конвективные ячейки, составляющие многоячейковое облако, могут существенно влиять друг на друга и определять его развитие и продолжительность существования [1, 5, 6, 7, 8]. Интенсификация процессов динамики и осадкообразования может быть обусловлена влиянием электрических полей, более развитых в электрическом смысле облаков на процессы осадкообразования и динамику вновь образующихся соседних («фидерных») [5, 7]. И.М. Имянитов полагал, что электрические силы могут оказывать влияние на осадкообразование равносильное увеличению влажности в облаке на порядок. В ГГО были выполнены работы, которые подтвердили эти предположения. Усиление (ускорение) осадкообразования в свою очередь интенсифицирует электризацию облака. Таким образом, за короткое время уровень опасных явлений погоды (ОЯП), связанных с конвективными облаками, может существенно вырасти за счет этих процессов. Что необходимо учитывать при прогнозе и диагнозе ОЯП. Исследование этих вопросов представляет научный и практический интерес еще и потому, что многие используемые на практике методики воздействий на облачные образования основаны на воздействиях на «фидерные» облака, т.е. на вновь образующиеся периферийные, растущие ячейки, которые затем могут сливаться с ячейками существующего облачного образования. Углубление понимания происходящих при этом процессов позволит совершенствовать методики АВ. Такие же процессы имеют место и при развитии суперячейковых градовых облаков, когда периферийные фидерные облака вовлекаются в систему основного восходящего потока, являющегося мощным генератором электрического поля и зарядов [1, 6, 7, 8].

### **Сравнительный анализ эволюции 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 LS-8000 одноячейкового облака, развивавшегося в районе городов Эссентуки –

Пятигорск 29 мая 2012 года (облако 1) и многоячейковой облачной системы, развивавшейся в районе Кисловодска 29.06.2015, (облако2) [1, 5].

В работах [2, 3, 5] предлагается использовать интегральные радиолокационные параметры, характеризующие количество крупных ледяных частиц в облаке, для диагноза электрического состояния облака. К таким параметрам относится объем переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ ( $V_{35}$ , км<sup>3</sup>).

В облаке 1 первые разряды в СВЧ диапазоне наблюдались на ранней стадии развития облака через 3 минуты после появления облака на экране МРЛ при высоте верхней границы (Н) 8 км, максимальной отражаемости ( $Z_m$ ) 29 дБZ, интенсивности осадков по р/л данным SRI=1.16 мм/час и  $V_{35}=0$  км<sup>3</sup> [5]. Разряды в НЧ диапазоне были зафиксированы через 12 минут, т.е. на 15 минуте. При этом Н=8.2км.,  $Z_m=42$ дБZ, SRI=15.4 мм/час,  $V_{35}=72$  км<sup>3</sup>. В это время  $F_{свч}=44$  л/мин. Максимальные частоты разрядов в НЧ и СВЧ диапазонах (23 и 448) зафиксированы на 68 минуте развития облака при Н= 13.7 км,  $Z_m=60$ дБZ, SRI=100 мм/час,  $V_{35}=587$ км<sup>3</sup>, причем все эти значения также являются максимальными. Средний градиент частот от появления разрядов до достижения максимумов составлял 1.1 и 12.4 соответственно.

В облаке 2, эволюция радиолокационной структуры которого представлена на Рисунке 1, первые разряды в СВЧ диапазоне наблюдались также на ранней стадии развития облака, через 8 минут после появления облака на экране МРЛ, при высоте верхней границы (Н) 8.5 км, максимальной отражаемости ( $Z_m$ ) 41 дБZ, SRI=17.8 мм/час  $V_{35}=68$  км<sup>3</sup>[1]. Разряды в НЧ диапазоне были зафиксированы через 22 минуты, т.е. на 30 минуте. При этом Н=10.2 км и  $Z_m=49$ дБZ, SRI=36 мм/час – максимальное по ячейкам и 90 мм/час – суммарное по всем ячейкам,  $V_{35}=507$ км<sup>3</sup>. Максимальные частоты разрядов в НЧ и СВЧ диапазонах (10 и 217) зафиксированы на 64 минуте развития облака при Н= 10.3 км.,  $Z_m=59$ дБZ, SRI= 87 мм/час максимальное и 107 мм/час суммарное,  $V_{35}=970$  км<sup>3</sup>. Средний градиент частот в НЧ и СВЧ диапазонах составлял 0.3 и 3.9 соответственно.

Были определены статистические связи частоты разрядов в СВЧ и НЧ диапазоне с объемом переохлажденной части для обоих облаков. Уравнения линейной регрессии и коэффициенты корреляции для одноячейкового облака за все время его существования представлены

$$F_{нч} = -0.04 + 0.03V_{35}; r = 0.88; F_{свч} = 9.7 + 0.58V_{35}; r = 0.77; (\text{Облако 1})$$

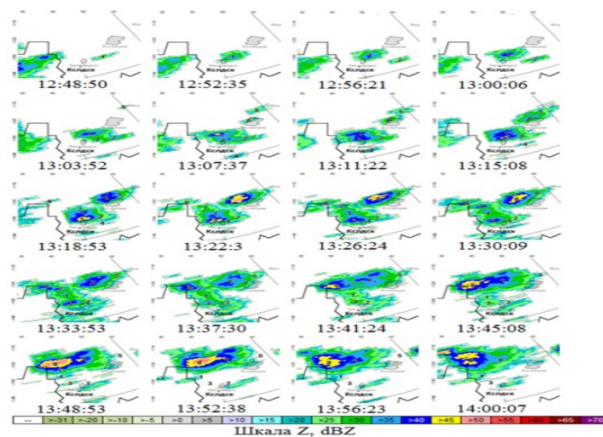


Рис. 1. Развитие многоячейкового облака 2

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.

Как видно из рисунка 2, для облака 1 на стадии развития связь  $F_{нч}$  с  $V_{35}$  близка к линейной, а связь  $F_{свч}$  с  $V_{35}$  лучше описывается квадратичным полиномом. Линейные и квадратичные регрессионные уравнения, аппроксимирующие эти связи, представлены ниже:

$$F_{нч} = -0.21 + 0.031V_{35} r = 0.81$$

$$F_{свч} = -25.5 + 0.55V_{35} r = 0.82$$

$$F_{\text{СВЧ}} = 22.7 - 0.36V_{35} + 0.0016(V_{35})^2$$

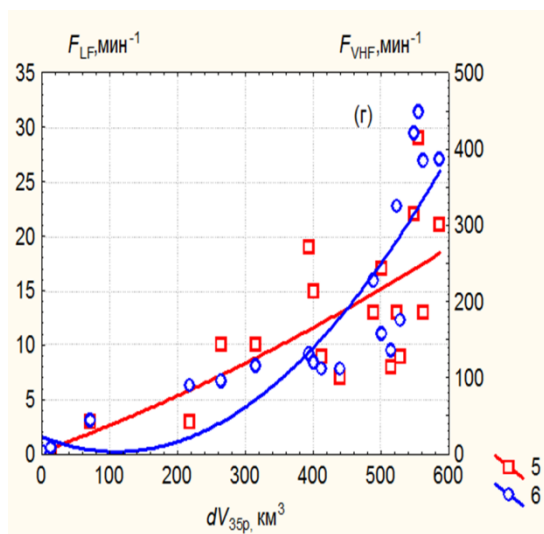


Рис. 2. Статистические связи частот молний в низко- и высокочастотном диапазонах (кривые 5 и 6 соответственно) с объемом переохлажденной части одноячейкового облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития.

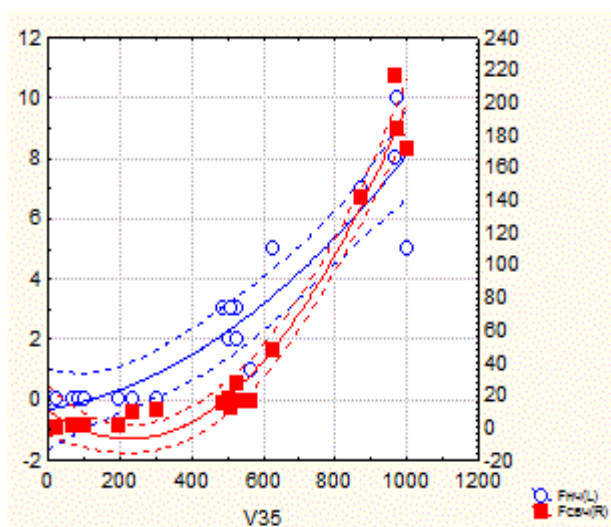


Рис. 3. Статистические связи частот молний в низко- и высокочастотном диапазонах с объемом переохлажденной части многоячейкового облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития.

На Рисунке 3 представлены аналогичные связи для многоячейкового облака (2). Рассчитаны линейные и квадратичные регрессионные уравнения для многоячейкового облака.

$$F_{\text{НЧ}} = -1.2 + 0.0084 V_{35} \quad r = 0.90$$

$$F_{\text{СВЧ}} = -37 + 0.19 V_{35} \quad r = 0.86$$

$$F_{\text{НЧ}} = -0.31 + 0.002V_{35} + 0.0000065(V_{35})^2$$

$$F_{\text{СВЧ}} = 11 - 0.16V_{35} + 0.00012(V_{35})^2$$

Из сравнения представленных рисунков и регрессионных уравнений видно, что исследуемые связи частот молний с объемом переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ существенно различаются для облаков 1 и 2. Одноячейковое облако генерирует в несколько раз больше молний, чем многоячейковое, имеющее одинаковую суммарную переохлажденную зону с отражаемостью более 35 дБZ, т.е. сумму переохлажденных частей всех ячеек, входящих в облако с соответствующими отражаемостями на данном обзоре. Сравнивая параметры анализируемых облаков во время максимальных значений (смотри выше), можно заметить, облако 1 имеет практически одинаковые значения с облаком 2 Zm и SRI, существенно выше облака 2 (на 3.4 км.) и имеет существенно меньший объем  $V_{35}$  (587 км³ против 970). При этом частоты молний в одноячейковом облаке в 2 раза выше. Существенно (более чем в 3 раза) различаются также средние скорости увеличения частот молний за время от начала молниевой активности до достижения максимальных значений. Таким образом, на основании анализа развития этих облаков можно сделать предварительный вывод, что одноячейковые облака более электрически активны, чем многоячейковые, имеющие аналогичные суммарные переохлажденные части. Необходимо отметить, что эти предварительные выводы сделаны на основании анализа развития 2-х облаков. Анализ развития и взаимодействия ячеек данного многоячейкового облака, проведенный ранее, показал, что в данном облаке не наблюдалось классического явления «слияния» ячеек [1]. Отдельные ячейки сохраняли признаки обособленности, несмотря на наличие общих контуров отражаемости [1].

Для многоячейковых облаков, также, как и для одноячейковых, наблюдается тесная корреляционная связь частот молний в НЧ и СВЧ диапазонах с  $V_{35}$  коэффициентами корреляции 0.90 и 0.86 соответственно.

При предварительном анализе отмечено, что временной интервал между началом молниевой активности в СВЧ и НЧ диапазонах для облака 1 значительно короче. Учитывая, что разряды в НЧ диапазоне обычно ассоциируются с разрядами «облако – земля», а разряды в СВЧ диапазоне

с внутриоблачными или «облако – облако», можно предположить, что в многоячейковом облаке условия для развития разрядов между соседними ячейками более благоприятны, чем для разрядов на землю. Этот тезис является следствием исследования 2-х облаков и, конечно, нуждается в дальнейшей проверке.

#### **Выводы.**

Анализ связей электрических характеристик с радиолокационными для одно- и многоячейкового облака показал, что они достаточно тесно связаны друг с другом для обоих облаков, в частности частоты молний в НЧ и СВЧ диапазонах коррелируют с объемом переохлажденной части с отражаемостью более 35 дБZс  $r = 0.8 - 0.9$  и эти связи могут быть объяснены в рамках неиндукционного контактного механизма электризации, с решающей ролью крупных ледяных частиц.

Установленные линейные и квадратичные регрессионные связи частот и объемов существенно различаются для одно – и многоячейкового облака.

Сравнительный анализ особенностей развития выбранных облаков показал, что одноячейковые облака более электрически активны, чем многоячейковые, имеющие аналогичные суммарные переохлажденные частицы отражаемостью более 35 дБZ.

При предварительном анализе отмечено, что в многоячейковом облаке молниевая активность также начинается с регистрации молний в СВЧ диапазоне, но временной интервал между началом молниевой активности в СВЧ и НЧ диапазонах для него значительно длиннее (12 и 22 минуты). Можно предположить, что в многоячейковом облаке условия для развития разрядов между соседними ячейками более благоприятны, чем для разрядов на землю.

Развитие ячеек, проходящее под влиянием электрических полей, более развитых в электрическом смысле ячеек, отличается более интенсивными процессами осадкообразования и динамики.

#### **Литература**

1. А. М. Абшаев, М. Т. Абшаев, А.Х. Аджиев, Я. А. Садыхов, А. Б. Чочаев, А. А. Синькевич, Ю. П. Михайловский. Анализ развития и взаимодействия ячеек в грозоградовых облаках. Тр. ГГО, 2017, вып. 586, с. 93-116).
  2. Аджиев А. Х., Тапасханов В. О., Стасенко В. Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе. — Метеорология и гидрология, 2013, №1, с. 5—11.
  3. Михайловский Ю. П. Методика и результаты самолетных воздействий на электризацию конвективных облаков. — Труды ГГО, 2015, вып. 577, с. 197—211.
  4. 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.
  5. 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
  6. Синькевич А. А., Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Михайловский Ю. П. Слияние конвективных облаков. – СПб. 2018. – 280 с.
  7. Синькевич А.А., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Михайловский Ю.П., Попов В.Б. Слияние конвективных облаков. Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Часть 1. Изд. АЭТЕРНА, Часть 1. Нальчик, 2017, с.141- 146.
  8. Sinkevich A.A. , T.W. Krauss Changes in thunderstorm characteristics due to feeder cloud merging. J. of Atmospheric Research., Volume 142, 1 June 2014, Pages 124–132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres>.
- Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 16-05-00197\_a, 17-05-00965\_a, БРИКС\_t 18-55-80020.*

*The work was prepared with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, grants 16-05-00197\_a, 17-05-00965\_a, BRICS\_t 18-55-80020.*



## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА

С.В. Михальцева<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, И.А. Бычкова<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, В.Г. Смирнов<sup>1</sup>, С.Р. Буткевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## AUTOMATED DETERMINATION OF THE SEA ICE COVER CONCENTRATION USING SATELLITE DATA OF THE OPTICAL SPECTRAL RANGE

S.V. Mikhaltseva<sup>1</sup>, Cand. Sc., I.A. Bychkova<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.G. Smirnov<sup>1</sup>, S.R. Butkevich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Излагается метод определения общей сплоченности ледяного покрова по спутниковым оптическим изображениям, основанный на объективных методах анализа двумерных полей. Приведены примеры использования разработанной технологии для картирования ледяного покрова в арктических морях.*

*A method for determining the total sea ice concentration using satellite optical images based on objective methods for analyzing two-dimensional fields is considered. Examples of the use of developed technology for ice cover charting in the Arctic seas are presented.*

### **Введение.**

Необходимость разработки нового метода автоматизированного определения характеристик ледяного покрова, в частности, общей сплоченности, обусловлена интенсификацией хозяйственной деятельности и ростом судоходства в Западной арктической зоне РФ. Оперативное предоставление актуальной информации о характеристиках ледяного покрова выполняется посредством передачи тематически обработанных спутниковых данных на удаленные терминалы по спутниковым каналам связи. В настоящее время для подготовки на регулярной основе оперативных ледовых карт по арктическим районам применяют, в основном, визуальные методы дешифрирования ледяного покрова по оптическим спутниковым снимкам и радиолокационным изображениям. Продуктом визуальной интерпретации является ледовая карта, на которой детали ледовой обстановки отображаются символами, принятыми ВМО [1, 2]. Недостатками этого метода являются субъективность экспертной оценки, трудоемкий и времязатратный процесс, особенно, если требуется высокая степень детализации ледовых карт. Методы автоматизированного определения характеристик льда позволят значительно снизить роль субъективного фактора при картировании ледяного покрова, повысить скорость подготовки информационного продукта.

### **Используемые методы.**

Сегментация изображения морских льдов в оптическом диапазоне на зоны различной сплоченности ледяного покрова производится в два этапа. На первом этапе происходит пороговая классификация, при которой каждый пиксел морской поверхности ассоциируется либо с ярким объектом (морской лед), либо с темным фоном (вода). Главной задачей 1-го этапа обработки данных является получение контуров ледяных полей, для дальнейшего расчета сплоченности ледяного покрова.

Территория суши исключается из рассмотрения с помощью наложения маски в виде шейп-файла суши. Участки, занятые облачностью и туманом, также исключаются из анализа. Для подготовки шейп-файла облачности используется информация нескольких оптических спектральных каналов. Тени от облаков на оптических снимках могут иметь практически такие же значения спектральной яркости, как и открытая вода, поэтому при автоматизированной классификации тени от облаков и вода могут попасть в один класс объектов. Такие участки маскируются отдельно. Также возможно введение и еще другого локального порога яркости – для зон изображения, находящихся в зоне полупрозрачной облачности, когда контуры ледяных образований просматриваются сквозь тонкие облачные слои.

Метод определения сплоченности морского льда по данным оптического диапазона основан на использовании пороговых значений для разделения открытой воды и льда. Пороговая классификация изображения морских льдов выполняется по методу японского ученого Отсу

(Otsu), основанному на построение гистограммы двумерного поля яркости для расчета порога  $t$  [3]. Метод применим для изображения, гистограмма которого имеет два четко разделяющихся класса. В этом случае нахождение порога между классами по методу Отсу сводится к минимизации внутриклассовой дисперсии, которая определяется как взвешенная сумма дисперсий двух классов:

$$\sigma_{\omega}^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t), \quad (1)$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – вероятности первого и второго классов соответственно, а  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  – дисперсии этих классов.

Отсу показал, что минимизация внутриклассовой дисперсии эквивалентна максимизации межклассовой дисперсии, которая равна:

$$\sigma_b^2(t) = \omega_1(t)\omega_2(t) [\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2, \quad (2)$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – средние арифметические значения этих двух классов. Значения  $\mu_i$  могут обновляться итеративно при изменении порога.

Метод Отсу считается наиболее эффективным среди методов глобальной бинаризации. К недостаткам метода относится размытие линий, и как результат нечувствительность к узким разводам и трещинам в более массивных полях льда. Начальные стадии льда (снежура, шуга) и темный нилас, находящиеся среди ярких ледяных полей однолетнего льда, могут быть ассоциированы с открытой водой ввиду низкой яркости. Применение метода Отсу к спутниковым изображениям морских льдов также не всегда позволяет выделить мелкие объекты (льдины), размером менее пикселя, из-за уменьшения яркости пикселя при частичном попадании в него водной поверхности, имеющей меньшую яркость по сравнению со льдом.

На втором этапе обработки изображения морских льдов выполняется расчет сплоченности льдов по квадратам регулярной сетки. На данный момент для региона Западной Арктики и Баренцева моря шаг сетки составляет  $a=25$  км, а для Карского моря –  $a=12,5$  км. Применительно к этим конкретным сеткам по спутниковым данным проводится оценка сплоченности ( $N$ ) морских льдов в баллах для каждого элемента сетки, площадью  $a^2$ :

$$N = \frac{\sum(A_i)}{n} \times 10, \quad (3)$$

где  $A_i$  – значение яркости в пикселе на бинарном снимке ( $A_i=0$  для воды и  $A_i=1$  для льда),  $n$  – количество информативных пикселей в квадрате сетки (т.е. без пикселей суши и облачности).

На рисунке 1 дан пример бинаризации изображения панхроматического канала прибора ЕТМ искусственного спутника Земли Landsat-7 по методу Отсу с последующим расчетом общей сплоченности морских льдов.

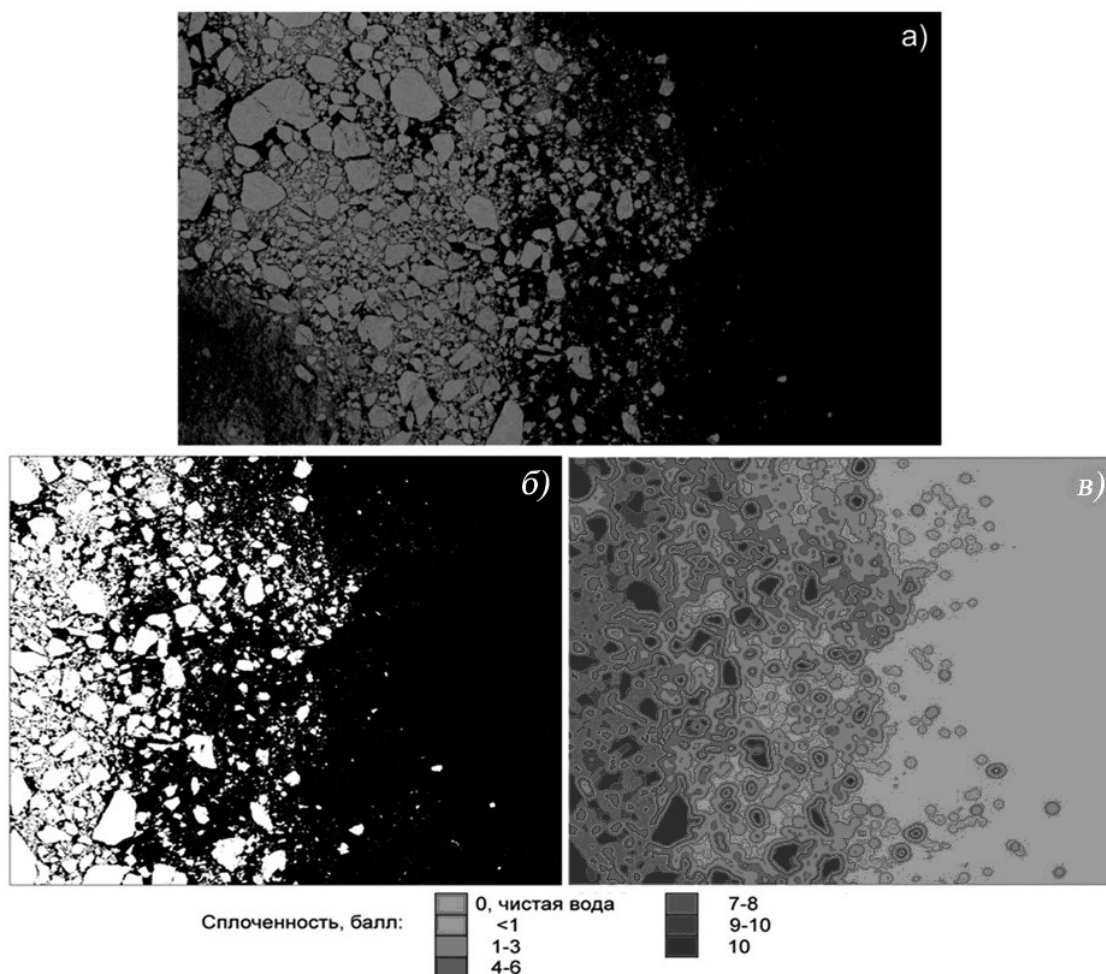


Рис. 1. Пример оценки сплоченности морских льдов по спутниковому снимку оптического диапазона

а) Фрагмент изображения ETM/ Landsat-7, 8 канал, Арктический бассейн; б) бинарное изображение, полученное по исходному снимку ETM/ Landsat-7 с помощью метода Отсу; в) сплоченность морского льда, рассчитанная для снимка 1б

Описанный алгоритм был применен при создании специализированного программного обеспечения (ПО), предназначенного для автоматизированного определения сплоченности ледяного покрова по спутниковым данным оптического диапазона и радиолокационным изображениям. Выходной файл ПО представляет последовательность текстовых строк, каждая из которых содержит номер ячейки по широте, номер ячейки по долготу, широта центра ячейки, долгота центра ячейки и сплоченность льда в ячейке. Номера и координаты ячеек соответствуют номерам и координатам ячеек в файлах координатных сеток, пример приведен на рисунке 2в.

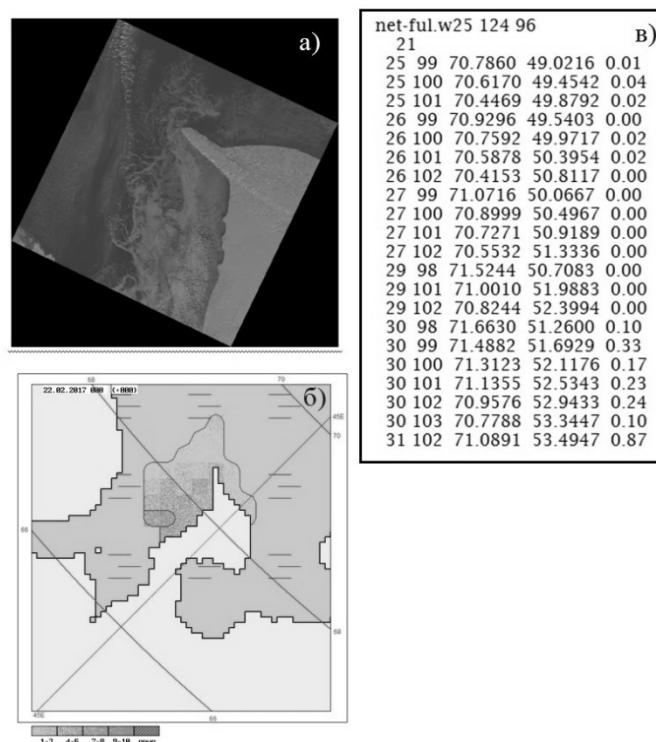


Рис. 2. Пример обработки спутникового изображения Landsat-8  
 (а) спутниковый снимок Landsat-8; б) отображение результатов работы программы на карте;  
 (в) текстовый файл с рассчитанной сплоченностью в узлах сетки

### Заключение.

Автоматизация процесса определения сплоченности по спутниковым изображениям позволит сократить время обработки дистанционных данных, что приведет к форсированию процесса оперативной передачи тематически подготовленной информации потребителю. Результатом минимизации субъективного фактора станет улучшение достоверности полученных оценок сплоченности ледяного покрова и снижению процента возможных ошибок. Для оценок характеристик ледяного покрова может использоваться некоммерческая информация оптического диапазона, таких как Aqua, Terra/MODIS, Landsat-8, Suomi NPP и других.

Спутниковые данные оптического диапазона позволяют получить детализированные ледовые карты общей сплоченности, однако получение таких карт возможно лишь при благоприятных облачных условиях, что является большим ограничением для использования данного метода в Арктическом регионе. Предусмотрена обработка территорий, покрытых полупрозрачной облачностью верхнего яруса (cirrus), а также участков, покрытых тенью. Использование описанного метода невозможно в условиях полярной ночи, которая имеет длительность до полугода в отдельных районах Арктики.

### Литература

1. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов / Под общ. ред. Б. А. Крутских. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 56 с.
2. Номенклатура ВМО по морскому льду // ВМО. Женева, 1970. № 259. Тр. 145.
3. N. Otsu (1979). «A threshold selection method from gray-level histograms». IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. 9: 62-66.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 18-05-60124\18 от 31.05.2018 г.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research Grant No. 18-05-60124 \ 18 dated 05.31.2018.

## РЕАКЦИЯ ДВУХСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACOMA BALTHICA* НА ПОВЫШЕННУЮ ПЛОТНОСТЬ ПОСЕЛЕНИЯ

А.С. Молодцова<sup>1</sup>, Д.В. Молодцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Эколого-биологический центр «Крестовский остров», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

## RESPONSE OF *MACOMA BALTHICA* BIVALVE MOLUSCS TO THE INCREASED DENSITY OF SETTLEMENT

A.S. Molodtsova<sup>1</sup>, D.V. Molodtsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«Krestovsky Island» Ecological and Biological Centre, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*Работа посвящена определению связи миграционного поведения двустворчатого моллюска *Macoma balthica* с плотностью поселения. Исследования были проведены в Белом море на острове Рязжков. Выявлено, что миграционное поведение запускается при приблизительно удвоенной естественной плотности.*

*The paper is devoted to determining the correlation of the migration behavior of the bivalve mollusk *Macoma balthica* with its density of settlement. The research was made in the White Sea on Ryazhkov island. It is revealed that the migration behavior starts under approximately doubled natural density.*

*Macoma balthica* - двустворчатый моллюск, широко распространённый на литорали и в сублиторали северных морей. Встречается в илисто-песчаных грунтах разной степени заиления, реже – в песчаных [1]. Этот моллюск является детритофагом.

Для данного вида характерна высокая изменчивость плотности поселения как в пространстве, так и во времени. Основной причиной изменений плотности *M. balthica* является пополнение их поселений молодью. Расстояния, на которые мигрируют макомы, зависит от размера их раковины и длины биссусных нитей, некоторые миграции превышают 10 м. Крупные особи не способны к биссусному дрейфу и могут перемещаться на расстояния не больше метра. В настоящий момент нет единого мнения относительно того, какие факторы запускают миграционное поведение маком [2].

Одним из возможных механизмов, запускающих процесс миграции, могут быть внутривидовые взаимоотношения. Целью данной работы является определение наличия связи миграционного поведения *M. balthica* с плотностью его поселения.

### **Материалы и методы.**

Экспериментальные исследования проводились в летний период на илисто-песчаном пляже острова Рязжков (территория Кандалакшского государственного заповедника). Для проведения эксперимента было подготовлено 25 площадок с дефаунированным грунтом. Грунт для площадок был просеян через сито с диаметром ячеей 1 мм. Все остатки, включая животных, не прошедшие через сито, были удалены в море на расстояние не менее 5 м. Углы площадок помечались с помощью железных колышков с цветовой маркировкой, обозначающей тип площадки. После завершения описанных работ стальная рамка извлекалась из грунта. Вся серия площадок располагалась в линию параллельно урезу воды на нижней части средней литорали с промежутком 0,5 м между площадками. Площадки были разделены на пять типов (по пять повторностей в каждом):

1. Площадки с плотностью поселения маком уменьшенной в два раза по сравнению с естественной (0.5X).

2. Площадки с естественной плотностью поселения маком (1X).

3. Площадки с удвоенной естественной плотностью поселения (2X).

4. Площадки с плотностью, увеличенной в 4 раза (4X).

5. Площадки с плотностью, увеличенной в 6 раз (6X).

Для площадок первого типа была задействована квадратная рамка со стороной 12 см и высотой бортика 6 см. Рамка вдавливалась в грунт на всю высоту бортика. Далее площадь, ограниченная рамкой, делилась в равных соотношения на две части, и из одной половины

извлекался грунт. Этот грунт был промыт через сито с диаметром ячеей 2 мм. Материал, оставшийся на сите после просеивания грунта, складывался в пластиковый контейнер. Таким образом, было получено 5 контейнеров, в каждом из которых содержалось столько маком, сколько их присутствовало в половине площади, ограниченной рамкой. Для подготовки материала для площадок второго типа (естественная плотность) выкапывали грунт со всей площади рамки. Аналогично для подготовки материала для площадок третьего типа (удвоенная плотность) в один контейнер складывался материал из двух рамок. Для площадок четвертого и пятого типа – в один контейнер складывался материал из четырех и шести рамок соответственно. Сбор экспериментального материала проводился в непосредственной близости от подготовленных площадок на таком же расстоянии от уреза воды.

Содержимое каждого контейнера далее было разделено на три фракции с помощью почвенных сит с диаметром ячеей 2 мм, 5 мм и 7 мм. Данная конструкция была помещена в таз с морской водой, а сверху на сито 7 мм выкладывался материал из одного контейнера. В дальнейшем система сит аккуратно встряхивалась так, чтобы произошло разделение маком на размерные фракции. Макомы, которые остались на сите 7 мм, далее будут обозначаться, как «крупные макомы». Особи, прошедшие через сито 7 мм, но оставшиеся на сите 5 мм – как «средние макомы». Особи, которые остались на сите 2 мм – как «мелкие макомы».

После разделения моллюсков на размерные фракции было подсчитано количество живых особей каждой размерной группы в каждом контейнере. После подсчетов все макомы вновь были объединены в одном контейнере с известным номером. После всех описанных процедур моллюски содержались в контейнерах в свежей морской воде.

На следующий день моллюски были высажены на экспериментальные площадки, подготовленные накануне. При высаживании все особи из одного контейнера были помещены в центр площадки, помеченной кольшками. Площадки находились под визуальным контролем, пока все высаженные макомы не закопались. Таким образом, в начале эксперимента на каждую площадку было высажено известное количество маком разного размера.

Спустя шесть дней на каждой площадке была взята проба квадратной рамкой со стороной 12 см (той же, которая использовалась для сбора маком). Рамка помещалась в центр площадки, так, чтобы ее границы, помеченные кольшками, были на равном расстоянии от углов учетной рамки. Грунт, который изымался из рамки, был промыт через сито с диаметром ячеей 2 мм (как и при сборе маком). Материал с каждой площадки был помещен в отдельный контейнер. После этого в каждом контейнере макомы были разбиты на фракции и были посчитаны в каждой размерной фракции, с помощью описанной выше колонки сит (2 мм, 5 мм, 7 мм). Все моллюски в каждой размерной группе были посчитаны и отпущены.

Математическая обработка экспериментальных результатов проводилась в среде статистического программирования R.

#### **Результаты.**

Сравнение плотности изначально высаженных моллюсков и плотности, обнаруженной в конце эксперимента (рис. 1), показало следующее: у всех размерных групп на малых плотностях (0,5X; 1X; 2X) конечное и начальное обилие практически равны (точки концентрируются вокруг линии  $Y = X$ ). Значения больших плотностей во всех размерных группах отклоняются от линии  $Y = X$  (точки становятся ниже линии  $Y = X$ ). Заметно, что на повышенных плотностях отклонения значений у моллюсков крупного размера больше, чем отклонения у мелких моллюсков. У моллюсков средних размеров отклонения выражены меньше всего.

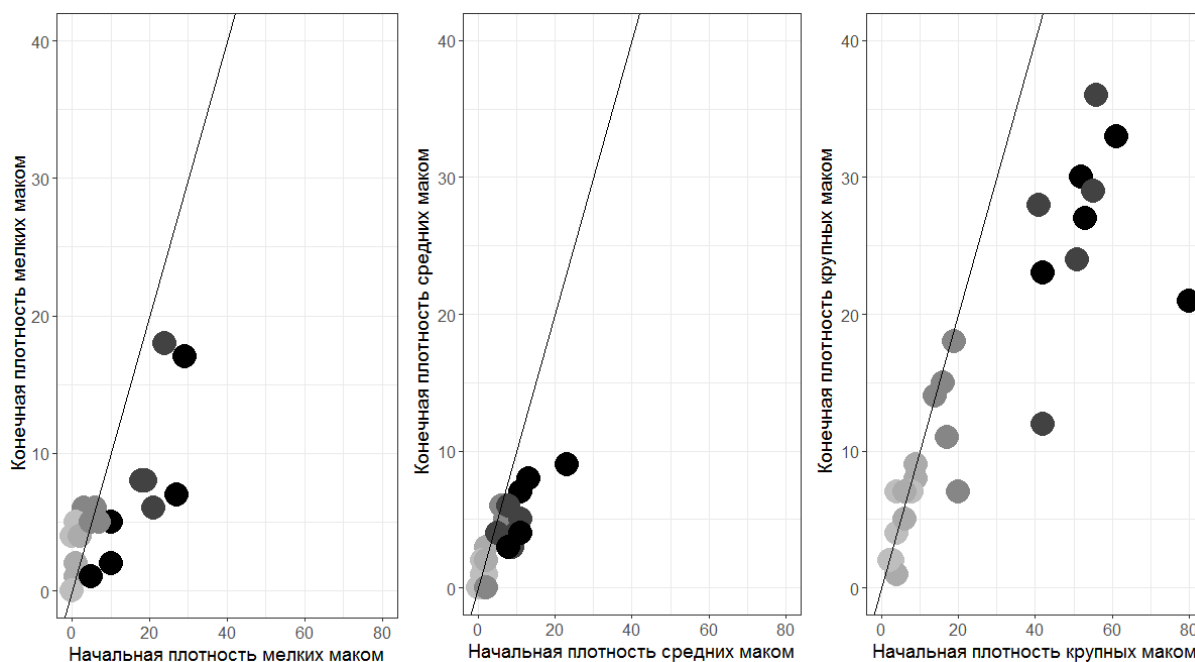


Рис. 1. Соотношение начальной и конечной плотности поселения у моллюсков разных размерных групп при разной искусственно созданной плотности поселения. Цветовые градации соответствуют степени увеличения плотности поселения.

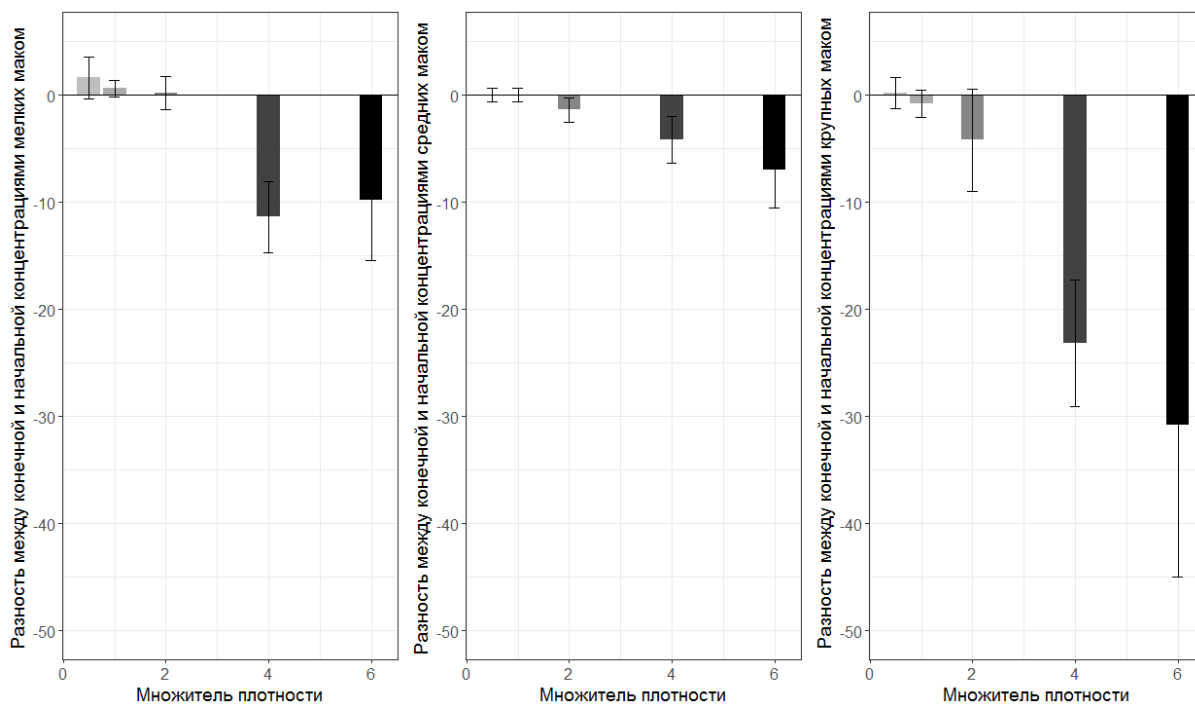


Рис. 2. Средняя разность между конечными и начальными значениями плотности поселения *M. Baltica* для разных размерных групп. «Усы» обозначают 95% доверительный интервал.

На рисунке 2 представлены средние значения разности между конечным и начальным значением плотности поселения разных размерных групп. Можно заметить, что значение «0» входит в доверительный интервал всех размерных групп на плотностях 0,5X, 1X, 2X. Исключение составляет значение разности у моллюсков среднего размера при плотности 2X – в этом случае ноль не входит в пределы доверительного интервала. Таким образом, статистически значимых отличий от нуля в большинстве случаев не наблюдалось при плотностях поселения,

не превышающих удвоенной плотности. Вместе с тем, во всех случаях, когда плотность была увеличена более чем в два раза, значение «0» не входило в границы доверительного интервала. Это означает, что у моллюсков всех размерных классов плотность в конце эксперимент статистически значимо снизилась по отношению к начальному значению. При этом среднее значение разности при повышенных плотностях было заметно больше у крупных моллюсков, чем у остальных размерных групп. Таким образом, при увеличении естественной плотности поселения у моллюсков более чем в 2 раза обилие маком со временем уменьшается.

#### **Обсуждение и заключение.**

На основе анализа полученных результатов можно сделать заключение об уменьшении обилия маком в конце эксперимента вследствие миграции маком за пределы площадки, вызванной плотностно-зависимыми факторами: чем выше плотность поселения, тем больше маком проявляют миграционное поведение. Наиболее интенсивную эмиграцию проявляют макамы крупного размера. Менее выражена эта тенденция у мелких маком. Макамы среднего размера меньше всего демонстрируют реакцию бегства. Конкретные механизмы запускающие процессы миграции не определены в рамках данной работы, однако можно предположить несколько возможных вариантов:

1. При увеличении плотности может возникать больше соприкосновений между моллюсками или их сифонами, что может помешать нормальному питанию *M. baltica*.

2. Во время подготовки площадок для эксперимента грунт был просеян и перемешан, поэтому количество детрита на его поверхности грунта могло уменьшиться. Моллюски могли начать процесс бегства из-за возможного изначального недостатка пищи в начале эксперимента.

3. Большое количество моллюсков могло привлечь хищников, таких как кулики-сороки, которые, в первую очередь, могли выедать крупных маком.

Выяснение конкретных механизмов, вызывающих бегство моллюсков при повышенной плотности поселения - задача для дальнейших исследований, однако уже на этом этапе исследований можно утверждать, что существует критическая плотность, выше которой запускается миграционное поведение. Эта плотность приблизительно равна удвоенной естественной плотности. Естественная плотность поселения не достигает критического значения, но достаточно близка к ней.

#### **Литература**

1. Егорова Э.Н., Сиренко Б.И. Промысловые, перспективные для промысла и кормовые беспозвоночные Российских морей. - М. – СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 285 с.
2. Назарова С.А. Организация поселений *Macomabalthica* (Linnaeus, 1758) в осушной зоне Белого и Баренцева морей: дис. ... канд. биолог. наук: 03.02.10 / С.А. Назарова. – СПб., 2015. – 196 с.



## РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА КАРСКОГО МОРЯ, ВЫЧИСЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ВЕКТОРНЫХ ЛЕДОВЫХ КАРТ ФОРМАТА SIGRID-3

С.В. Молодыхина<sup>1</sup>, Р.И. Май<sup>1</sup>

## REGIME CHARACTERISTICS OF THE SEA ICE COVER OF THE KARA SEA, CALCULATED ON THE BASIS OF INFORMATION OF THE SIGRID-3 VECTOR ICE CHARTS

S.V. Molodyhina<sup>1</sup>, R.I. May<sup>1</sup>

*В статье описывается опыт использования электронных ледовых карт формата SIGRID-3 для расчета режимных характеристик ледяного покрова Карского моря. По оперативным ледовым картам были рассчитаны для каждого месяца среднее и среднеквадратическое отклонение сплоченности и толщины льда, получены оценки характерных размеров ледовых зон.*

*The paper describes the experience of using electronic ice charts of the SIGRID-3 format for calculating the regime characteristics of the ice cover of the Kara Sea. Mean and standard deviation of concentration, thickness and characteristic sizes of ice zones were calculated for each month by operational ice charts.*

### **Введение.**

Ледяной покров – отличительная особенность акваторий Северного ледовитого океана и замерзающих морей, которая создает трудности для навигации и другой хозяйственной деятельности человека на шельфе. С развитием судоходства в первой половине XX века по трассе Северного морского пути, возникла необходимость в получении и распространении оперативных сведений о ледовой обстановке.

В основе оперативной ледовой информации лежит понятие ледовая зона. Ледовая зона – ограниченная область с одинаковыми характеристиками ледяного покрова. Ледовую зону можно выделить методами многомерного статистического анализа по набору пространственно-распределенных характеристик льда. Изначально ледовые зоны выделялись экспертами-ледовыми разведчиками на основе своего опыта по визуальным судовым или авиационным наблюдениям. С 90-х годов ледовые карты составляются экспертами по спутниковым снимкам.

В 2003 году Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) утвердила векторный формат SIGRID-3 для представления, хранения и распространения ледовой информации. В отличие от матричных форматов, в которых характеристики располагаются в узлах сетки, векторные форматы представляют собой набор полигональных объектов. Ледовая карта SIGRID-3 представляет собой связанный набор файлов известного ГИС формата «shapefile». Каждая карта содержит следующие данные по всем отдельным ледовым зонам: географические координаты ледовой зоны, её площадь и периметр, общую сплоченность, сплоченность каждой возрастной градации, формы льда и др.

Архив оперативных ледовых карт может быть источником информации для расчета режимных характеристик ледяного покрова. В данной статье проводится расчет сезонной изменчивости основных характеристик ледяного покрова на примере Карского моря. Изучение режимных характеристик ледяного покрова имеет особое значение не только для морской навигации, но и для экономических аспектов.

### **Материалы и методы.**

Для определения режимных характеристик ледяного покрова Карского моря использовались 1023 ледовые карты в формате SIGRID-3, которые соответствуют периоду с 1997 по 2017 год. Ледовые карты хранятся в Международном Центре Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ) <http://wdc.aari.ru/datasets/>.

Анализ, преобразование и визуализация ледовых карт формата SIGRID-3, осуществлена с помощью программного пакета Matlab. На первом этапе была создана сеточная область с пространственным шагом  $0,25^\circ$  по долготе и  $0,25^\circ$  по широте. Далее был реализован алгоритм перевода характеристик ледовых зон в узлы сеточной области. Преобразование всех ледовых карт позволило получить в каждой ячейке сетки временные ряды параметров ледового покрова (общая сплоченность, эквивалентная толщина льда и размер ледовых зон). Для каждой ячейки

сеточной области и для каждого месяца были получены оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения. Для визуализации толщины использовалась возрастная градация льда, которая содержит в себе информацию о стадии развития ледового покрова.

### Результаты.

Анализ сезонной изменчивости пространственного распределения сплоченности показал, что в Карском море формирование ледяного покрова происходит осенью в направлении с северо-востока на юго-запад (октябрь-ноябрь). Разрушение льда весной происходит в обратном направлении – с юго-запада на северо-восток (май-июнь). Это объясняется воздействием теплых вод Баренцева моря (Рис. 1).

Среднеквадратичное отклонение показывает, что с декабря по апрель характерна наибольшая изменчивость сплоченности для западной части моря, куда поступают теплые водные массы из Баренцева моря, а с мая по сентябрь – всей акватории до 83 широты, где изменению сплоченности способствует таяние льда. Также было отмечено, что севернее 83 широты сплоченность ледяного покрова незначительно меняет свои показания в области полярного пака (Рис.2).

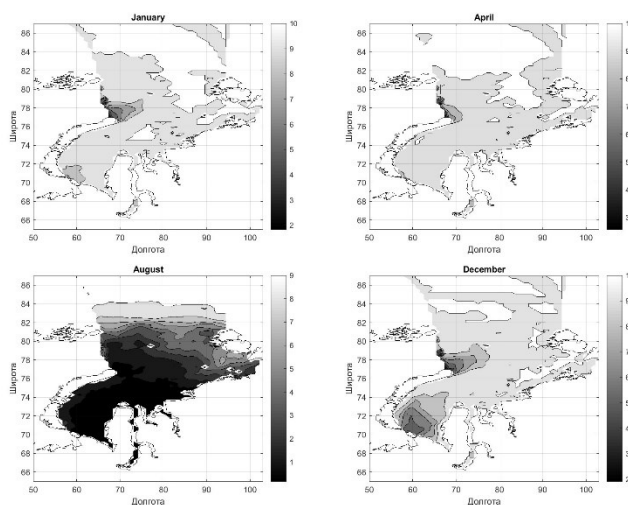


Рис. 1. Средняя сплоченность ледяного покрова

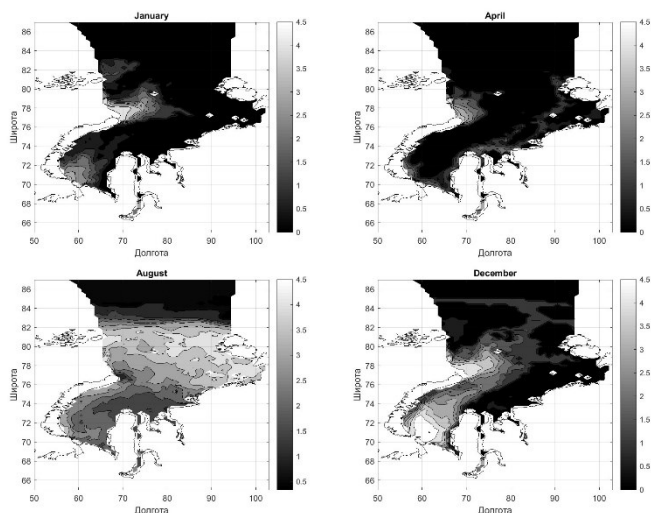


Рис. 2. Среднеквадратическое отклонение сплоченности

Максимальная толщина льда для каждого сезона характерна районам, выше 83 широты. Объясняется это тем, что зимой происходит нарастание новых слоев льда, летом – лёд полностью не исчезает вследствие недостаточно высоких среднесуточных температур. Минимальная

толщина отмечается у берегов. Связано это с тем, что образование льда и увеличение толщины ледового покрова происходит в направлении с северо-востока на юго-запад, а также образованием полыней, с последующим формированием начальных видов льда отжимными ветрами (Рис. 3).

При анализе среднеквадратического отклонения толщины выявлено, что наиболее интенсивное изменение свойственны береговым зонам, а также общее уменьшение толщины и полное исчезновение льда до 75 широты с мая по август. Нарастание льда начинаются в октябре с северо-востока моря (Рис. 4).

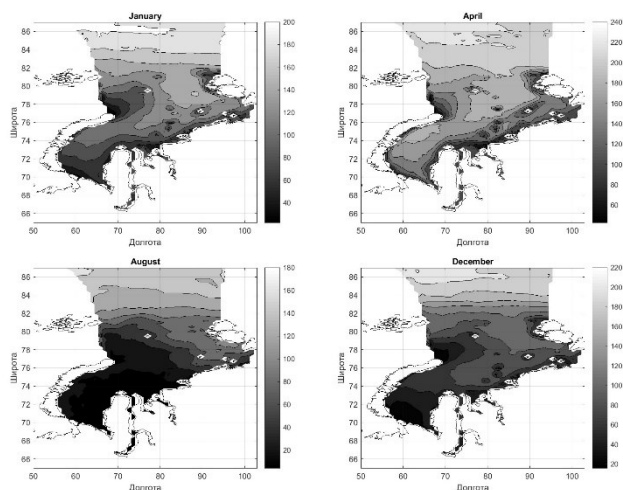


Рис. 3. Средняя толщина ледяного покрова

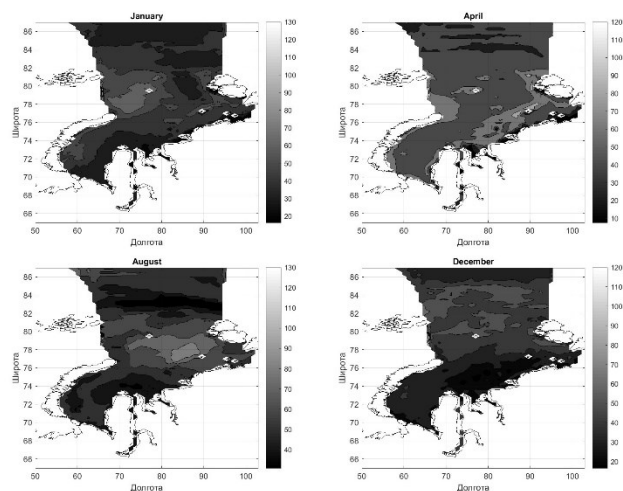


Рис.4 Среднее квадратичное отклонение толщины ледяного покрова

Ледовая информация, включая границы ледовой зоны, определенная экспертами, безусловно, в значительной степени является субъективной. Однако, насколько нам известно, до сих пор не существует автоматизированного алгоритма выделения ледовой зоны. Размеры ледовой зоны – важный параметр, указывающий на однородность пространственно-распределенных характеристик ледяного покрова.

При анализе характеристик размеров ледовых зон было выделено особое значение 83 широты – выше данного участка однородности размеров ледовых зон свойственен характер распространения, параллельный широтам, для каждого сезона. Ниже распределение хаотичное, ледовые зоны имеют относительно одинаковые размеры вплоть до берегов (Рис.5).

Карты распределения среднего квадратичного отклонения показывают, что наибольшим изменениям подвергаются площади ледовых зон полярных областей. Данные результаты

подвергаются сомнению, так как многолетний лёд статичен и не склонен к значительным изменениям (Рис.6).

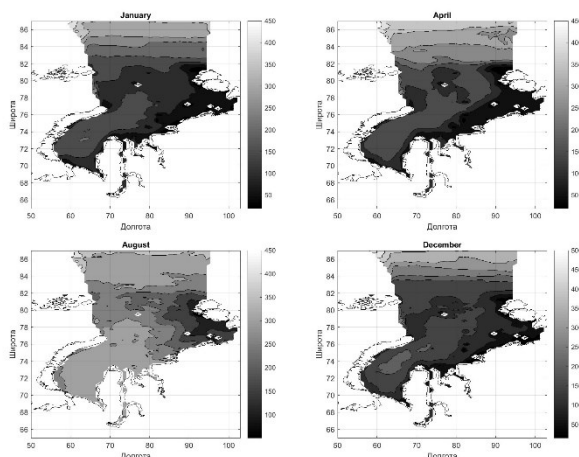


Рис. 5. Средний размер ледовых зон (км)

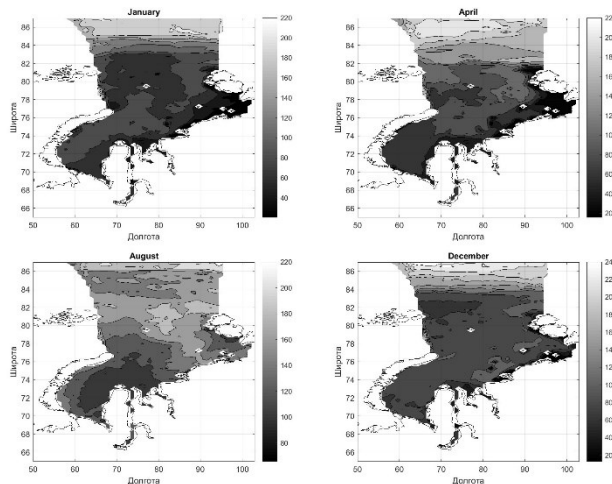


Рис. 6. Среднее квадратичное отклонение размеров ледовых зон (км)

### Заключение.

Векторный формат хранения и распространения оперативной ледовой информации SIGRID-3 может использоваться для расчета статистических характеристик ледяного покрова. В результате проведенного анализа характеристик ледового покрова Карского моря была выявлена закономерность широтного распределения однородности сплоченности, толщины и размеров ледовых зон выше 83 широты. Также стоит отметить роль вод Баренцева моря, которые влияют на юго-западную часть акватории моря – разрушение льда начинается с этой области, а формирование ледового покрова протекает в обратном направлении- с северо-востока на юго-запад.

### Литература

1. Смоляницкий В.М., Щербаков Ю.А., Порубаев В.С. и др. SIGRID-3: A vector archive format for sea ice charts. - СПб: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2004. - 24 с.
2. Миронов Е.У. Наблюдения за ледовой обстановкой. - СПб: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2009. - 360 с.
3. Бушуев А.В., Волков Н.А., Атлас ледовых образований. - СПб: Гидрометеоздат, 1974.- 141с.

## МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ КРУПНЫХ ГОРОДОВ, НАПРИМЕР, ГОРОД САНКТ ПЕТЕРБУРГ

А.И.Н. Мханна<sup>1</sup>, С.В.Руденко<sup>1</sup>, Н.А.Озерова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## METEOROLOGICAL FACTORS AFFECTING THE DIFFUSION OF POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERE OF LARGE CITIES, FOR EXAMPLE, ST. PETERSBURG

A.I. Mkhanna<sup>1</sup>, S.V. Rudenko<sup>1</sup>, N.A. Ozerova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Проведен анализ метеорологических факторов, влияющих на распространение загрязняющих веществ в городских условиях. Характер синоптических процессов, ветровой режим и температурная стратификация атмосферы в сочетании с особенностями подстилающей поверхности формируют характерный «природный фон», способствующий рассеиванию загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от источников антропогенного загрязнения.*

*The analysis of meteorological factors affecting the diffusion of pollutants in urban environments. The character of SYNOPTIC processes, the wind pattern and temperature stratification of the atmosphere in combination with the features of the underlying surface form a characteristic "natural background" contributing to the accumulation or dispersion of pollutants, emitted into the atmosphere from sources of anthropogenic pollution*

### **Введение.**

Загрязнение атмосферного воздуха определяется физико-географическими, эколого-климатическими условиями и поступлением загрязняющих веществ в атмосферу от природных и антропогенных источников.

Концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы города зависит от особенностей климатических условий района города. С другой стороны, в настоящее время загрязнение воздуха настолько велико, что может приводить к изменению климатических параметров [1,2]. Принято считать, что температура воздуха в городе выше, чем в окружающей его местности. Наличие массы прогретого воздуха над техногенным объектом называют «островом тепла».

Специфические особенности микроклимата Санкт-Петербурга и других крупных городов следует отнести наличие «острова тепла», в центральных частях города по Г.Е. Ландсбергу [11], где температура воздуха, в среднем на 0.5 – 1.0 °С выше температуры окрестностей.

Чем больше размеры города, тем выше распространение «острова тепла» (до 3-5 кратной высоты зданий). При наличии «острова тепла» температурная стратификация в слое воздуха до высоты нескольких десятков метров близка к равновесной или сравнительно неустойчивой, в окрестностях в это время отмечается инверсия [7]. Следовательно, над городом более вероятно образование приподнятых слоев инверсии, а это может препятствовать рассеиванию вредных примесей и способствовать увеличению наземных концентраций.

### **Методы.**

Основная цель работы заключалась исследовать и анализировать вклад метеорологических условий и характерных синоптических ситуаций в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга.

### **Результаты исследования и их анализ.**

Важную роль в формировании уровня загрязнения играет солнечная радиация, под влиянием которой происходят фотохимические реакции и образуются вторичные продукты загрязнения атмосферы, которые могут быть более токсичными, чем вещества, поступающие из источника выбросов [8].

Приход и расход солнечной радиации: среднегодовое значение суммарной солнечной радиации составляет 3070 МДж/м<sup>2</sup>, из которых на прямую солнечную радиацию приходится 1560 МДж/м<sup>2</sup> [9]. В годовом ходе при реальных значениях облачности максимум суммарной радиации в Санкт Петербурге приходится на июнь – 578 МДж/м<sup>2</sup>, минимум – на декабрь (8 МДж/м<sup>2</sup>). Для прямой радиации максимум также наблюдается в июне – 344 МДж/м<sup>2</sup>, а в

декабре прямая солнечная радиация практически не поступает [9]. Суточный ход суммарной и прямой радиации определяется высотой солнца.

Годовой ход радиационного баланса определяется суммарной радиацией, эффективным излучением и альбедо подстилающей поверхности (рисунок 1) и выражен отрицательными значениями с ноября по март (холодный период), положительными – с апреля по октябрь (тёплый период).

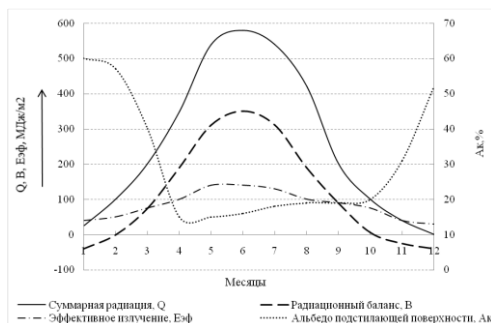


Рис. 1. Годовой ход составляющих радиационного баланса и альбедо подстилающей поверхности г. Санкт-Петербург [9]

Радиационный баланс уменьшается при преобладающей роли ослабления солнечной радиации антропогенными примесями в атмосферном воздухе. В загрязненной атмосфере больших городов умеренных широт коротковолновая радиация незначительно меньше длинноволновой; в городе наблюдается слабый радиационный дефицит, в сравнении с сельской местностью. Город влечёт изменения всех составляющих радиационного баланса, однако его суммарное изменение незначительно, что объясняется взаимной компенсацией изменений отдельных компонентов [10].

Температурные инверсии: в городских условиях при наличии большого числа низких выбросов опасные условия скопления примесей создаются при приземных и низких приподнятых инверсиях температуры, поскольку и те, и другие указывают на ослабление вертикального обмена. При наличии инверсионного слоя над городом содержание примесей в атмосфере на 10 – 60 % выше, чем при его отсутствии.

Инверсии температуры в сочетании с различными скоростями ветра могут усиливать опасность накопления примесей или создавать условия для их рассеивания. Большую опасность для городов представляют застойные ситуации, когда приземная инверсия сопровождается слабым ветром [4].

В годовом ходе метеопараметров в Санкт-Петербурге, представленном осреднёнными за период с 2009 по 2017 гг. максимальными количествами дней с инверсией, соответствует максимальное количество дней со штилем – весна, лето, а минимальному – зима, осень, как показано на рисунке 2.



Рис. 2. Годовой ход повторяемости инверсии г. Санкт-Петербург за период 2009 – 2017 гг.

В городе Санкт Петербурге, в среднем, инверсии наблюдаются ежемесячно, что иллюстрирует рисунок 2, в любое время суток, чему способствует большое разнообразие физических процессов, а также физико-географические особенности расположения города [15]. Высокая повторяемость явления приземной инверсии вызвана: преобладанием антициклонической кривизны изобар летом, адвекцией тепла в зимний период. Соотношение

между видами инверсий противоположно, явление приподнятой инверсии в теплый период характеризуется инверсиями оседания, в холодный период – фронтальными инверсиями.

Туман: накопление примесей в атмосфере усиливается в тумане. При поглощении примесей влагой могут образоваться более токсичные вещества. Например, в тумане происходит окисление сернистого газа до серной кислоты. При образовании тумана происходит увеличение концентрации примеси на 40 – 110 % по сравнению с концентрацией её до тумана.

В Санкт-Петербурге туманы определяются особенностями атмосферной циркуляции Северо-Запада Европейской территории России: развитием циклонической деятельности в течение всего года (особенно в холодный период).

Таким образом, исследование погодных условий Санкт-Петербурга, направленное на исследование повторяемости туманов, позволяет сделать вывод о сокращении годового количества дней с указанным явлением, в среднем, с 29 (1881 – 1965 гг) до 12 (2009 – 2017 гг), что нашло отражение на рисунке 3, характеризующего усреднённые месячные данные за 9 лет.

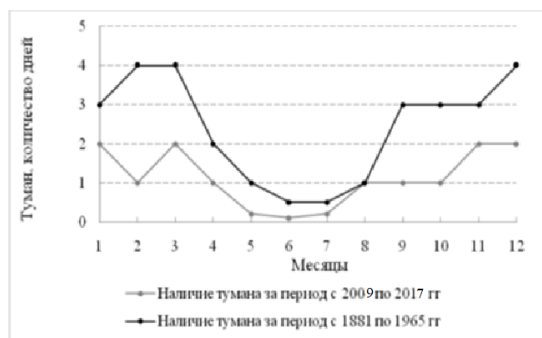


Рис. 3. Годовой ход повторяемости тумана г. Санкт-Петербург за периоды 2009 – 2017 и 1881 – 1965 гг. (по [9]).

Температура воздуха: большое прямое и косвенное влияние на содержание примесей в атмосфере оказывает температура воздуха. В зависимости от температуры меняется расход топлива на обогрев помещений и, следовательно, выбросы вредных веществ в атмосферу. В результате зимой при повышении температуры воздуха загрязнение снижается. Температура является важным фактором в образовании фотохимических реакций. Кроме того, зимой понижение температуры способствует формированию «острова тепла» и местной циркуляции, способствующей поступлению в город сравнительно чистого воздуха с окраин.

Температура воздуха в городе Санкт Петербурге характеризуется ярко выраженным годовым ходом (рисунок 4).

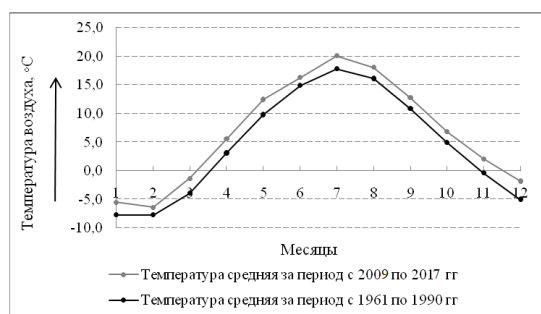


Рис. 4. Годовой ход температуры воздуха г. Санкт-Петербург за периоды 2009 – 2017 и 1961 – 1990 гг. (по [12])

Атмосферные Осадки: осадки приводят к заметному очищению воздуха от большинства примесей, поступающих как от высоких, так и от низких выбросов.

Осадки в городе выпадают часто: среднее число дней с осадками составляет 194 за год. В среднем за год количество выпавших осадков колеблется от 517 до 557 мм (с поправками на смачивание и ветровой недоучёт 637-666 мм). Известный максимум выпавших осадков

приходится на 2012 г. и составляет 863 мм, минимум – 395 мм в 1982 г. Общая продолжительность выпадения осадков за год колеблется от 1515 до 1550 часов [51, 59]. Основная часть осадков выпадает в жидком виде.

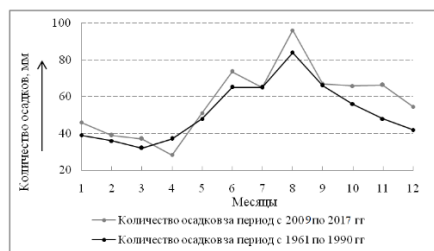


Рис. 5. Годовой ход количества осадков г. Санкт-Петербург за периоды 2009 – 2017 и 1961 – 1990 гг. (по [9]).

Важно отметить, что наличие осадков оказывает влияние на формирование уровня загрязнения воздуха. При выпадении осадков наблюдаются условия, благоприятные для очищения воздуха от большинства вредных примесей.

Территория Санкт-Петербурга относится к зоне избыточного увлажнения, что объясняется хорошо развитой циклонической деятельностью, влияющей на формирования и выпадения атмосферных осадков.

Для того чтобы изучить климатические условия, оказывающие влияние на средний уровень загрязнения, используются данные наблюдений на аэрологических и метеорологических станциях или данных специальных экспедиционных наблюдений. Для оценки условий рассеивания примесей используются различные климатические параметры и различные способы их обработки [3, 5, 6].

Ветровой режим: скорость и направление ветра также определяют условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Неблагоприятные физиолого-гигиенические условия погоды при наличии повышенного уровня загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха вызывают негативную реакцию на жителей города. Учитывая, что около 30 % населения подвержены воздействию метеорологических факторов, следует разделять санитарно-гигиеническую и климатическую составляющие при оценках уровня загрязнения атмосферного воздуха.

На ветровой режим Санкт-Петербурга, кроме прочего, оказывают влияние Финский залив и характер застройки города. В зависимости от расположения и плотности застройки кварталов, преобладающий воздушный поток может существенно деформироваться, а скорость его ослабевать или усиливаться. Так, ветровой режим города характеризуется преимущественно западным, юго-западным и южным направлениями, совокупная повторяемость которых за год превышает 50 %. Ветра восточных и северных направлений в Санкт-Петербурге наблюдаются реже.

Средние скорости ветра в Санкт-Петербурге, по данным многолетних наблюдений (1936 – 1976 гг.), составляют около 3 м/с (таблица 1 и рисунок 6).

Таблица 1. Средняя и максимальная скорость ветра г. Санкт-Петербург за периоды 1936 – 1976 гг. (\*) (по [9]) и 2009 – 2017 гг. (\*\*)

Скорость ветра, м/с	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя*	3,4	3,1	3,0	2,9	2,8	2,9	2,6	2,4	2,7	3,2	3,3	3,4
Средняя**	2,2	1,8	2,0	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,8	2,2	2,4	2,6
Максимальная	12	12	17	12	17	12	12	12	17	14	12	17

Известно, что северо-восточное направление ветра по Санкт-Петербургу является неблагоприятным для очищения атмосферного воздуха от загрязняющих веществ [14], кроме того небольшие скорости ветра способствуют росту загрязнения воздуха.



Фоновый уровень загрязнения воздушных масс определяет качество атмосферного воздуха и формирует сезонные особенности рассеивания загрязненных веществ [6].

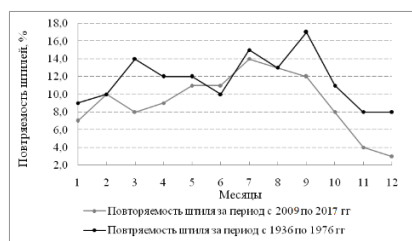


Рис. 6. Годовой ход повторяемости штилевых значений ветра г. Санкт-Петербург за периоды 2009 – 2017 и 1936 – 1976 гг (по [9])

Облачность: облако примесей, образующихся над большими городами под влиянием конвективных движений и турбулентности, оказывает существенное воздействие на формирование городского мезоклимата. При перегреве и в условия штиля и действия слабых ветров на территории города появляются направленные воздушные потоки от периферии к центру города.

В Санкт-Петербурге облачность значительна в течение всего года, особенно в осенне-зимний период, когда частое прохождение циклонов, а с ними и фронтов влечёт значительное увеличение нижней облачности, снижение высоты нижней границы облаков и выпадение осадков.

#### Выводы.

Таким образом, характер синоптических процессов, ветровой режим и температурная стратификация атмосферы в сочетании с особенностями подстилающей поверхности формируют характерный «природный фон», способствующий аккумуляции или рассеиванию загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от источников техногенного загрязнения.

#### Литература

1. Авалиани С.Л., Ревич Б.А., Захаров В.М. Региональная экологическая политика. Мониторинг здоровья человека и здоровья среды. М.: ЦЭПР, 2001. 76 с.
2. Агаджанян Н.А., Ступаков Г.П., Ушаков И.Б. Экология, здоровье, качество жизни. М.: Астрахань, 1996. 249 с.
3. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология. М.: Колос, 2005. 127 с.
4. Лейкин И.Н. Рассеивание вентиляционных выбросов химических предприятий. М. 1982. 206 с.
5. Лифанов И.К., Гутников В.А., Скотченко А.С. Моделирование аэрации в городе. М.: Диалог-МГУ, 1998. 134 с.
6. Моргунов В.К. Основы метеорологии, климатологии. Ростов н/Д: Феникс, 2005. 331 с.
7. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2001. 672 с.
8. Андреев, С.С. Человек и окружающая среда [Текст] / С.С. Андреев. – Ростов-на-Дону: Изд. СКНЦ ВШ АПСН, 2005. – 272 с.
9. Климат Ленинграда [Текст] / Под ред. Ц.А. Швера. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 253 с
10. Головина, Е.Г. Особенности антропогенного влияния на метеорологический режим атмосферы в низких широтах [Текст] / Е.Г. Головина. – Л.: ЛГМИ, 1990. – 83 с.
11. Ландсберг, Г.Е. Климат города [Текст] / Г.Е. Ландсберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 247 с.
12. Архив погоды в Санкт-Петербурге // [rp5.ru](http://rp5.ru) расписание погоды [Электронный ресурс] / Официальный сайт ООО «Расписание погоды». – СПб.: 2015. – Режим доступа: <http://rp5.ru/>
13. Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области // ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФГБУ Северо-Западное УГМС. – СПб.: 2007 – 2015. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/>
14. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге [Текст]: Аналитический обзор / Под ред. Д.А.Голубева, Н.Д.Сорокина. – СПб.: ФорматТ, 2004. – 784 с.
15. Лазарева, Е.О. Синоптические условия распространения антропогенных примесей в воздухе г. Санкт-Петербург (на примере 1980 – 2012 гг.) [Текст] / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сборник докладов IX международной конференции аспирантов и студентов / Под ред. К.Н. Маренич. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2015. – С. 123 – 125.

## ВЕРИФИКАЦИЯ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКОГО ПРОДУКТА DT18 В ПРИПОЛЯРНОМ РЕГИОНЕ

Л.М. Наумов<sup>1,2</sup>, С.М. Гордеева<sup>1,2,3</sup>, канд. геогр. наук, Т.В. Белоненко<sup>1</sup>, д-р геогр. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## ALTIMETRY PRODUCT DT18 VERIFICATION IN THE NEAR-POLAR REGION

L.M. Naumov<sup>1,2</sup>, S.M. Gordeeva<sup>1,2,3</sup>, Cand. Sc., T.V. Belonenko<sup>1</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>St.Petersburg University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*В данной работе произведена верификация продукта спутниковой альтиметрии DT18 в околополярном регионе (60°-70° с.ш.). В качестве натуральных данных об уровне моря использовались данные шести мареографных станций, расположенных на побережье Норвегии (Анденес, Рёрвик, Кабелваг, Бодё, Хаммерфест, Харстад). Выявлено, что альтиметрический продукт DT18 адекватно воспроизводит изменчивость уровня моря при месячной дискретности данных, также выявлено наличие значимых трендов в альтиметрических данных за период 1993-2017 гг.*

*In this study satellite altimetry product DT18 was verified in the near-polar region (60°-70° N). As instrumental data, we used tide gauges sea level data. This tide gauges (Rorvik, Bodo, Kabelvag, Hammerfest, Andenes, Harstad) located on the Norwegian coast. We demonstrated that altimetry product DT18 adequately reproduce monthly sea level variability in the study region. We also revealed significant temporal trends in altimetry records during the period 1993-2017.*

На сегодняшний день наиболее полную оценку изменения уровня Мирового океана (МО) можно получить по альтиметрическим данным. Существует множество работ, посвященных исследованию современных трендов в уровне МО, а также динамической структуры океана, в которых используются данные спутниковой альтиметрии [1-4]. В связи с этим весьма актуальным является проблема валидации альтиметрических данных. Известно, что на данный момент спутниковые альтиметрические измерения имеют хорошее качество в низких и умеренных широтах [5,6]. Однако не так много работ посвящено оценке качества альтиметрических продуктов севернее 60° с.ш. В частности, можно выделить работу [7], по результатам которой можно утверждать, что данные альтиметрии имеют приемлемое качество в Северной Атлантике, однако, на акватории российской Арктики качество альтиметрических данных пока оставляет желать лучшего.

Цель данной работы – оценка качества новейшего альтиметрического продукта DT18 для Северо-Атлантического региона путем сравнения данных спутниковой альтиметрии и инструментальных данных об уровне с мареографных постов.

В настоящей работе использовались данные альтиметрического продукта DT18 от AVISO, предоставляемые сервисом Copernicus [8], которые представляют собой значения аномалий уровня относительно средних значений в узлах регулярной сетки с пространственным разрешением 0.25°x0.25°, временной дискретностью – 1 сутки за период с 01.01.1993 по 31.12.2017. Альтиметрические измерения получены со спутников Torex/Poseidon и Jason (период обращения 10 дней), GFO (17 дней), ERS-1, ERS-2 и Envisat (35 дней), проведена коррекция данных на закон «обратного барометра», приливы и различные эффекты атмосферы, тропосферы и ионосферы. Хотя измерения спутников Torex/Poseidon и Jason доступны только до 66° широты, данные GFO доступны до 72° широты, а ERS-1, ERS-2 и Envisat – до 81,5° широты. Таким образом, области Мирового океана, расположенные в высоких широтах, также покрыты альтиметрическими измерениями. Для представления комбинированных данных в продукте DT18 от AVISO на сетке применялся метод оптимальной интерполяции с применением различных фильтров [7, 8]. Возникает вопрос о качестве этих данных ввиду того что альтиметрические измерения в широтах севернее 66° с.ш. получены со спутников, период обращения которых существенно превышает период обращения большинства несущих

альтиметры спутников в низких широтах. Для ответа на этот вопрос проводилось сравнение спутниковых измерений с данными мареографных постов.

Для валидации использовались данные об абсолютном значении уровня на шести выбранных береговых станциях, расположенных на побережье Норвегии (Рёрвик, Бодё, Харстад, Кабелвааг, Хаммерфест, Анденес) с месячной дискретностью за период с января 1993 по декабрь 2017 гг., предоставленные сервисом PSMSL [9]. Альтиметрические данные выбирались для района 60-75 °с.ш. и 0-30 °в.д. в точках сетки, ближайших к мареографным станциям (рис. 1) по методу ближайшего соседа (nearestneighbor), и также приводились к среднемесячной дискретности.

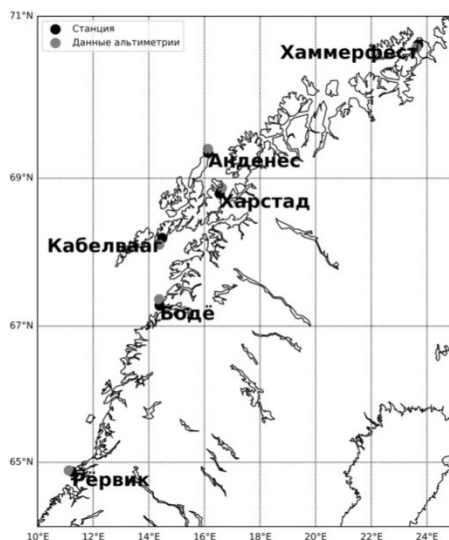


Рис. 1. Расположение прибрежных станций и точек, из которых выбирались данные альтиметрии.

Для адекватного сравнения данных спутниковой альтиметрии с наблюдениями мареографных станций для последних необходимо ввести две поправки: на обратный барометр, и на долгопериодное поднятие/опускание земной коры. Так как рассматривались среднемесячные данные мареографных постов, приливная поправка не вводилась.

Информация о долгопериодном поднятии земной коры для мареографных станций выбиралась из базы данных PSMSL [9] (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики линейного тренда и оценка его значимости для мареографных и альтиметрических измерений уровня моря

Станция	Коэффициент тренда *10 <sup>4</sup> , м/мес		Свободный член, м		Изостатический подъем уровня моря *10 <sup>4</sup> , м/мес
	Альтиметр	Мареограф	Альтиметр	Мареограф	
Анденес	2.9	1.7	-0.002	6.99	-0.1
Рёрвик	3.4	0.2	-0.011	6.95	-1.7
Бодё	3.1	-0.3	-0.007	6.99	-1.3
Кабелвааг	3.6	1.0	-0.01	6.83	-0.4
Хаммерфест	3.1	1.4	-0.009	6.94	-1.3
Харстад	2.6	0.7	0.0002	6.97	-0.8

Выявлено, что в выбранном районе происходит поднятие земной коры со скоростью до 2.6 мм/год, что вызывает отрицательный тренд в измерениях уровня моря. Однако, при оценке характеристик линейного тренда для альтиметрических и мареографных данных (таблица 1)

видно, что эта поправка не компенсирует значительный положительный тренд в альтиметрических наблюдениях, который оказался в 1.5-2 раза выше, чем для мареографных наблюдений. Для дальнейшего анализа из всех временных рядов линейные тренды были исключены.

Поправка на обратный барометр имеет следующий вид  $IB=(P_a-P_{ref})/g\rho_w$ , где:  $P_a$ —атмосферное давление на уровне моря на станции;  $P_{ref}$ — референсное значение давления;  $\rho_w$ — поверхностная плотность морской воды;  $g$ —ускорение свободного падения. В данной работе в качестве ( $P_{ref}$ ) использовалось среднеклиматическое значение, усредненное по акватории МО. Атмосферное давление на уровне моря для станции бралось из реанализа ECMWF Era-Interim [10], информация в котором имеет пространственное разрешение  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  с дискретностью 1 месяц за период с января 1993 по декабрь 2017 гг. Также для расчета данной поправки необходимо знать поверхностную плотность морской воды ( $\rho_w$ ). Для ее вычисления использовались данные по температуре поверхности воды и солёности в регионе исследования из реанализа ORAS4 ECMWF [11] с месячной дискретностью за период с января 1993 по декабрь 2017. Плотность рассчитывалась по уравнению состояния TEOS-10 [12].

Сравнение по основным статистикам альтиметрических данных с мареографными измерениями после введения поправок иллюстрирует диаграмма Тейлора (рис. 2). На ней показана средняя квадратическая разность двух соответствующих рядов относительно стандартного отклонения ряда альтиметрии, а также корреляции между ними. Видно, что корреляция между данными спутниковой альтиметрии и мареографными данными для всех исследуемых станций превышает 0.9, а различия между ними для всех станций, кроме станции Харстад, не превышает 4 см. Этот результат лучше на 1-2 см по сравнению с предыдущей версией альтиметрического продукта [7]. Видно, что наилучшие статистические показатели качества имеет станция Рёрвик. Этот факт, вероятно, может объясняться ее наиболее южным расположением, и, как следствие, лучшим спутниковым покрытием прилегающей акватории.

Несмотря на то, что различие в измерениях кажется малым, для корректного решения необходимо убедиться в его статистическом равенстве нулю. Для этого проверялась гипотеза о равенстве средних значений и дисперсии рядов уровня моря и были проведены тесты Стьюдента и Фишера (таблица 2). По их результатам можно сказать, что при уровне значимости 5% ( $t_{кр}=1.96$ ,  $F_{кр}=1.21$ ) данные спутниковой альтиметрии и инструментальные данные после введения всех поправок равны по дисперсии, но по среднему значению статистически отличаются друг от друга (за исключением станции Рёрвик), так что можно заключить, что качество спутниковых продуктов еще недостаточно хорошее, чтобы заменить собой инструментальные прибрежные измерения.

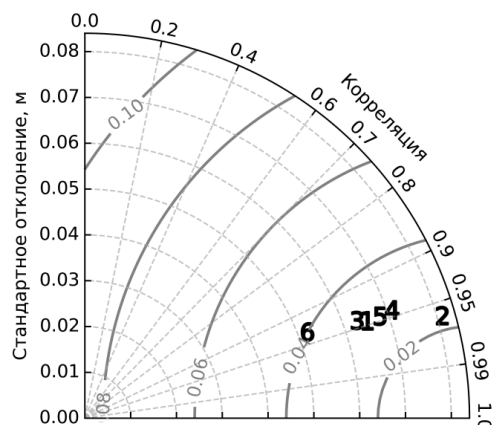


Рис. 2. Диаграмма Тейлора оценки качества альтиметрических данных (1-Анденес; 2-Рёрвик; 3-Бодё; 4-Кабелвааг; 5-Хаммерфест; 6-Харстад). Серые окружности показывают среднюю квадратическую разность альтиметрических и мареографных наблюдений.

Таблица 2. Эмпирические критерии Стьюдента ( $t^*$ ) и Фишера ( $F^*$ ) проверки гипотезы о равенстве средних значений и дисперсии мареографных и альтиметрических рядов уровня моря (ОБ – поправка на обратный барометр, GIA – поправка на изостатическое изменение земной коры). Выделены критерии для незначимых различий.

Станция	$t^*$			$F^*$		
	Без поправки	С поправкой ОБ	С поправками ОБ и GIA	Без поправки	С поправкой ОБ	С поправками ОБ и GIA
Анденес	<b>0.68</b>	2.25	2.25	3.58	<b>1.40</b>	<b>1.40</b>
Рёрвик	<b>0.10</b>	<b>0.23</b>	<b>0.25</b>	2.46	<b>1.24</b>	<b>1.24</b>
Бодё	<b>0.05</b>	<b>1.53</b>	<b>1.53</b>	4.67	2.25	2.25
Кабелвааг	<b>0.35</b>	2.08	2.07	3.64	<b>1.54</b>	<b>1.54</b>
Хаммерфест	<b>0.55</b>	2.02	2.04	3.15	<b>1.24</b>	<b>1.24</b>
Харстад	<b>0.27</b>	2.44	2.46	5.11	<b>2.02</b>	<b>2.02</b>

### Литература

1. Белоненко Т. В., Колдунов В. В., Старицын Д. К., Фукс В. Р., Шилов И. О. Изменчивость уровня северо-западной части Тихого океана. СПб.: Изд-во СММО-ПРЕСС, 2009. 309 с.
2. Малинин В. Н. Уровень океана: настоящее и будущее. СПб.: РГГМУ, 2012. 260 с.
3. Douglas B. C., Peltier W. R. The puzzle of global sea-level rise // Phys. Today. 2002. 55. 35–40.
4. Mitchum G. T., Cheney R., Fu L.-L. The future of sea surface height observations. In Observing the oceans in the 21st century (ed. C. J. Koblinsky & N. R. Smith). Melbourne, Australia: Bureau of Meteorology, 2001. P. 604.
5. Кубряков А. А., Станичный С. В. Оценка качества восстановления поверхностной геострофической циркуляции Черного моря по данным спутниковой альтиметрии на основе сопоставления с дрейферными измерениями. // Исследование Земли из космоса. 2013. №3. С. 3-12.
6. Rio M.-H., and F. Hernandez. A mean dynamic topography computed over the world ocean from altimetry, in situ measurements, and a geoid model // J. Geophys. Res. 2004. No. 109, C12032, doi:10.1029/2003JC002226.
7. Volkov D. L., M.-I. Pujol. Quality assessment of a satellite altimetry data product in the Nordic, Barents, and Kara seas // J. Geophys. Res. 2012. No. 117, C03025, doi:10.1029/2011JC007557.
8. Global ocean gridded L4 sea surface heights and derived variables reprocessed (1993-ongoing). URL: [http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_008\\_047](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047) (дата обращения: 24.09.2018).
9. Peltier W.R 2004 Global Glacial Isostasy and the Surface of the Ice-Age Earth: The ICE-5G(VM2) model and GRACE. Ann. Rev. Earth. Planet. Sci. 2004. 32,111-149. [http://psmsl.org/train\\_and\\_info/geo\\_signals/gia/peltier/drs1250.PSMSL.ICE5Gv1.3\\_VM2\\_L90\\_2012b.txt](http://psmsl.org/train_and_info/geo_signals/gia/peltier/drs1250.PSMSL.ICE5Gv1.3_VM2_L90_2012b.txt)
10. ERA-Interim. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim> (дата обращения: 24.09.2018).
11. Ocean Reanalysis/analysis. URL: <https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/ocean-reanalysis> (дата обращения: 05.09.2018).
12. Gibbs-SeaWater (GSW) Oceanographic Toolbox. URL: <http://www.teos-10.org/software/> (дата обращения: 24.09.2018).

*Проект выполнен при финансовой поддержке гранта РФФ № 18-17-00027 «Вихревая динамика Лофотенской котловины и ее роль в переносе термохалинных свойств вод в Норвежском море».*

*The project was carried out with the financial support of the grant of the Russian Science Foundation No. 18-17-00027 “Vortex dynamics of the Lofoten basin and its role in the transfer of the thermohaline properties of waters in the Norwegian Sea”.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В РЕГИОНАЛЬНОМ АСПЕКТЕ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УВЛАЖНЕНИЯ (ОПРЕДЕЛЁННЫХ ПО НЕСКОЛЬКИМ КРИТЕРИЯМ), НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАССИВОВ ИХ ДАННЫХ, ДЛЯ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.Г. Немировская<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Новосибирск, Россия.

INVESTIGATION OF REGIONAL CLIMATE CHANGE AS EXEMPLIFIED BY VARIABILITY OF CERTAIN CHARACTERISTICS OF MOISTURE (DETERMINED BASED ON SEVERAL CRITERIA), ON THE BASIS OF CREATING SPECIALIZED DATA MASSIFS FOR THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA

L.G. Nemirovskaya<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute, Novosibirsk, Russia.

*Рассматриваются направления и результаты исследования изменений климата на примере оценки характеристик увлажнения для юго-востока Западной Сибири. Параметр – непрерывные периоды режима осадков, определённые по нескольким критериям. Созданные (по одному из них) банки данных периодов и расчёты – размещены на сайте СибНИГМИ, по другим – работа продолжается.*

*The directions and results of the study of climate change are considered on the example of assessing the characteristics of moisture for the south-east of Western Siberia. Parameter is presented by continuous periods of precipitation, determined based on several criteria. Data banks of periods, created in accordance with one of the criteria, and calculations are posted on the SibNIGMI website, creation of banks for other criteria is in progress.*

Ввиду неоднородности проявлений изменений климата (указанно в ряде исследований) в междуполушарном, широтно-долготном и региональном масштабах, а также разнообразия на территории России природных, климатических, экономических и др. условий, целесообразно изучение указанных проявлений для конкретных регионов.

В СибНИГМИ с 2007 г. выполняются исследования по оценке изменчивости регионального климата (ранее для Урала [1], а с 2011 г. – для Западной Сибири [2]), на основе концептуальных положений: 1) условия увлажнения – важнейший показатель климата, 2) выбранный параметр – непрерывные периоды наличия и отсутствия осадков – существенно информативны для предпосылок к неблагоприятным гидрометусловиям. Исследования выполнены на основе применения нескольких критериев периодов – а) от близкого к стандартам «Климсправочника» (нижний предел осадков 0,1 мм), названного в работе «обобщенным» и показателей, рекомендованных МГЭИК, б) с 2017 г. – используется критерий периодов недостаточного увлажнения (названный «специальным»), дифференцированно учитывающий режим осадков.

Создание специализированных баз климатических данных для регионов – необходимая информационная основа для изучения региональных особенностей указанных изменений. Несмотря на то, что данные Государственного фонда ВНИИГМИ МЦД могут и используются для решения ряда научных и прикладных задач, принципы их создания связаны порой с недостаточной их доступностью. Региональные банки данных формируются, как правило, для конкретных регионов и задач, зачастую содержат нестандартные характеристики метеорежима, могут иметь значение, выходящее за рамки выполняющегося исследования.

В результате в указанных выше исследованиях СибНИГМИ созданы, в первую очередь банки данных периодов, определенных по «обобщённому» критерию, в 2-х вариантах – за весь имевшийся ряд наблюдений и по макету с расширенным составом сопутствующих метеоусловий, с 1977 г., отдельно для нескольких пороговых значений длительности. Созданы также специализированные массивы площадных характеристик – «Календари...» дат одновременного охвата изучаемым явлением определенного количества станций.

«Специализированные массивы данных», (по критериям «обобщённому» и МГЭИК) представленные в 2-х форматах «Excel» и «Word», размещены на сайте СибНИГМИ

(<http://sibnigmi.ru>) в разделе «Продукция», для 4-х областей ЗСУГМС. По ним проведены расчёты и получены уточнённые результаты оценки изменений – изучаемых характеристик увлажнения [1] – статистические параметры, среднемноголетние пространственно-временные характеристики с различным режимом осадков и масштабом осреднения. Выявлены территориальные и сезонные особенности, тенденции межгодовых изменений характеристик периодов по нескольким индикаторным параметрам, в том числе и за последние 30-летие, по станциям и осредненно по областям и региону. Так, например, имеются положительные тенденции межгодовых изменений для периодов, охватывающих одновременно значительное число станций. Получены также результаты по индексам, рекомендованным МГЭИК (индекс «сухих» периодов CDD и значительных осадков R10 [2]). Результаты и интерпретация также размещены на сайт СибНИГМИ в разделе «Исследования».

С 2017 г. для изучения периодов недостаточного увлажнения применён вариант критерия, близкого к применявшемуся в [3] для единичного числа станций. В настоящей работе за критерий принималась определенная длительность «сухого» периода, прерываемого только осадками, количество которых эффективно для вегетации растений – осадки количеством меньше определённых пороговых значений не прерывают «сухой» период, в чем и состоит дифференцированный учет условий увлажнения, и опосредованный – промачиваемости почвы. Рассмотренный выше критерий назван в данной работе «специальный» – в отличие от применяемого несколько ранее «обобщенного» критерия.

На основе разработанных алгоритмов, программ макетов банка данных (с учетом максимально адекватного представления о формирующих изучаемые условия увлажнения метеорологических процессах) сформирован «Специализированный банк данных («Каталог...»)» периодов недостаточного увлажнения, подготовленный на основе рассмотренного выше «специального» критерия для 61 станции региона за имеющийся ряд наблюдений. Из указанного банка данных отдельно сформирован «Специализированный массив данных о периодах недостаточного увлажнения с определёнными экстремальными температурно-влажностными условиями». Таблица 1 даёт представление о структуре и макетах указанных видов «Каталогов...», в ней также имеется графа «Скорость ветра» (средняя и максимальная), не вошедшая в данный формат текста ввиду размера таблицы.

Таблица 1 – «Специализированный массив данных («Каталог...»)» периодов недостаточного увлажнения (определённых по «специальному» критерию) с максимальной температурой воздуха  $\geq 30$  град., и относительной влажностью  $\leq 50\%$  за период наблюдений по 2016 год для станций Томской области и Кемеровской области. (Фрагмент).

Название Станции	Дата			Длит. Периода (дни)	Температура воздуха			Относительная Влажность		Атмосферное Давление на Уровне моря
	ГОД	НАЧАЛО	КОНЕЦ		Сред.	Средняя Максим.	Максим	Миним.	Сред.	
								9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Томск	1969	23,06	8,07	16	22,9	30,3	34,4	35,4	79,7	1022,3
Кемерово Агро	1999	1,07	18,07	18	22,5	30,5	34,8	37,2	62,1	1007,5

Завершается работа по редактированию и подготовке табличного материала «Каталогов...» с учетом планирующегося размещения на сайте СибНИГМИ.

На основе полученных «Специализированных массивов данных о периодах недостаточного увлажнения...» проведено статистическое обобщение данных об изучаемых периодах – определены по станциям ряд среднемноголетних параметров изучаемых периодов – таких как среднегодовое их число, средняя и максимальная за весь ряд наблюдений продолжительность и др. – имеющие вероятностно-климатологический аспект.

Расчитанные параметры показателей пространственно-временной изменчивости характеристик периодов для всех частей региона – показатели их повторяемости (вероятности) в разных временных аспектах (среднесезонно и по «многолетним» месяцам) для всех используемых станций и осредненно для всех административных частей региона и разных градаций длительности периодов иллюстрируют, с одной стороны «спектр» градаций их

продолжительности и преобладающие её значения, с другой – позволяют проанализировать распределение (изменчивость) указанных характеристик по территории и по месяцам (то есть по сезонам), что имеет прикладное значение (таблица 2). Планируется картографическая интерпретация результатов, полученных для станций.

Таблица 2. Повторяемость (%) по месяцам периодов недостаточного увлажнения различной продолжительности, (определённых по "специальному" критерию), для станций Кемеровской области. (Фрагмент).

СТАНЦИЯ	ГРАДАЦИИ ДЛИТЕЛЬНОС ТИ ПЕРИОДОВ	МЕСЯЦ							СУММА
		АПРЕЛЬ	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТЯБРЬ	ОКТАБРЬ	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТАЙГА	<10	5	7	3	5	3	5	5	33
	10-19	8	9	9	6	8	11	5	55
	20-29	3	3	1	2	0	1	0	11
	>=30	0	0	0	0	0	0	0	1
									100

Температурно-влажностные условия, наиболее характерные для изучаемых периодов недостаточного увлажнения, (что важно в прикладном аспекте), иллюстрируют результаты расчётов повторяемости (вероятности) градаций максимальной температуры и минимальной относительной влажности во время указанных периодов, подготовленные а) в соответствии с разными градациями длительности изучаемых периодов, б) суммарно, независимо от градаций длительности. Оба подхода реализованы как по станциям, так и в среднем по территориям, среднесезонно и по месяцам (таблица 3). Рассмотренные по месяцам, они выявляют сезонные особенности температурно-влажностных условий в эти периоды (рис.1).

Таблица 3. Повторяемость (%) градаций максимальной температуры воздуха в периодах недостаточного увлажнения (определённых по «специальному» критерию) в соответствии с градациями длительности периодов осреднённо по территориям. (Фрагмент).

НАЗВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИОДА	ГРАДАЦИИ МАХ ТЕМПЕРАТУРЫ				СУММА
		<20	20-24,9	25-29,9	≥30	
1	2	3	4	5	6	7
КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ	10-19	62,3	17,1	16,2	4,4	100
	20-29	70,7	13,7	12	3,5	100
	≥ 30	78,3	11,1	8,5	2	100

Для рассмотрения и анализа межгодовых изменений характеристик изучаемых периодов отработана методика, основанная на подготовке наборов данных о ежегодных суммарных значениях указанных характеристик для нескольких индикаторных параметров – на данном этапе работы – для суммарной ежегодной длительности периодов. Предварительная графическая интерпретация – как по станциям так и осреднённо по региону и его частям, за используемый период и за последнее 30-летие показывает территориальные особенности межгодовых тенденций характеристик изучаемых периодов. Так, например, на фоне нулевого тренда осреднённых значений по региону, отмечен в последнее 30-летие положительный тренд, который также отмечается для осреднённых данных Алтайского края и Новосибирской области, для Томской и Кемеровской областей на данном этапе – нулевой и даже отрицательный тренд. Анализ (также предварительный) по станциям (который продолжается) выявляет локальные особенности межгодовых изменений. Указанные сведения имеют значение для выявления вероятностно-климатологических тенденций изменчивости, которые важно также и в прикладном аспекте, работа в этом направлении продолжается (рис.2).



В полученном «Специализированном массиве данных...» помещены сведения о среднепериодном (за каждый период) атмосферном давлении на уровне моря, как об индикаторном параметре, характеризующем атмосферный процесс, формирующий изучаемое явление. При обработке данного параметра получены первичные статистические характеристики преобладающие градации атмосферного давления среднемноголетние значения по станциям в изучаемые периоды – с тем, чтобы продолжить далее рассмотрение связи с указанным параметром.

Предпринято изучение площадных характеристик рассматриваемых периодов, то есть учёт одновременного охвата ими числа станций, для чего автором предложена методика, основанная на группировке по определённому макету, ежедневных данных о режиме осадков.

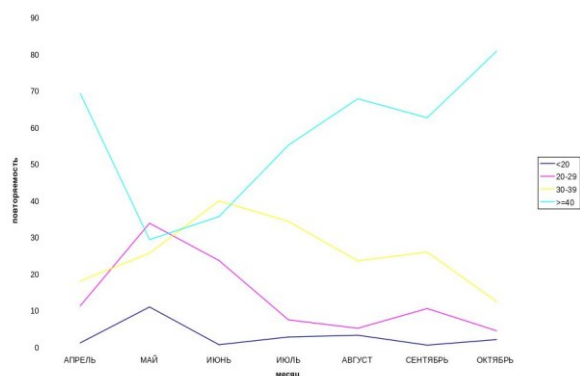


Рис. 1. Изменение по месяцам повторяемости (%) градаций минимальной относительной влажности (%) в периодах недостаточного увлажнения, определенных по «специальному» критерию, по станциям Новосибирской области, ст. Огурцово

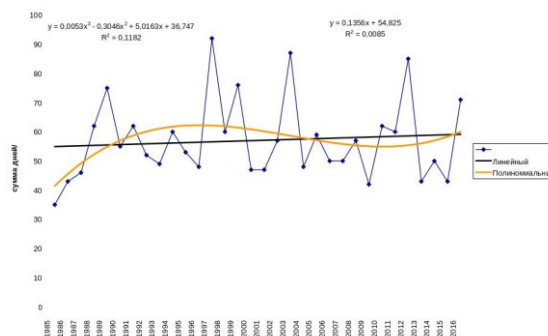


Рис. 2. Межгодовая изменчивость суммарного числа дней в периодах недостаточного увлажнения, определенных по «специальному» критерию осреднённого по территории ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО УГМС (1985 – 2016 гг)

Сформирован, также по авторским макету, и алгоритму, предварительный вариант «Каталога...» – Календаря изучаемых периодов в соответствии с одновременным охватом ими определённого числа метеостанций. (Таблица 4).

Таблица 4. Специализированные массивы данных («Каталоги...») периодов недостаточного увлажнения (определённых по «специальному» критерию) в соответствии с одновременным охватом или определённого числа метеостанций (%). Западно-Сибирское Управление. (Фрагмент).

НАЗВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ	ГОД	ПРОЦЕНТ ОХВАТА ЧИСЛА СТАНЦИЙ								
		≥50%		≥60%		≥75%		≥85%		
		дата	длит.	дата	длит.	дата	длит.	дата	длит.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ЗАПАДНО-СИБИРСКОЕ	2016	10-23 08	14	10-22 08	13					
УПРАВЛЕНИЕ		15-30 09	16	15-21 09	7					
ГИДРОМЕТСЛУЖБЫ		01-06 10	6	24-30 09	7					

Полученный «Каталог...» (таблица 4) имеет существенное значение (весьма оптимален) при изучении условий, формирующих рассматриваемые периоды, и может быть использован (используется в опытный порядке) планируется для размещения на сайте СибНИГМИ, при совместном рассмотрении характеристик изучаемых периодов и формирующих их атмосферных

процессов. Разработана также методика анализа межгодовых изменений площадных характеристик, имеется предварительный результат о положительной тенденции изменения характеристик периодов, охватывающих одновременно  $\geq 50$  % числа метеостанций ЗапСибУГМС.

Работа по всем рассмотренным в статье направлениям продолжается.

### **Литература**

1. Немировская Л.Г. Некоторые аспекты изучения особенностей, изменчивости и экстремальности климата в региональном аспекте (на примере исследования определённых характеристик увлажнения для региона Урала) // Украинский Гидрометеорологический журнал. Одесский государственный экологический университет 2013 - № 12. С. 62-76.
2. Немировская Л.Г. Специализированные массивы данных определённых характеристик увлажнения по юго-востоку Западной Сибири, как информационная база для изучения региональных климатических изменений. Тезисы докладов на второй научно-практической конференции «Современные информационные технологии в гидрометеорологии и смежных с ней областях». г. Обнинск, 21-23 ноября 2017 г., с. 69-71.
3. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала. Часть IV – Л: Гидрометеоздат, 1987. – 222 с.

## РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА НЕИЗУЧЕННЫХ РЕК ЮГА СИБИРИ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Е.О. Немчинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## ESTIMATION OF MAXIMUM RUNOFF DURING SPRING FLOOD IN UNEXPLORED RIVERS (SOUTH SIBERIA)

E.O. Nemchinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Рассматривается практическое применение методики вычисления коэффициента дружности весеннего половодья. В результате приводится расчётная локальная схема весеннего половодья для рек заданного района.*

*The practical application of the methodology for calculating the spring flood coefficient is considered. As a result, the calculated local scheme of spring flood for the rivers of a given area is presented.*

### **Введение.**

Расчеты характеристик максимального стока (прежде всего максимальных расходов воды весеннего половодья заданной обеспеченности) составляют основу инженерных гидрологических изысканий при проектировании. Основным нормативным документом, определяющим особенности гидрологических расчетов, является [1], один из существенных недостатков, которого - отсутствие актуальных региональных карт и зависимостей. В практике инженерных изысканий до настоящего времени используются карты и расчетные схемы из пособий, выпущенных более 30 лет назад и позднее не обновлявшихся. Поэтому, изучение характеристик стока весеннего половодья для неизученных рек выбранного района на основании актуальных данных по рекам-аналогам представляет интерес с точки зрения уточнения региональных зависимостей и обновления гидрологических карт для расчетов проектируемых сооружений.

Таким образом, исходя из актуальности, была сформулирована цель работы: определить коэффициент дружности половодья на основе современных данных по рекам-аналогам для расчета максимального стока на неизученных реках. Предметом исследования в работе является оценка коэффициентов дружности весеннего половодья.

### **Материалы и методы.**

Район исследования расположен в южной части Красноярского Края, республики Хакасия и Республики Тыва. Естественными границами были выбраны на севере – Красноярское водохранилище, на юге – водораздел притоков Енисея. Наблюдательная сеть наиболее развита в центральной части выбранного района. Развитие гидрологической сети, в основном, происходило в 60-70 годы прошлого века. В это время здесь организовывались наблюдательные посты для измерения уровня при строительстве заводов, организации сплава по рекам и т.д. Наименее изученными в гидрологическом отношении являются высокогорная часть района на юге.

В качестве исходной информации были использованы данные о суточных расходах воды по 35 гидрологическим постам, за весь имеющийся период наблюдений до 2014. Согласно [1] ряды данных удовлетворяли следующим условиям:

Расчет коэффициента дружности весеннего половодья ( $K_0$ ) проводился обратным путем по формуле предельной интенсивности для заданной вероятности превышения 1% [1]:

$$K_0 = Q_{1\%}(F + F_1)^n(h_{1\%}\mu\delta_1\delta_2F), \quad (1)$$

где  $Q_{1\%}$  - максимальный расход воды весеннего половодья, м<sup>3</sup>/с;  $h_{1\%}$  — расчетный слой суммарного весеннего стока, мм,  $\mu_{1\%}$  — коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения слоев стока и максимальных расходов воды;  $\delta$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  — коэффициенты, учитывающие влияние водохранилищ, прудов и проточных озер ( $\delta$ ), залесенности ( $\delta_1$ ), заболоченности ( $\delta_2$ ) речных водосборов на максимальные расходы воды;  $F$  —

площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км<sup>2</sup>;  $F_1$  — дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукии модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км<sup>2</sup>;  $n$  — районный показатель степени редукии.

Кроме этого производилась оценка однородности рядов по методике Фишера и Стьюдента; построены разностно-интегральные кривые, аналитические кривые, рассчитаны статистические параметры исходных рядов.

Для визуализации полученных результатов (коэффициент дружности и слоя весеннего половодья 1%-обеспеченности) с использованием полученных данных были составлены районные карты распределения слоя стока 1% обеспеченности и коэффициента дружности. Построение карт велось в среде ArcGIS. Полученные результаты относились к центру водосборов, а затем, данные значения интерполировались.

#### **Результаты и их обсуждение.**

Анализ оценки однородности рядов максимальных расходов воды по различным критериям показал, что в подавляющем большинстве ряды являются однородными. По критерию Стьюдента гипотеза об однородности опровергается в 6 случаях (17 %); по критерию Фишера и Диксона - в 3 случаях (9 %), а для критерия Граббса – в 7 случаях, что составляет 20 % от общего числа пунктов. Результаты оценки позволяют сделать вывод о возможности использования исходных данных в последующих расчетах.

На основании построенных разностно-интегральных кривых модульных коэффициентов для опорных постов было выявлено более двух циклов водности в исходных рядах стока, что удовлетворяет условиям использования редукионной формулы [2].

Расчет статистических параметров аналитических кривых и последующее их сравнение показали, что закон распределения Пирсона 3 типа наилучшим образом аппроксимирует эмпирические кривые обеспеченностей максимальных расходов воды и слоев стока, что позволило использовать его для определения  $Q_{1\%}$  и  $h_{1\%}$ .

Коэффициент редукии рассчитывался по уравнению районной редукионной зависимости, которое имеет вид  $y = -0,1733x + 0,4213$  и составил для исследуемого района  $n = 0,17$ . В данном случае необходимо значение коэффициента редукии брать по модулю.

Полученные с помощью спутниковых снимков площади залесенности водосборов за современный период не значительно (до 5%) отличаются от опубликованных ранее в [3], что позволяет судить о малой вариации залесенности. Предполагается, что восстанавливаемость древесного покрова превышает его редукию.

Результаты расчета коэффициентов дружности половодья показали, что его среднее значение для данного района составляет 0,004 и изменяется от 0,0185 до 0,0008. Пространственное распределение показало, что величина коэффициента дружности увеличивается с уменьшением высоты водосбора, т.е. для рек более равнинного типа он имеет более высокие значения, что не противоречит литературным данным, представленным в [4]. Наибольшие слои 1% обеспеченности характерны для западной части района (бассейны рек Абакана и Тубы). Наименьшие слои половодья характерны для малых рек на востоке исследуемого района.

Полученные актуальные картосхемы распределения характеристик весеннего половодья (слои стока 1% обеспеченности и коэффициенты дружности) могут быть использованы при инженерных расчетах в условиях отсутствия гидрологической информации.

По итогам работы хотелось бы отметить, что отсутствие надежного численного критерия определения начала и окончания половодья, может существенно влиять на ошибку расчета, особенно для рек с весенне-летним половодьем, что отмечено в [5].

Для исследуемого района в отдельные годы отмечается наложение паводков на весенне-летнее половодье, что вызывает затяжное половодье, а значит ставит под сомнение возможность использования редукионной формулы.

По рекомендации [1] регулирование максимального расхода половодья лесом не учитывается, однако для исследуемого района значение лесистости изменяется от 33 % до 95 %, что, не может не влиять на процессы формирования максимального стока.

Таким образом, в результате расчетов и картирования основных параметров весеннего половодья были получены актуальные региональные карты и зависимости (Рис. 1), которые можно использовать при определении максимальных расходов половодья на неизученных реках Верхней части бассейна Енисея.

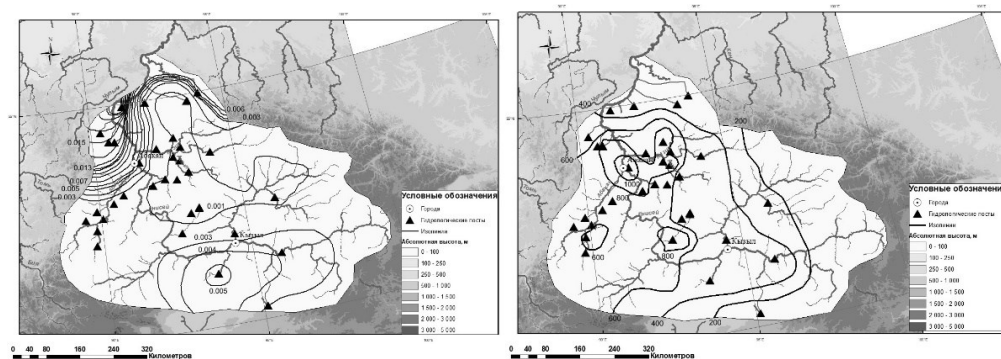


Рис. 1. Картограмма распределения коэффициента дружности и слоя весеннего стока методом изолиний

### Литература

1. СП 47.13330 «СНиП 11-02-96». Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Москва, 2016. – 170 с
2. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. ГУ ГГИ. 2010 г. – 160 с
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 16. Ангаро-Енисейский район. Вып.1. Енисей. Л., Гидрометеиздат, 1983 – 94 с
4. Клименко Д.Е. Максимальный сток рек Свердловской области. Пермь: ООО «Раритет-Пермь», 2014. – 180 с
5. Merkuruyeva G.V., Merkuruyev Y. Advanced river flood monitoring, modelling and forecasting. Journal of Computational Science, Volume 10, Sep. 2015, - pp. 77-85

*Исследования выполнялись при поддержке гранта РФФИ 18-05-60106.*

*The studies were carried out with the support of the RFBR grant 18-05-60106.*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК ЗОНЫ МЕРЗЛОТЫ

Н.В. Нестерова<sup>1,2</sup>, О.М. Макарьева<sup>1,3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт мерзлотоведения им. М.П. Мельникова Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия

## MATHEMATICAL MODELING OF MAXIMUM RUNOFF CHARACTERISTICS AT THE SMALL RIVERS IN PERMAFROST ZONES

N.V. Nesterova<sup>1,2</sup>, O.M. Makarieva<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg state University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

*Рассматривается возможность применения метода детерминированного моделирования для расчета максимальных расходов воды малого водосбора, находящегося в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов. В условиях изменения климата, крайней ограниченности данных наблюдений и, вместе с этим, возрастающим интересом к Арктическим регионам, необходимо понимание гидрологических процессов и развитие методов их моделирования. В ходе исследования был выбран водосбор Колымской водно-балансовой станции, руч. Контактный ( $S = 21,3 \text{ км}^2$ ), и применена гидрологическая модель «Гидрограф». На первом этапе была проведена параметризация и верификация модели на суточном интервале. Результаты моделирования признаны удовлетворительными. Затем на основе детальных данных pluвиограмм ливневых осадков рассчитан катастрофический паводок 2013 года, в результате которого был разрушен гидрологический пост. В связи с этим, максимальный за 70 лет наблюдений расход воды не был измерен. Величина рассчитанного срочного расхода составила  $71,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , в то время, как предыдущий максимальных расход, наблюдающийся в 2005 году, был равен  $19,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Таким образом, используя данные pluвиографа, мы можем рассчитать срочный расход для решения инженерных задач, когда наблюдения за стоком или отсутствуют, или ошибочны.*

*The possibility of using the deterministic modeling method to calculate the maximum water discharge of a small catchment, located in the permafrost area, is considered. It is necessary to understand hydrological processes and develop methods for their modeling in the context of climate change, extremely limited observational data and, at the same time, growing interest in the Arctic region. During the study, the Kolyma water-balance station watershed, Kontaktovy creek ( $S = 21.3 \text{ km}^2$ ), was selected and applied hydrological "Hydrograph" model. At the first stage, parameterization and verification of the model at the daily interval was carried out. The simulation results were found to be satisfactory. Then, the catastrophic flood of 2013 was calculated on the basis of detailed precipitation pluviograms data, as a result of which the hydrological gauge was destroyed. In this regard, the maximum water discharge for 70 years of observations has not been measured. The volume of the calculated discharge is  $71.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , at that time, as the previous maximum discharge was observed in 2005 and reach to  $19.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Thus, using pluviograph data, we can calculate the instant discharges for solving engineering problems when flow observations are absent or erroneous.*

### **Введение.**

Согласно принятой в 2014 году стратегии развития арктической зоны (АЗ) Российской Федерации [1] планируется широкомасштабное развитие социально-экономической инфраструктуры Арктики. Среди запланированных проектов 18% занимают транспортные проекты, и они являются приоритетными. Регионы Северо-Востока страны также включены в программу развития Арктики. В 2011 году началось строительство автодороги Колыма – Омсукчан – Омолон – Анадырь.

Ежегодный ущерб от паводков на территории России оценивается примерно в 100 млрд. рублей [2]. Значительная часть ущерба связана с повреждением транспортной инфраструктуры. Учитывая высокую стоимость строительных проектов в Арктике, а также сопредельных территориях Сибири и Дальнего Востока, запланированная Программа требует научно-обоснованных методов расчета характеристик стока рек, прогноза и оценки риска наводнений для промышленной и социальной инфраструктуры. Особенно актуальна данная задача в

условиях изменения климата [3], т.к. арктический регион претерпевает наиболее выраженные климатические изменения.

Целью работы является исследование возможности применения метода детерминированного моделирования для расчета максимальных расходов воды малого водосбора, находящегося в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов.

#### Объект исследования.

Колымская водно-балансовая станция (КВБС) (Рис. 1) расположена в пределах водосбора руч. Контактного (21.3 км<sup>2</sup>), относящегося к бассейну р. Колыма, и репрезентативна для условий горных ландшафтов Северо-Востока России. Средняя высота водосбора составляет 1070 м и колеблется от 823 до 1690 м. Станция расположена в зоне распространения сплошной многолетней мерзлоты. Среднегодовая температура на метеостанции Нижняя (850 м) за 1949-1997 гг. составила -11.3°C; годовое количество осадков за тот же период – 342 мм. Основными ландшафтами являются каменные осыпи, заросли кедрового стланика и лиственничное редколесье, заболоченное в долинах ручьев. Подробное описание гидрометеорологических условий формирования стока содержится в работе Макарьевой и др. [4].

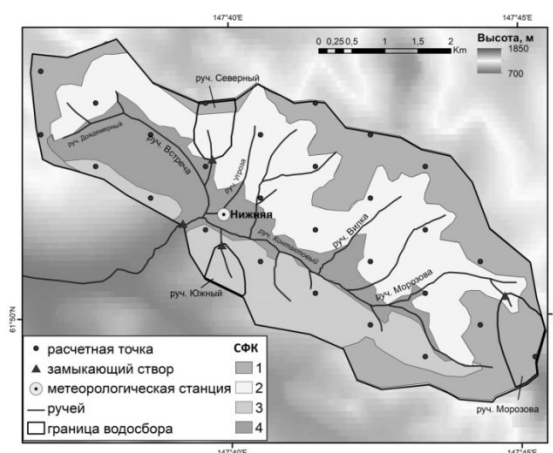


Рис. 1. Объект исследования, руч. Контактный – Нижний. Стокоформирующие комплексы: 1 – каменная осыпь, 2 – горная тундра, 3 - мохово-лишайниковое лиственничное редколесье, 4 – лиственничный лес в долинах рек

#### Модель «Гидрограф» и параметризация модели.

Для моделирования процессов формирования стока использовалась детерминированная модель «Гидрограф» [5], разработанная профессором Ю.Б. Виноградовым. Модель представляет собой математическую систему с распределенными параметрами и содержит алгоритмы, описывающие динамику тепла и влаги в почвенном профиле в явном виде. Нетребовательность к входной информации (температура и влажность воздуха, осадки) делает ее пригодной к использованию на малоизученных бассейнах. Результатами моделирования является сток воды в замыкающем створе, а также распределенные переменные состояния ландшафтов – характеристики снежного покрова, температура и влажность почвы на разных горизонтах, глубина протаивания и промерзания и др., что позволяет проводить многокритериальную оценку результатов расчетов на их соответствие наблюдаемым процессам и явлениям.

В процессе моделирования водосбор разбивается на стокоформирующие комплексы (СФК) – территории, характеризующиеся условно однородными процессам формирования стока. Водосбор ручья Контактного был разделен на четыре СФК: каменная осыпь, горная тундра, мохово-лишайниковое лиственничное редколесье, лиственничный лес в долинах рек (Рис. 1). Для каждого СФК задаются параметры растительного покрова, профиля почво-грунтов и поверхности склона. Описание параметризации модели для водосборов КВБС представлено в работах [6].

**Результаты моделирования процессов формирования стока на суточном интервале.**

Непрерывное моделирование стока было произведено для водосбора ручья Контактного – Нижний для периода 1949-1997 гг. В качестве входной информации использовались суточные данные с метеостанции Нижняя (850 м), располагающейся на территории водосбора. При интерполяции осадков и температуры учитывались их высотные градиенты [6].

Результаты расчета водного баланса водосбора приведены в Таблице 1. В процессе верификации модели было произведено сравнение рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока при помощи критерия эффективности Нэша-Сатклиффа. Средние значения данного критерия составили 0,65, достигая максимальной величины 0,87 и минимальной 0,50. Таким образом, результаты моделирования на суточном интервале следует признать удовлетворительными, а модель адекватно описывающей процессы, происходящие на водосборе.

Таблица 1. Водный баланс и значения критериев эффективности Нэша-Сатклиффа (NS), руч. Контактный – Нижний, 1949-1997

Наблюден. стока, мм	Расч. слой стока, мм	Осадки, мм	Испарение, мм	NS (средний)	NS (максимальный, год)	NS (минимальный, год)
286	252	390	115	0,65	0,87 (1963)	0,50 (1958)

**Результаты моделирования катастрофического паводка 2013 года.**

Паводок 2013 года является самым высоким за исторический период. 20 июня при выпадении более 40 мм осадков интенсивностью 0,87 мм/мин сформирован катастрофический расход воды, в результате прохождения которого был разрушен гидрологический пост, а сам максимальный за 70 лет инструментальных наблюдений, расход не был измерен.

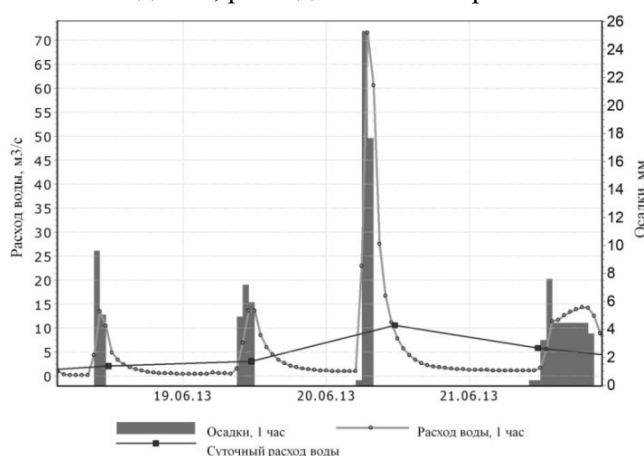


Рис. 2. Рассчитанные 1-часовой и суточный гидрографы стока и 1-часовые осадки, 19-21 июня 2013

Результат моделирования данного паводка при использовании суточных метеорологических данных показал, что рассчитанное значение, равное 8,13 м³/с (Рис. 2), примерно совпадает с наблюдаемым в 2005 году максимальным расходом, достигающим 8,15 м³/с. Тем не менее, паводок 2013 года, по показаниям очевидцев и снесенному гидрологическому посту, был значительно мощнее ранее наблюдавшегося паводка.

Для расчета максимального расхода воды 2013 года были использованы подробные данные плювиограмм ливневых осадков, которые были получены из метеорологических ежегодников. Использование данных плювиографов помогает описать осадки высокой интенсивности, в результате выпадения которых формируются пиковые расходы воды. Величина рассчитанного срочного расхода составила 71,5 м³/с (Рис. 2), в то время как максимальный измеренный расход



2005 года был равен  $19,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Сравнение суточных величин при моделировании с данными плувиографов показал, что рассчитанное значение на 22% превышает наблюдаемое ранее.

Таким образом, значение 2013 года резко меняет кривую обеспеченностей, используемую в инженерных задачах. В условиях ограниченности данных наблюдений в регионе восстановление отсутствующих или ошибочных данных играет важную роль в проектировании и строительстве.

### **Выводы.**

Для оценки максимального паводочного расхода 2013 года была применена детерминированная модель формирования стока «Гидрограф». Оценены основные параметры модели и проведена верификация модели на водосборе руч. Контактного – Нижний при использовании исторических данных наблюдений за период 1949-1997 гг. Результаты моделирования приняты удовлетворительными.

При моделировании гидрографа стока катастрофического паводка 2013 г. были использованы данные плувиограмм ливневых осадков близлежащей метеорологической станции. Максимальное рассчитанное значение расхода воды составило  $71,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , что превышает наблюдаемый максимальный расход 2005 года более чем в 3 раза.

В ходе работы были сделаны следующие выводы:

1. Стандартная метеорологическая информация, доступная в России, не подходит для моделирования экстремальных паводков, вызванных ливневыми осадками.
2. Результаты суточного моделирования являются удовлетворительными без экстремальных ситуаций.
3. Данные плувиографа могут быть использованы для анализа катастрофических наводнений.
4. Используя данные плувиографа, мы можем рассчитывать срочный расход для решения инженерных задач, когда наблюдения за стоком или отсутствуют или ошибочны.

Ограниченные возможности применения методов стандартных гидрологических расчетов в связи с изменением климата и гидрологического режима ставят задачу разработки новых подходов для получения максимальных характеристик стока. Одним из вариантов такого подхода может стать продемонстрированный в работе метод детерминированного моделирования.

### **Литература**

1. Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. № 366 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 31 августа 2017 г. № 1064). URL: <http://static.government.ru/media/files/GGu3GTtv8bvV8gZxSEAS1R7XmzloK6ar.pdf>, (дата обращения 19.04.2017).
2. Ляпичев Ю.П. Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений: Учебное пособие // М.: РУДН. 2008.
3. Шевнина Е. В. Долгосрочная оценка статистических характеристик максимального слоя на территории российской Арктики: диссертация ... доктора технических наук // Шевнина Елена Валентиновна. Санкт-Петербург. Российский государственный гидрометеорологический университет. 2015.
4. Makarieva, O., Nesterova, N., Lebedeva, L., and Sushansky, S. (2018): Water balance and hydrology research in a mountainous permafrost watershed in upland streams of the Kolyma River, Russia: a database from the Kolyma Water-Balance Station, 1948–1997, Earth Syst. Sci. Data, 10, 689-710, <https://doi.org/10.5194/essd-10-689-2018>, 2018.
5. Виноградов, Ю.Б., Виноградова, Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Академия, 2010.
6. Лебедева Л.С., Семенова О.М., Виноградова Т.А. Расчет глубины сезонно-талого слоя в условиях различных ландшафтов Колымской водно-балансовой станции в задаче гидрологического моделирования. Часть 2 // Криосфера Земли 19 (2), 2015. – С.35–44.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ДУБНЫ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Николаева<sup>1</sup>, проф., д-р. геогр. наук, В.А. Широкова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва, Россия

## DETERMINATION OF THE LEVEL OF POLLUTION OF THE RIVER DUBNA MOSCOW REGION

E.A. Nikolaeva<sup>1</sup>, Dr. Sc., V.A. Shirokova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

<sup>2</sup>S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Малые, средние и большие реки подвергаются негативному воздействию из-за сброса сточных вод организациями-водопользователями. Хотя это незначительные превышения по допустимой концентрации загрязняющих веществ, но, как известно, из малого вытекает большое. Так и здесь: каждое предприятие, сбрасывающее сточные воды с превышениями по допустимым установленным концентрациям, снижает способность рек к самоочищению. Цель исследования - определение уровня загрязнения р. Дубны Московской области. В данном исследовании составлена общая характеристика р. Дубна на основании гидрологических показателей и фоновых концентраций, предоставленных ФГБУ «Центральное УГМС». Для оценки характера загрязнения вод р. Дубна с учетом вклада предприятий рассматривался участок реки от устья до места впадения р. Кунья Московской области. Уровень способности к самоочищению выявлен на основе распределения загрязняющих веществ по группам лимитирующего показателя вредности. К органолептической группе относятся взвешенные вещества; рыбохозяйственной – нефтепродукты; санитарной – БПК<sub>полн</sub>, фосфаты; санитарно-токсикологической – хлориды, сульфаты, хром +3; к токсикологической – железо общее, аммоний ион, нитрит ион, нитрат ион, медь, никель, хром +6, цинк. Проанализировав расчеты для каждого вещества установлено, что самоочищающаяся способность р. Дубна на анализируемом участке исчерпана. Так как наблюдаются значительные превышения по всем выбрасываемым загрязняющим веществам, был установлен норматив допустимого сброса по ПДК<sub>рыбохоз</sub> (р. Дубна - река рыбохозяйственного значения). Предлагаемый нами норматив допустимого сброса по ПДК<sub>рыбохоз</sub> должен снизить антропогенную нагрузку на воды р. Дубна.*

*Small, medium and large rivers are adversely affected by wastewater discharges by water user organizations. Although this is a slight excess of the permissible concentration of pollutants, but, as is well known, large results from small. So, it is here: every enterprise that discharges waste water with elevations at permissible established concentrations reduces the ability of rivers to clean themselves. The purpose of the study is to determine the level of pollution p. Dubna, Moscow region. In this study, a general description of the p. Dubna on the basis of hydrological indicators and background concentrations provided by the Central UGMS. To assess the nature of water pollution r. Dubna, considering the contribution of enterprises, a section of the river from the mouth to the confluence of the r. Kunya Moscow region. The level of ability to self-purification was identified based on the distribution of pollutants in the groups of the limiting indicator of hazard. The organoleptic group includes suspended solids; fishery - oil products; sanitary - BOD<sub>full</sub>, phosphates; sanitary toxicological - chlorides, sulfates, chromium +3; To toxicological - total iron, ammonium ion, ion nitrite, ion nitrate, copper, nickel, chromium +6, zinc. After analyzing the calculations for each substance, it was found that the self-cleaning ability p. Dubna in the analyzed area has been exhausted. Since there are significant exceedances for all pollutants emitted, a standard of permissible discharge was established for the MPC (the Dubna river is a river of fisheries value). The standard of permissible discharge proposed by us for MPC should reduce the anthropogenic load on the waters of the river Dubna.*

Для анализа уровней загрязненности р. Дубна представлены на анализ концентрации сточных вод от 4 предприятий за 2010-2018 гг. МУП «Жилищно-коммунальный сервис» (Предприятие А) располагается вблизи п. Вербилки, Талдомского р-на Московской области, МУП «Талдомсервис» (предприятие В) - на р. Куйминка, притоке р. Дубна, котельная [1] (предприятие С) - вблизи места впадения р. Дубна в р. Волга в г. Дубна, ФГУП «РАДОН» (предприятие Д) производит сброс сточных вод ниже места впадения р. Кунья притока р. Дубна. Концентрации загрязняющих веществ в стоках предприятий представлены в таблице 1. Проанализировав данные показатели, можно сделать вывод о значительных превышениях концентраций

загрязняющих веществ над ПДК, особенно по таким веществам как: аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, фосфаты.

Расчет самоочищения проводится по формуле (1):

$$\frac{C1}{ПДК1} + \frac{C2}{ПДК2} + \dots + \frac{Cn}{ПДКn} < 1, \quad (1)$$

где  $C1, \dots, Cn$  – концентрации загрязняющих веществ в реке, относящиеся к одной группе;  $ПДК1, \dots, ПДКn$  – предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ данной категории водопользования, относящиеся к одной группе лимитирующих показателей вредности (ЛПВ). Если неравенство для реки не соблюдается, т.е. вода в реке к месту сброса сточных вод уже загрязнена и  $C_{реки} > ПДК$ , то уравнение принимает следующий вид:  $C_{НДС} \leq C_{ПДК}$

Это означает, что метод расчета с применением формулы смешения не может быть применен, так очищающая способность водоема в данном месте исчерпана и нормативные требования должны быть отнесены к самим сточным водам, сбрасываемым в водоем [2].

Органолептическая группа:  $13,6 + 0,75 = 14,35$  мг/л

Рыбохозяйственная:  $\frac{0,04}{0,05} = 0,8 < 1$

Санитарная:  $\frac{4,17}{3} + \frac{0,182}{0,05} = 1,39 + 3,64 > 1$

Санитарно-токсикологическая:  $\frac{29,3}{300} + \frac{27,5}{100} = 0,098 + 0,275 < 1$

Т.к. фоновой концентрации по хрому (+3) не было представлено, то для установления нормативов было использовано значение  $ПДК = 0,01$ .

Токсикологическая:  $\frac{0,79}{0,5} + \frac{0,26}{0,08} + \frac{6,02}{40} = 1,58 + 3,25 + 0,15 > 1$

Т.к. фоновой концентрации по хрому (+6), меди, цинку, никелю, железу общему не было представлено, то для установления нормативов были использованы значения ПДК.

Согласно расчету для каждого вещества, самоочищающаяся способность р. Дубна исчерпана.

Таблица 1. Концентрации загрязняющих веществ в выпусках предприятий.

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация загрязняющего вещества, мг/дм <sup>3</sup>				ПДК, мг/л	Фоновые концентрации
		A	B	C	D		
1	2	3	4	5	6		
1	Взвешенные вещества	13,78	340,7	48,1	8,81	+0,75	13,6
2	БПКполн	2,76	9,5	-	6,38	3,0	4,17
3	Нефтепродукты	0,046	1,58	0,6	0,58	0,05	0,04
4	Аммоний –ион	0,46	15,8	1,5	5,26	0,5	0,79
5	Нитрит –ион	0,073	25,36	-	2,23	0,08	0,26
6	Нитрат –ион	36,8	126,77	-	72,3	40	6,02
7	Хлориды	275,9	95,083	-	41,4	300	29,3
8	Сульфаты	91,8	316,94	-	36,7	100	27,5
9	Фосфаты	0,18	6,34	-	4,86	0,05	0,182
10	Железо общее	0,091	3,157	0,2	0,16	0,05	-
11	Медь	-	0,32	-	-	0,001	-
12	Цинк	-	3,17	-	-	0,01	-
13	Никель	-	3,17	-	-	0,01	-
14	Хром +3	-	6,34	-	-	0,07	-
15	Хром +6	-	6,34	-	-	0,02	-

Таблица 2. Сравнение нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ

№	Наименов. вещества	Предыдущий норматив, т/год				Установленный норматив, т/год			
		Предпр. А	Предпр. В	Предпр.С	Предпр.Д	Предпр. А	Предпр. В	Предпр.С	Предпр.Д
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Взвешенные вещества	15,1	4,07	1,003	4,73	15,10142	0,16815	0,29928	3,67
2	БПК <sub>полн</sub>	3,02	0,1	-	0,32	3,28	0,035	-	0,767
3	Нефтепродукты	0,05	0,02	0,012	0,024	0,05	0,005	0,00104	0,012
4	Аммоний-ион	0,5	1,89	0,031	0,187	0,54	0,00096	0,01043	0,1279
5	Нитрит-ион	0,08	0,3	-	0,038	0,08	0,47	-	0,0205
6	Нитрат-ион	40,3	1,51	-	19,218	43,8	0,0024	-	10,231
7	Хлориды	302,3	1,13	-	144,133	328,7	3,59	-	76,7328
8	Сульфаты	100,7	3,79	-	48,044	109,5	1,196	-	25,5776
9	Фосфаты	0,19	0,075	-	0,096	0,197	0,00055	-	0,0512
10	Железо общее	0,1	0,037	0,0042	0,048	0,109	0,0012	0,0021	-
11	Медь	-	0,0038	-	-	-	0,000001	-	-
12	Цинк	-	0,037	-	-	-	0,00012	-	-
13	Никель	-	0,037	-	-	-	0,00012	-	-
14	Хром +3	-	0,075	-	-	-	0,00084	-	-
15	Хром +6	-	0,075	-	-	-	0,00024	-	-

Проанализировав самоочищающуюся способность р. Дубна был сделан вывод, что способность р. Дубна к самоочищению исчерпана, как следствие необходимо установить нормативы допустимых сбросов веществ, согласно анализу.

Норматив допустимого сброса или НДС рассчитывается по формуле:

$$\text{НДС} = q \times \text{Сндс},$$

где  $q$  – расход сточных вод ( $\text{м}^3/\text{год}$ );

Сндс – установленная концентрация загрязняющих веществ [2].

Согласно санитарно-эпидемиологическим заключениям на проекты [3] были выявлены нормативы допустимых сбросов загрязняющих веществ и расход сточных вод для каждого из представленных на анализ предприятий.

Для предприятия А расход сточных вод составил: 1095,89425 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

Для предприятия В расход сточных вод составил: 11,969 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

Для предприятия С расход сточных вод составил: 20,856 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

Для предприятия D расход сточных вод составил: 336,67 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Установленные ранее для данных предприятий нормативы намного превышают ПДК [4], что означает увеличенную нагрузку на водный объект. Согласно, мониторинговым исследованиям на рассматриваемых предприятиях увеличенный сброс загрязняющих веществ в р. Дубна объясняется неэффективной работой очистных сооружений [5]. Поэтому в ходе проведенных расчетов рекомендовано снизить нормативы допустимых сбросов до ПДК (табл. 2). Данная мера должна предотвратить неконтролируемое загрязнение р. Дубна. А для соблюдения данных нормативов необходимо провести модернизацию очистных сооружений (предприятия А-D), в частности установить дополнительные блоки глубокой очистки нитрат-иона, нитрит-иона, аммоний -иона, фосфатов (предприятия В, С, D). Соблюдение предписанных мер по снижению нагрузки на водный объект возможно отслеживать с помощью наблюдений за изменением фоновой концентрации загрязняющих веществ в р. Дубна [6], а также по протоколам химического анализа веществ в сточных водах предприятий, отбираемых до и после очистных сооружений и выше/ниже места сброса аккредитованной лабораторией. Такие меры помогут предотвратить чрезмерное загрязнение р. Дубны и ее притоков, что неизменно повлечет за собой улучшения в экологической обстановке не только одной конкретно взятой реки, но и всех водных объектов.

## Литература

1. Андрианова А.М., Лазарева Г.А. Исследование промышленно-ливневых вод котельной как источника воздействия на окружающую среду. г. Дубна, 2012 //URL: <https://scienceforum.ru/2013/>
2. Приказ МПР России от 17.12.2007 N 333 (ред. от 31.07.2018) "Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей" (Зарегистрировано в Минюсте России 21.02.2008 N 11198). М. 56 с. //URL: <http://www.consultant.ru/>
3. Электронный эколог [Электронный ресурс] Санитарно-эпидемиологические заключения на проекты ТУ (терр. орг, 2005). // URL: <https://e-ecolog.ru/>
4. Приказ от 13 декабря 2016 года 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». Министерство сельского хозяйства Российской Федерации //URL: <http://www.consultant.ru/>
5. Отчет по экологической безопасности за 2015 год ФГУП «РАДОН». Московская область, 2015. 65 с. //URL: <http://www.radon.ru/>
6. Мониторинг загрязнения окружающей среды // «Федеральное государственное бюджетное учреждение "Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // URL: <http://ecomos.ru/>

## ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЁРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД С 1951 ПО 2017 ГГ

А.М. Новикова<sup>1</sup>, А.Б.Полонский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

## LONG-TERM VARIABILITY OF THE BLACK SEA WATER TEMPERATURE OVER THE PERIOD FROM 1951 TO 2017

A.M. Novikova<sup>1</sup>, A.B. Polonsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

*Анализ междесятилетней изменчивости температуры Черного моря на горизонтах 0, 50, 75, 100, 200, 300, 500 и 1000 м за период 1951–2017 гг. показал значительное повышение температуры за последние 20 лет и её положительный тренд на всех горизонтах.*

*Analysis of the inter-annual variability of the Black Sea temperature at horizons 0, 50, 75, 100, 200, 300, 500 and 1000 m for the period 1951-2017 showed a significant temperature increase over the last 20 years and its positive trend on all horizons.*

Долгопериодная изменчивость температуры вод Чёрного моря отдельных его частей рассматривалась в ряде работ на основе данных измерений [1,2,3]. Некоторые исследователи проводили моделирование долгопериодных трендов термохалинной структуры моря [4] для того, чтобы восполнить пробелы в существующих разрозненных базах данных. Часть исследований показывает наличие квазипериодической изменчивости в верхнем слое моря и положительного тренда в промежуточном слое. В других работах отмечается наличие положительного тренда и в верхних слоях Чёрного моря.

В данной работе была проанализирована наиболее полная база данных (БД) по температуре, собранная из различных источников [5], в том числе использовались данные спутниковой съемки температуры поверхности моря (ТПМ) [6]. Целью работы был анализ гидрологических полей, их пространственно-временной изменчивости. На основании полученной БД были построены карты среднегодовой температуры вод на различных глубинах: 0, 50, 75, 100, 200, 300, 500 и 1000 м. Для поверхности данные были разделены по сезонам: зимний (февраль-март) и летний (июль-август), так как в верхнем слое достаточно велика амплитуда сезонного хода, а также имеется достаточное количество данных для анализа. По среднегодовым величинам оценивалась междесятилетняя изменчивость температуры за период с 1951 по 2017 гг.

Проводился предварительный контроль качества данных: оценка выборок на погрешности с помощью анализа статистики и гистограммы распределения значений температуры через модуль «Statist» в QGIS [7]. После проверки соответствия выборочных гистограмм нормальному закону распределения из массивов были удалены экстремальные значения с использованием критерия  $\pm 3\sigma$ . Также удалены пустые значения, дающие ошибку в интерполяционных полях, и точки, расположенные за пределами береговой черты или изобат соответствующих глубин.

Долгопериодная изменчивость температуры в слое от поверхности моря до глубины 300 м изучается на протяжении нескольких последних десятилетий, однако накопление современных данных с профилирующих буёв Argo позволило уточнить тенденцию в изменчивости до конца 2017 года.

Расчёт характеристик междесятилетней изменчивости температуры проводился по средним за 10 лет величинам с пятилетним сдвигом (т.е. по группам 1951 – 1960, 1956 – 1965, 1961 – 1970 гг. и так далее) по среднегодовым значениям температуры на соответствующих глубинах. Поля среднегодовой температуры восстанавливались в узлы регулярной сетки из данных контактных измерений или спутниковой съемки с использованием метода кригинга в геоинформационной системе QGIS [8]. Так как с середины 1990-х гг. на протяжении 10 лет был спад в числе судовых измерений ТПМ, для уточнения значений среднегодовой температуры были взяты данные спутниковой съемки температуры поверхности моря для летнего и зимнего сезонов.

Как отмечалось ранее в работе [1], десятилетняя изменчивость температуры в поверхностных водах моря имеет квазипериодический характер. Было получено, что для зимы и лета колебания

различаются по амплитудно-фазовым характеристикам (рис. 1), тогда как для глубин 50-100 м и зимы имеют схожий характер. Размах междесятилетних колебаний поверхностной температуры в летний сезон составляет 2°C, в зимний – 1,5°C, на глубине 50 м – 1,27°C, 75 м – 0,9°C, 100 м – 0,64°C, 200 м – 0,16°C. Глубже 300 м этот показатель имеет совсем небольшие значения, <0,1°C, однако прослеживается рост температуры за исследуемый период.

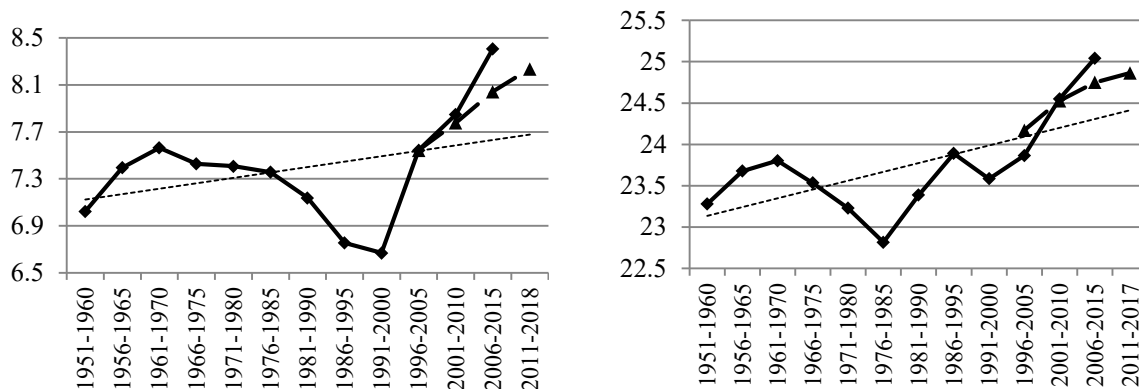


Рис. 1. Десятилетняя изменчивость средних значений ТПМ (°C) по данным контактных измерений (сплошная линия) и спутниковых измерений (длинная штриховка), а также тренд температуры (короткая штриховка) в феврале – марте (а) и июле – августе (б)

Минимальное значение температуры в летний сезон на поверхности приходится на период 1975-1985 гг., в зимний период на поверхности и на остальных горизонтах – на 1990-е – начало 2000-х. Этот спад температуры на 1°C наблюдался после максимума и зимнего, и летнего сезонов начала 1960-х гг. Подобный характер долговременной изменчивости температуры наблюдался и в восточной части Средиземного моря [9]. Максимальная разница между спутниковыми данными и данными контактных измерений составила 0,3-0,4°C в периоде 2006–2015 гг., тогда как в предыдущих десятилетиях расхождений практически не было заметно. На всех горизонтах видна общая тенденция – резкое повышение температуры за последние 20 лет, существенно превышающее её среднемаксимальные значения середины XX в. Рост ТПМ составил около 0,6°C в зимний период и 1°C в летний по сравнению с предыдущими максимумами.

## Литература

1. Полонский А.Б., Шокурова И.Г. Белокопытов В.Н. Десятилетняя изменчивость температуры и солености в Черном море // Морской гидрофизический журнал, 2013. №6. С. 27–41.
2. Bengil F., Mavruk S. Warming in Turkish Seas: Comparative Multidecadal Assessment // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 19(1), 2018, p. 51–57, doi: 10.4194/1303-2712-v19\_01\_06
3. Shapiro, G. I., D. L. Aleynik, and L. D. Mee. Long term trends in the sea surface temperature of the Black Sea // Ocean Sci., 6, 2010, p. 491–501, doi:10.5194/os-6-491-2010
4. Miladinova S., Stips A., Garcia-Gorritz E., and Macias Moy D. Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations // J. Geophys. Res. Oceans, 122(7), 2017, p. 5624–5644, doi: 10.1002/2016JC012644
5. Новикова А.М. Использование СУБД и ГИС для развития и анализа региональной океанологической базы данных по Чёрному морю // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, 2018. Вып. 12(32). С. 52–56.
6. Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR - Rome). 2016. Black Sea High Resolution SST L4 Analysis 0.0625 deg Resolution. Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2018-09-20] at <http://dx.doi.org/10.5067/GH0HN-4GB20>.
7. <http://gis-lab.info/qa/statist.html> (Дата обращения: 22.09.2018)
8. Новикова А.М., Котолупова А.А. Об опыте использования метода кригинга в программах Surfer и QGIS для морских климатических исследований // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, 2016. Вып. 6(26). С. 59–67.

9. Rixen M., Beckers J.-M., Levitus S. et al. The Western Mediterranean deep water: a proxy for climate change // *Geophys. Res. Lett.* – 2005. – 32, L12608. doi:10.1029/2005GL022702

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №18-45-920014 p\_a).*

*This work was carried out with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 18-45-920014 p\_a).*



## СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Ю.С.Новикова<sup>1</sup>, И.Л.Башмачников<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия

## SEASONAL AND INTERANNUAL DYNAMICS OF FRONTAL ZONES IN THE NORTH ATLANTIC

I.S.Novikova<sup>1</sup>, I.L.Bashmachnikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, St. Petersburg, Russia

*В работе предложен метод автоматического выделения границ Канни для обнаружения фронтальных разделов по картам динамической топографии уровня моря в морях Лабрадор и Ирмингера в период 1993-2016 гг.*

*In this research it is suggested to use the Canny edge detector for detection of fronts in the fields of satellite derived dynamic topography in the Labrador and Irminger seas for 1993-2016.*

### **Введение.**

Фронтальные зоны представляют собой области повышенных градиентов гидрофизических и/или гидрохимических характеристик. По выделяемой характеристике различают термические, соленостные, плотностные, термохалинные, динамические, термодинамические, фронты в поле гидрохимических характеристик, различные биотические и др. фронты. Фронтальные зоны обычно являются наиболее динамичными районами океана. С этим связана их высокая биопродуктивность, в связи с чем, фронтальные зоны представляют собой области активного рыбного промысла. В работе [1] была введена классификация термических океанических фронтов по их масштабу, причинам возникновения и устойчивости их проявления. Обычно фронтальные зоны являются областями повышенных градиентов сразу многих океанологических характеристик. В зависимости от наблюдаемых параметров, одни авторы выделяют фронт по высоким горизонтальным градиентам гидрологических характеристик [2] или на основе T-S-анализа рассматривались климатические фронтальные зоны [3], другие – по динамическим признакам [4, 5]: градиенты в поле скоростей течений, зоны конвергенции и дивергенции.

В данной работе рассмотрены климатические динамические фронтальные зоны разного происхождения морей Лабрадор и Ирмингера, определяемые повышенными градиентами уклонов уровня моря.

### **Исходные данные и методы анализа.**

Нами использовались альтиметрические данные об уровне моря AVISO с пространственным разрешением  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  и временным разрешением 7 суток за период с 1993 по 2016 гг. Для построения сезонной и межгодовой изменчивости динамических фронтов к отфильтрованным данным по уровню моря был применен дифференциальный оператор Канни (Canny edge detection)[6]. Используемый метод является многоступенчатым алгоритмом выделения границ и применяется в основном для обработки цифровых изображений. В алгоритме оператора Канни последовательно производится 5 этапов обработки сигнала:

1. сглаживание шума с помощью фильтра Гаусса;
2. поиск градиентов яркости;
3. подавление немаксимумов;
4. применение двойной пороговой фильтрации;
5. трассировка области неоднозначности.

Процесс обнаружения границ позволяет локализовать границы наиболее существенных неоднородностей изучаемых полей. Похожим методом выделялись фронтальные зоны в полях температуры и хлорофилла [7].

### Результаты.

Чтобы проследить сезонную изменчивость фронтов в Северной Атлантике, были построены карты пространственного распределения фронтальных зон. Обработка данных включала в себя несколько этапов:

1. осреднение уровня моря для каждого сезона: *зима*-январь-март, *весна*-апрель-июнь, *лето*-июль-сентябрь, *осень*-октябрь-декабрь с 1993 по 2016 гг., проводимое для подавления синоптической изменчивости;
2. применение оператора Канни к осредненным данным;
3. построение карт вероятности проявления фронтов в каждой точке области;
4. определение суммарной длины фронтов по климатическим сезонам путем суммирования пикселей фронтов.

Полученные по полю уровня наиболее устойчивые динамические фронтальные зоны (рис. 1, 2), фиксируются в областях основных течений выбранного региона: Восточно-Гренландского и Западно-Гренландского течений, ветви Северо-Атлантического течения, течения Ирмингера и Лабрадор. Сезонная изменчивость проявляется у фронтов Северо-Атлантического течения и течения Ирмингера, которые образовались в пределах хребта Рейкьянес, фронт у южной оконечности Гренландии, расположенный в области поднятия шельфа, а также у фронта близ стока Гудзонова залива.

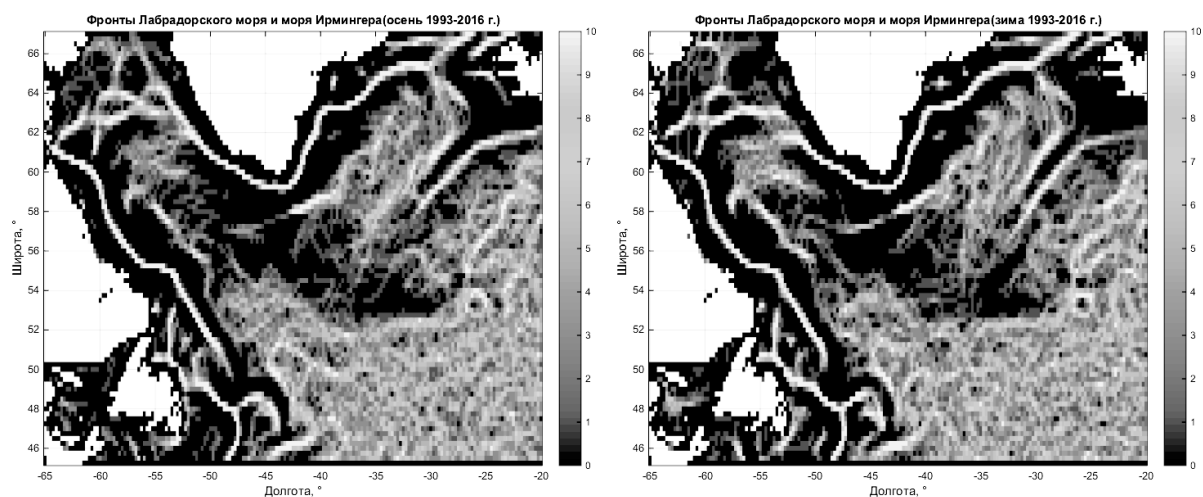


Рис. 1. Частота проявления динамических фронтов в осенний (слева) и зимний (справа) сезоны за 1993-2016 гг.

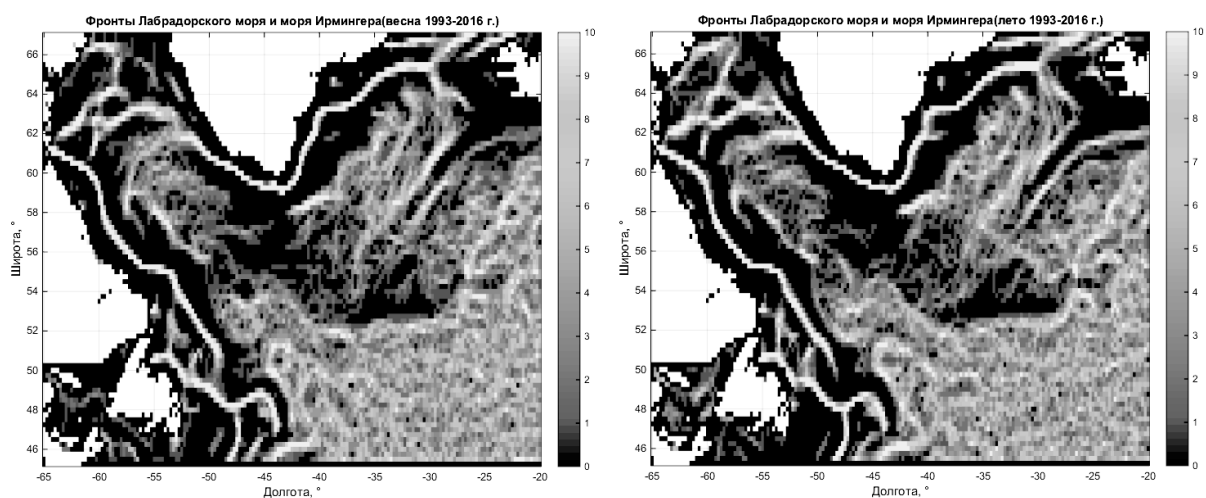


Рис. 2. Частота проявления динамических фронтов в весенний (слева) и летний (справа) сезоны за 1993-2016 гг.

Для оценки межгодовой изменчивости фронтов региона Северной Атлантики использовались те же методы, но суммирование пикселей фронтов проводилось за год, а также для каждого сезона. Далее проводился поиск связи суммарной длины фронтов (как характеристики их средней интенсивности) и индексов атмосферной циркуляции.

#### **Выводы.**

Анализ особенностей сезонной изменчивости фронтов за 1993-2016 гг. показал:

1. стабильность фронтальных зон в областях постоянных течений: Восточно-Гренландского, Западно-Гренландского и Лабрадорского;

2. наличие районов существенной сезонной изменчивости фронтов: фронт Северо-Атлантического течения и течения Ирмингера имеет максимальную связанность (общую длину) в зимний период; фронт течения Ирмингера в южной части Гренландии имеет максимальную длину в осенне-зимний сезон; фронт в районе стока Гудзонова залива сдвигается в сторону открытой части моря в весенне-летний сезон.

Основываясь на проведенном анализе межгодовой изменчивости за 1993-2016 гг., был сделан вывод о том, что вклад атмосферных процессов в динамику фронтальных зон прослеживается слабо. Это связано с тем, что большинство фронтальных зон в районе исследования приурочено к областям резкого изменения рельефа дна (топографически захваченные потоки), и их положение, а также общая протяженность (на уровне заданных в работе критериев), слабо изменяются под действием атмосферных процессов.

Метод, используемый в данной работе, открывает дополнительные возможности оценки положения и временной изменчивости фронтов в условиях высокой облачности, что достигается за счет использования данных спутниковой альтиметрии.

#### **Литература**

1. Федоров К. Н. Физическая природа и структура океанических фронтов//Гидрометеоздат, 1983.
  2. Добровольский А. Д., Леонтьева В. В., Кукса В. И. К характеристике структур и водных масс западной и центральной частей Тихого океана //Тр. ИОАН. – 1960. – Т. 10.
  3. Грузинов В. М. Гидрология фронтальных зон Мирового океана. – Гидрометеоздат, 1986.
  4. Ivanov Y. A., Neyman V. G. Frontal zones of the Southern Ocean //Antarktika. Dokl. komis. – 1964. – С. 138-154.
  5. Фукс В. Р. О возможности оценки положения фронтальных зон в океане по данным спутниковых измерений //Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 2009. С. 29-34.
  6. Canny J. A computational approach to edge detection //Readings in Computer Vision, 1987. С. 184-203.
  7. Belkin I. M., O'Reilly J. E. An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery//Journal of Marine Systems, 2009. – Т. 78. – №. 3. – С. 319-326.
- Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-05-00452).*

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-05-00452).*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА (ПРИПАЯ) ВО ФЬОРДАХ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Е.В. Новоселова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## MODELING OF THE SEA ICE COVER (SINGING) IN THE FERRIES OF WESTERN SPITZBERGEN

E.V. Novoselova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*В данной статье проведены расчёты эволюции толщины припайного льда с применением модели морского льда ААНИИ. Проведены численные эксперименты (поток тепла от океана). Сформулированы предложения по улучшению расчетных схем модели.*

*In this article, we calculated evolution of fast ice thickness using the AARI sea ice model. We conducted numerical experiments (heat flow from the ocean). We formulated proposals to improve the model's design schemes.*

Архипелаг Шпицберген является одним из показательных районов в Западной Арктике, подходящим для изучения современного состояния природной среды и направленности изменений регионального климата. Это связано с его уникальным географическим положением: в районе архипелага наблюдается интенсивное взаимодействие теплых и насыщенных влагой воздушных масс атлантического происхождения с холодными арктическими воздушными массами и снежно-ледниковой поверхностью суши. Расположенные на пути распространения атлантических вод атмосфера, гидросфера и криосфера архипелага первыми реагируют на изменения в теплосодержании этих вод и могут являться своеобразными индикаторами последующих глобальных климатических изменений [1]. Если говорить о практической стороне вопроса, то расчёт эволюции толщины припайного льда является актуальной задачей, поскольку это необходимо как для судоходства, так и для хозяйственной и туристической деятельности на архипелаге.

Были выполнены расчеты сезонной эволюции припая с помощью одномерной квазистационарной балансовой модели морского льда, разработанной в ААНИИ. В модели учтены основные физические процессы, протекающие на верхней и нижней границе льда и в его толще (теплопроводность через снег и лед, средняя солёность льда, поглощение солнечной радиации и т.д.).

Поток тепла от океана является внешним параметром модели, то есть подбирается и задаётся исходя из особенностей исследуемого района. Рассмотрим это более подробно на примере припая в районе бывшей метеостанции Пирамида (1948-1957 гг.), так как именно там имеются подробные ряды наблюдений за изменением толщины льда.

Поток тепла равный  $2 \text{ Вт/м}^2$  является средним для всего года значением для всего Арктического бассейна. Однако во фьордах этот поток, как правило выше [1], что и подтвердили результаты моделирования – расчёты с потоком тепла в  $2 \text{ Вт/м}^2$  неплохо описали, например, лишь первую половину 1949 года (рис. 1). По этой причине мы также использовали средний поток тепла равный  $10 \text{ Вт/м}^2$ , который хорошо описал, например, эволюцию припая в 1952 г. (рис. 1).

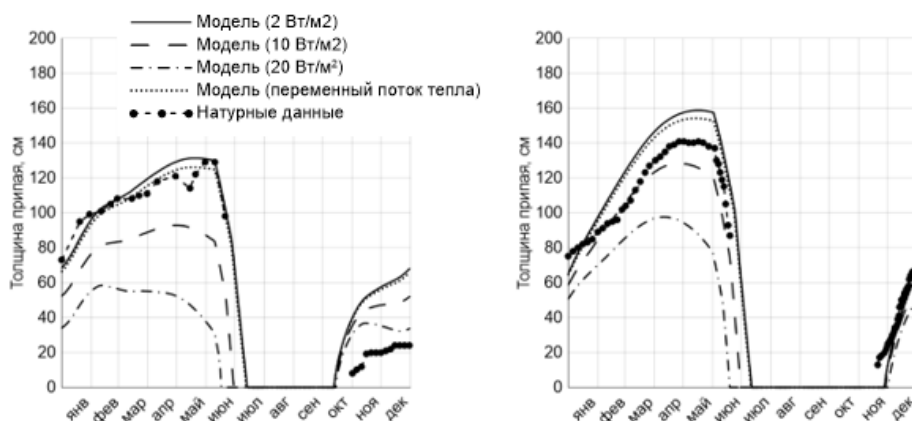


Рис. 1. Толщина припая в районе метеостанции Пирамида в 1949 (слева) и 1952 (справа) годах

Мы также провели моделирование эволюции припая в заливе Грен-фьорд для современного периода наблюдений: 2000-2011 гг. (в последующие года устойчивый припай не образовывался).

К сожалению, у нас отсутствовали данные инструментальных наблюдений за изменением толщины припая в течение года для исследуемой акватории. По этой причине мы использовали сводные годовые ледовые таблицы [2] для верификации результатов моделирования. Мы сравнили даты формирования устойчивого припая и очищения фьорда ото льда, а также максимальные толщины льда согласно ледовым таблицам с аналогичными величинами по результатам модельных расчётов.

В большинстве случаев модельные оценки не совпадают с наблюдаемыми результатами (таблица 1). По-видимому, потоки тепла как в  $2 \text{ Вт/м}^2$ , так и в  $10 \text{ Вт/м}^2$  остаётся недостаточным, поскольку, согласно предвычисленным датам, модельное ледообразование начинается раньше реально наблюдаемого, а модельное очищение акватории ото льда – позже.

Таблица 1. Фрагмент таблицы сравнения толщин льда, дат начала ледообразования (выделены светло-серым) и очищения ото льда (выделены тёмно-серым) согласно натурным наблюдениям (ледовым таблицам) и модельным расчётам.

Год	Натурные наблюдения			Модельные расчёты			
	Первое	Устойчи вое / окончате льное	Максимальная толщина	$2 \text{ Вт/м}^2$	Максимальная толщина	$10 \text{ Вт/м}^2$	Максимальная толщина
2003	19 июн	19 июн	90	8 июл	127	25 июн	96
	22 ноя	22 ноя		20 ноя		24 ноя	
2004	12 июн	12 июн	90	29 июн	100	17 июн	72
	23 ноя	21 дек		5 ноя		6 ноя	
2005	7 июн	7 июн	49	21 июн	59	10 июн	26
	19 дек			21 ноя		28 ноя	
...							
2010	15 янв	30 янв	38		81		48
	14 июн	14 июн		16 июн		4 июн	
	15 дек	15 дек		7 ноя		8 ноя	
2011	12 июн	20 июня	63	28 июн	73	17 июн	47

Таким образом, можно сделать заключение, что поток тепла от нижележащих слоев воды в квазиоднородный слой и к нижней поверхности льда является важнейшим внешним параметром модели, позволяющим существенно улучшить результаты моделирования.

Так как для некоторых районов архипелага не всегда имеются расположенные в непосредственной близости метеостанции, либо данные с этих метеостанций могут быть по каким-либо причинам недоступны, мы попытались выяснить, возможно ли использовать другие источники метеоданных. Наш выбор пал на данные атмосферного реанализа ERA-Interim [3], поскольку они находятся в открытом доступе, а также являются глобальными, то есть при необходимости их можно подобрать для любых, интересующих нас районов. Все расчёты проводились с использованием величины потока океанического тепла равного  $2 \text{ Вт/м}^2$ .

К сожалению, во всех случаях (2000 – 2011 гг.) расчёты толщины припая с использованием данных реанализа ERA-Interim дали, завышенные результаты относительно модельных оценок толщин припая, полученных с использованием данных ближайшей метеостанции (в нашем случае ГМО «Баренцбург»). В связи с этим, рекомендуется, при возможности, использовать именно данные натурных наблюдений при дальнейших расчётах.

В качестве примера на рисунке 2 приведены сравнительные расчёты для 2003 и 2006 года соответственно. Эти года были выбраны, так как в 2003 г. наблюдались максимальные смоделированные толщины припая, а в 2006 г. минимальные.

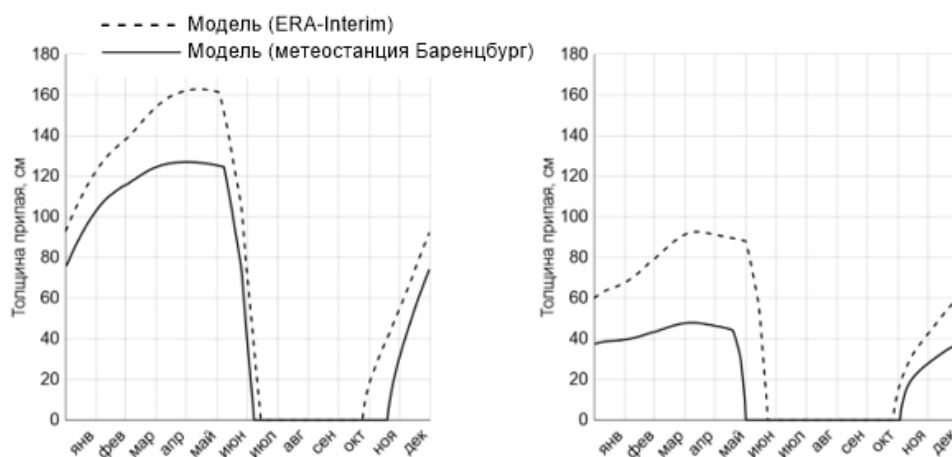


Рис. 2. Толщина припая в районе метеостанции Баренцбург по натурным данным и данным реанализа ERA-Interim в 2003 (слева) и 2006 (справа) годах

В стандартной версии модели коэффициент теплопроводности льда задаётся постоянным и равным  $2,09 \text{ Вт/мК}$ . Мы предлагаем использовать эмпирические соотношения, связывающие коэффициент теплопроводности со средневзвешенными по толщине льда значениями его температуры и солёности.

Учитывая, что модель основывается на принципе линейного распределения температуры в толще льда, то средневзвешенное значение температуры легко найти как среднее между его температурой на верхней и нижней границах.

Среднюю солёность льда мы можем получить, зная его толщину. Как было показано в работе [4], зависимость средней солёности льда от его толщины можно аппроксимировать несколькими линейными функциями в зависимости от его возраста (молодые и тонкие льды или многолетние).

Нами были проанализированы натурные данные о толщине припая и его средней по толщине солёности, полученные в заливе Грен-фьорд в 2008 – 2011 гг. в рамках экспедиций ААНИИ. Результаты представлены на рисунке 3. На нем видно, что средняя солёность неплохо коррелирует с толщиной припая, что подтверждает возможность использования предложенной зависимости в одномерной модели ААНИИ.

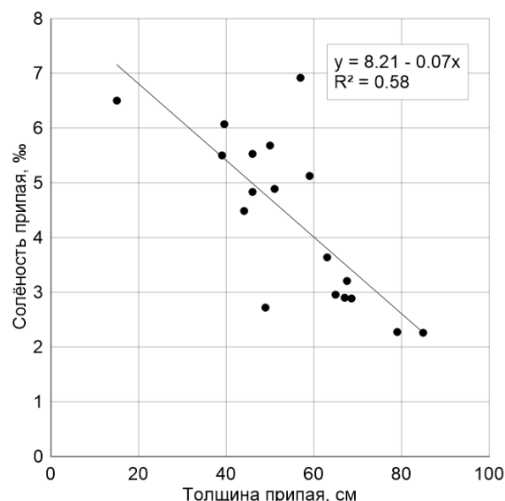


Рис. 3. Зависимость солёности припая от его толщины

Полученная зависимость ( $S = 8,21 - 0,07H$ ) позволяет, используя эмпирические формулы для коэффициента теплопроводности и теплоемкости, производить пересчет его значений на каждом временном шаге модели с учетом меняющейся (рассчитываемой) толщины льда и, как следствие, его средней температуры и солёности.

#### Литература

1. Иванов Б.В., Павлов А.К., Андреев О.М., Журавский Д.М., Священников П.Н. Исследования снежно-ледяного покрова залива Грен-фьорд (арх. Шпицберген): исторические данные, натурные исследования, моделирование // Проблемы Арктики и Антарктики, 2012. №2(92). С. 43-54.
2. <http://meteo.ru/> – Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД).
3. <https://www.ecmwf.int/> – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).
4. Назинцев Ю.Л., Панов В.В. Фазовый состав и теплофизические характеристики морского льда. СПб: Гидрометеиздат, 2000. 84 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЗОН ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА И СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Н.А. Орехова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, С.К. Коновалов<sup>1</sup>, д-р геогр. наук

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

## DEVELOPING OXYGEN DEFICIT AND SULFIDE CONTAMINATION IN COASTAL REGIONS UNDER ANTHROPOGENIC PRESSURE

N.A. Orekhova<sup>1</sup>, Cand. Sc., S.K. Kononov<sup>1</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

*На примере Севастопольской бухты изучены условия появления зон дефицита кислорода и сероводородного заражения. Показано, что формирование анаэробных условий в донных осадках бухты происходит в результате комбинации ряда факторов: мелкодисперсный характер осадков, высокое содержание органического вещества, а значит и потребление кислорода, и низкая интенсивность процессов физического обмена (обменные процессы в воде и ограниченное гидродинамическое воздействие на донные отложения), а значит и поступление кислорода.*

*On the example of the Sevastopol Bay, the conditions for the appearance of oxygen deficiency zones and hydrogen sulfide contamination were studied. It is shown that the formation of anaerobic conditions in the bottom sediments of the bay occurs as a result of a combination of a number of factors: the finely dispersed sediments, the high content of organic matter, and hence the oxygen consumption, and the low intensity of physical exchange processes (exchange processes in water and limited hydrodynamic effect on bottom sediments), and hence the supply of oxygen.*

Начиная с 40-х годов прошлого века отмечено снижение концентрации растворенного кислорода и возникновение зон дефицита кислорода в водах Мирового океана [1]. Этому способствовали активная индустриализация и рост численности населения за счет увеличения поступления биогенных элементов и органического вещества с материковыми и коммунально-бытовыми стоками, атмосферными выпадениями [2, 3], что привело к эвтрофикации экосистем, появлению и расширению зон дефицита кислорода, появлению зон сероводородного заражения в прибрежных районах.

Наиболее уязвимы для возникновения зон дефицита кислорода антропогенно нагруженные прибрежные мелководные экосистемы с затрудненным водообменом с открытой частью моря, а также районы внутренних морей [4, 5] с высокой вертикальной стратификацией вод. Будучи внутренней, почти замкнутой морской акваторией, Черное море является особенно подверженным влиянию пресноводного материкового стока [6], и вопрос загрязнения прибрежных вод стоит для Черного моря особенно остро, в первую очередь в акваториях крупных городов.

Важной характеристикой оценки влияния дефицита кислорода на функционирование экосистем является скорость, степень его развития и продолжительность существования [4]. Дефицит кислорода может носить временный характер (сезонная гипоксия в придонных слоях вод прибрежных районов), а также быть постоянной характеристикой системы (глубоководные слои вод Черного моря) [1–5]. Однако, даже в случае непродолжительной гипоксии, которая может развиваться в течение от нескольких часов до нескольких дней, организмы, средой обитания которых является водная толща, негативно реагируют на это – доминирующими становятся организмы, которые могут существовать в условиях гипоксии. По мере снижения концентрации кислорода развиваются субкислородные/анаэробные условия (отсутствие кислорода и появление восстановленных форм серы). В этих условиях наблюдается смещение последовательности биогеохимических и биологических процессов циклов углерода, азота, фосфора железа, а затем и серы. В том случае, когда сульфаты становятся основным окислителем органического углерода, в морской экосистеме развиваются восстановительные условия и появляется сероводород. Наличие сероводорода означает не только отсутствие кислорода, необходимого для дыхания высших биологических организмов, но и наличие физиологического яда в окружающей среде. Так, в августе 1973 г. в северо-западной части Черного моря между



дельтой Дуная и Днестровским лиманом возникновение обширной зоны дефицита кислорода привело к массовой гибели (замору) донных организмов. Тогда, на площади около 3500 км<sup>2</sup>, на глубинах от 10 до 22 м погибло около 500 тыс. т донных животных. В последующие годы площади зон заморов на северо-западном шельфе увеличились до 40 тыс. км<sup>2</sup>, что привело к существенному сокращению биологического разнообразия [7–8].

Очевидно, что изучение вклада гидрофизических и биогеохимических процессов в формирование зон дефицита кислорода и сероводородного заражения, а также количественная оценка условий их возникновения и прогноза допустимой антропогенной нагрузки для предотвращения катастрофических изменений в экосистеме прибрежных акваторий являются актуальными задачами для всего Мирового океана.

Целью данной работы было изучить условия развития дефицита кислорода в прибрежных экосистемах в условиях антропогенного воздействия на примере бухт Севастополя (Черного море).

Севастопольская бухта представляет собой типичную прибрежную экосистему эстуарного типа, в течение длительного времени подвергающуюся антропогенному воздействию: по берегам бухты расположены аварийные коммунально-бытовые и ливневые выпуски, доковые площади и стоянки маломерных судов. В кутовой части – бухта принимает воды р. Черной.

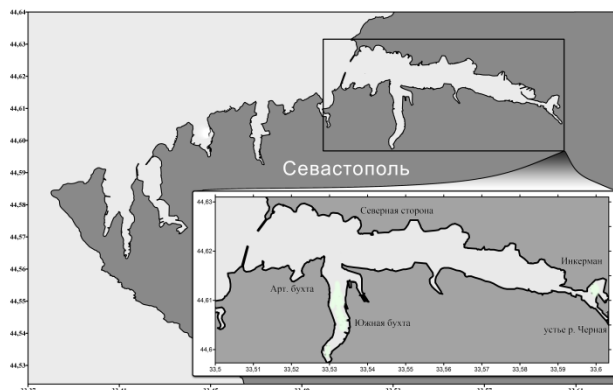


Рис. 1. Район исследования

Поступление биогенных элементов и органического вещества антропогенного происхождения в воды Севастопольской бухты привело к ее эвтрофированию. Ограниченный водообмен бухты с открытой частью моря создает благоприятные условия для накопления поступающих с внешними источниками загрязняющих веществ и органического углерода в донных отложениях. Высокое содержание органического углерода ( $\geq 6\%$  масс.) [9] в донных отложениях бухты определяет высокую интенсивность потребления кислорода, что ограничивает глубину проникновения кислорода в донные отложения: в настоящее время кислород проникает в толщу отложений на 2–3 мм, а его концентрация на поверхности осадков, в среднем, не превышает 30 мкмоль/л в летний период, хотя достигает 300 мкмоль/л в зимний период. В бухте отмечены районы (б. Южная), для которых характерны анаэробные и даже сульфидные условия в донных отложениях (рис. 1, 2а). Формированию наблюдаемой структуры отложений способствуют ограниченное гидродинамическое воздействие, мелкодисперсный характер осадков и высокое содержание органического углерода в донных отложениях.

Разделка списанных судов на металлолом в кутовой части бухты (район Инкермана, рис. 1) привела к тому, что в этом районе в настоящее время основным компонентом поровых вод донных отложений является растворенное железо (рис. 2б), а содержание органического углерода составляет 4,0 % (в слое 0–5 см).

Таким образом, высокий уровень антропогенной нагрузки и эвтрофикация вод Севастопольской бухты способствуют накоплению органического вещества в донных отложениях и формированию зон дефицита кислорода. Отсутствие кислорода в донных отложениях бухты создает условия для участия азота, железа, марганца и серы в биогеохимических процессах окисления органического вещества. Активное техногенное

воздействие на экосистему бухты привело к тому, что железо является основным макрокомпонентом донных отложений и его содержание достигает 3–5% масс. При таком количестве реакционноспособного железа образуются значительные количества Fe(II), которое в анаэробных условиях взаимодействует с сероводородом с образованием коллоидного моносulfида железа ( $\text{FeS}_{\text{aq}}$ ) (рис. 2а). Снижение содержания моносulfида железа с глубиной обусловлено его осаждением в донных отложениях в виде пирита ( $\text{FeS}_2$ ). По мере истощения железа в более глубоких слоях появляется сероводород, а затем происходит увеличение его содержания и уменьшение содержания  $\text{FeS}_{\text{aq}}$  вплоть до полного исчезновения (рис. 2а). Это указывает на то, что в настоящее время содержание железа в донных отложениях Севастопольской бухты достаточно для связывания всего продуцируемого сероводорода в сульфиды железа.

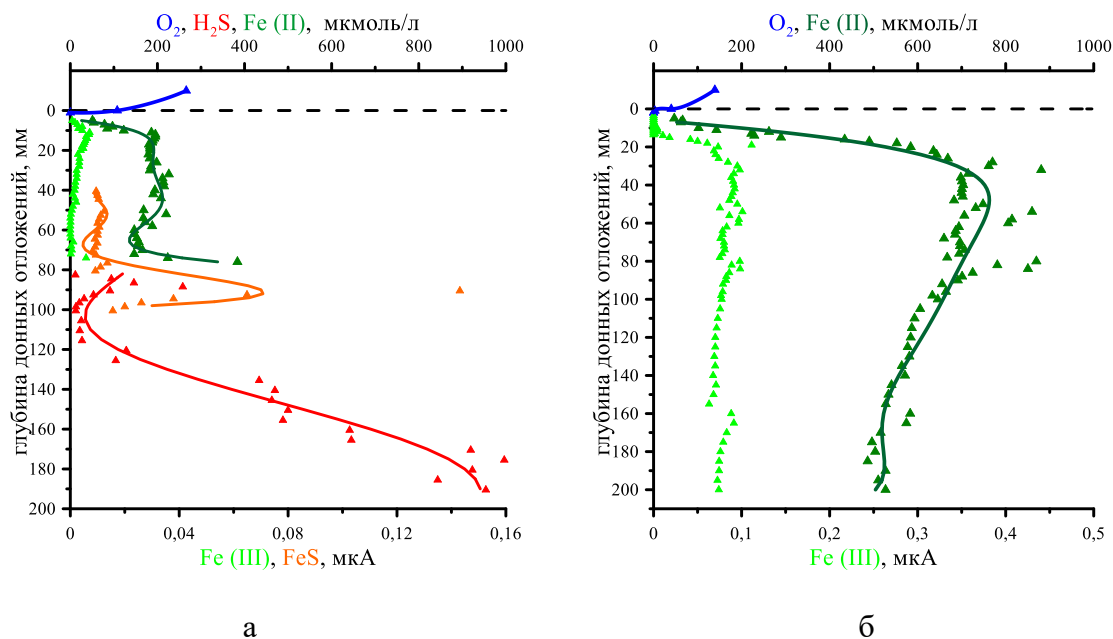


Рис. 2. Вертикальный профиль донных отложений Севастопольской бухты (18.05.2017)

С учетом распределения кислорода и геохимических характеристик в поверхностном слое донных отложений была рассчитана величина потока кислорода на границе с придонным слоем вод. В холодный период года (с ноября по апрель) эта величина достигает  $\sim 2$  моль/(год $\cdot$ м $^2$ ). В теплый период года кислород в донных отложениях Севастопольской бухты преимущественно отсутствовал, а его содержание в придонном слое воды снижалось до 30  $\mu\text{mol/L}$ , что на порядок меньше характерных величин для холодного периода года. Учитывая отсутствие кислорода и сульфидов в поверхностном слое донных отложений, можно предположить, что только благодаря высокому содержанию железа и, возможно, нитратов, значительная часть потока растворенных сульфидов расходуется в верхнем слое и не достигает поверхности донных отложений. Очевидно, что при дальнейшем поступлении и накоплении органического углерода граница сульфидных условий будет сдвигаться ближе к поверхности донных отложений. С учетом величины потока и запаса кислорода время истощения кислорода из придонного слоя вод при условии отсутствия его источников составляет  $\sim 1$  месяц.

Таким образом дефицит кислорода и, как следствие, развитие анаэробных условий на поверхности донных отложений Севастопольской бухты определяется комбинацией нескольких факторов: высоким содержанием органического углерода, которое приводит к высокой скорости потребления кислорода, и тонкодисперсным характером отложений, ограничивающим диффузионный поток кислорода из придонного слоя воды в отложения, а также затрудненной вентиляцией вод.

В условиях отсутствия рационального подхода при эксплуатировании бухты возможно протекание 3-х сценариев изменений в ее состоянии:

1) поток органического вещества в донные отложения бухты превысит ассимиляционный потенциал экосистемы, что неизбежно приведет к накоплению органического вещества в донных отложениях, исчерпанию запаса окислителей даже в самых верхних слоях отложений, интенсивному продуцированию сероводорода;

2) постоянный и не увеличивающийся поток органического вещества будет сопровождаться образованием восстановленных форм серы, однако содержания железа будет достаточно для связывания образующегося сероводорода;

3) исчерпание запаса железа, поскольку его поток уменьшается, а поток органического углерода возрастает, приведет как к резкому увеличению содержания свободного сероводорода в отложениях, так и к его поступлению в придонные слои вод.

## Литература

1. Diaz R.J., Rosenberg R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems // Science. 2008. № 321. P. 926 – 929
2. Zhang J. et al. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development // Biogeosciences. 2010. №7. P. 1443 – 1467.
3. Middelburg J.J., Levin L.A. Coastal hypoxia and sediment biogeochemistry // Biogeosciences. 2009. №6. P. 1273 – 1293.
4. Diaz R. J. Overview of Hypoxia around the World // Journal of Environmental Quality. March – April, 2001. Vol. 30, № 2. P. 275 – 281.
5. Friedrich J. et al. Investigating hypoxia in aquatic environments: diverse approaches to addressing a complex phenomenon // Biogeosciences. 2014. 11. P. 1215–1259.
6. Завьялов П.О. и др. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 3. С. 265 – 280.
7. Берлинский Н.А., Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И. Проблемы антропогенного эвтрофирования и развития гипоксии в северо-западной части Черного моря // Экология моря. 2003. №. 63. С. 17 – 22.
8. Зайцев Ю.П. Введение в экологию Черного моря. Одесса: Эвен, 2006. – 224 с. (ISBN 966-8169-16-6).
9. Орехова Н.А., Коновалов С.К. Потоки кислорода и сероводорода на границе с донными отложениями как метод оценки экологического состояния // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». – Том I. – М.: АПР., 2015. с. 259 – 263.

*Работа выполнена в рамках темы гос. задания 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»), проектов РФФИ 16-35-60006 мол\_a\_дк ««Многолетние изменения характеристик цикла углерода Севастопольской бухты» и 18-05-80028 Опасные явления «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива».*

*The work was performed in the framework of the theme of the state assignment 0827-2018-0004 (code “Coastal Research”), projects of the RFBR 16-35-60006 mol\_a\_dk ““ Long-term changes in the characteristics of the carbon cycle of the Sevastopol Bay ”and 18-05-80028 Hazards“ Research and assessment of the role of hydrophysical and biogeochemical processes in the formation of zones of oxygen deficiency and hydrogen sulfide contamination of the coastal areas of the Crimean peninsula and the Kerch Strait ”.*

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЙСБЕРГОВ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ И ВЕРТОЛЁТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е.А. Павлова<sup>1</sup>, Е.У. Миронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## PECULIARITIES OF ICEBERG DISTRIBUTION ACCORDING TO SHIP AND HELICOPTER OBSERVATIONS

E.A. Pavlova<sup>1</sup>, E.U. Mironov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Представлен анализ данных судовых и вертолётных наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, полученных в экспедициях на акватории арктических морей с 2012 по 2018 гг. Предложены подходы к анализу имеющейся информации.*

*The analysis of ship and helicopter observations on the location and characteristics of icebergs, as well as in expeditions in the Arctic seas from 2012 to 2018, is presented. The proposed approaches to the analysis of available information.*

Представлены данные экспедиций, которые формируют актуальную картину распределения айсбергов в различные периоды года на большей части акватории Арктики (моря Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское).

В настоящем докладе представлен анализ данных судовых и вертолётных наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, накопленных в экспедициях ААНИИ с 2012 по 2018 годы (более 2000 объектов). Массив данных айсбергов содержит информацию в различные периоды года, включая и тёплые и холодные. Информация охватывает все моря российской Арктики.

Ниже представлен состав информации, по которой проводился анализ:

- Дата и время обнаружения
- Местоположение (море, район моря, координаты)
- Тип информации: судовые визуальные наблюдения, вертолётные визуальные наблюдения, аэрофотосъёмка.
- Тип объекта: айсберг, кусок айсберга, обломок айсберга
- Форма (пирамидальный, столообразный, разрушающийся, наклонный)
- Количество: единичный объект или группа объектов
- Размеры объекта
- Площадные характеристики
- Ледовые условия
- Метеорологические условия
- Фотографии, сделанные с борта судна

На рисунке 1, представлена полнота имеющейся информации.

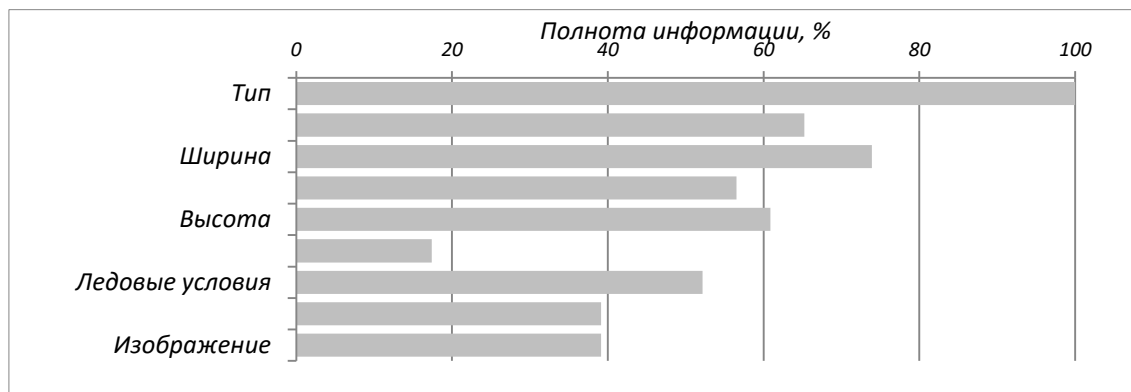


Рис. 1. Полнота информации об айсбергах

Большинство экспедиционных работ в Арктике выполняются в периоды наиболее лёгкой ледовой обстановки, поэтому информация о местоположении айсбергов распределена в течение года не равномерно. На рисунке 2 показана повторяемость экспедиционных работ по месяцам.

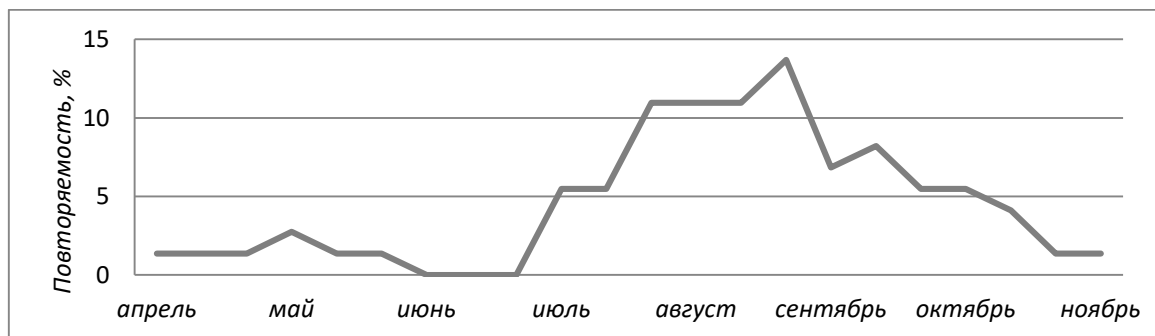


Рис. 2. Повторяемость экспедиционных работ в различные сезоны года

Информация о местоположении айсберга (обломка или куска айсберга) и его характеристиках – не представляется нам исчерпывающей, так как упомянутые способы наблюдения за айсбергами (кроме аэрофотосъёмки) содержат информацию о тех участках, где айсберги не встречались. При наблюдении за ледовой обстановкой с вертолёта, видимый обхват акватории зависит от высоты полёта и метеорологической дальности видимости. Но так как высота полёта при проведении наблюдений не регистрировалась, мы можем использовать только информацию о зафиксированных объектах (айсбергах).

При судовых наблюдениях, составляющих большую часть всей имеющейся у нас информации, видимый обхват акватории зафиксировать возможно. Для того, чтобы использовать эту информацию, мы обратились к следующим допущениям: Максимальная дальность видимости при судовых наблюдениях – 10 морских миль [1]. Это позволит от линейных величин перемещения судна перейти к площадным областям обзора. Если к этой информации добавить данные о метеорологической дальности видимости, получим область наблюдения более близкую к реальным условиям. На рисунке 3 показан фрагмент построенной области наблюдения с учётом дальности видимости.

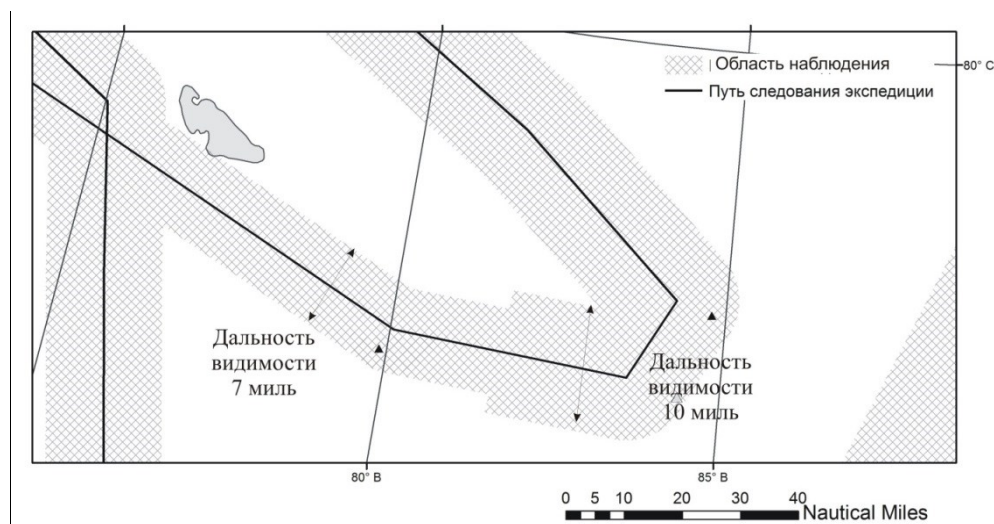


Рис. 3. Область наблюдения с учётом дальности видимости

В таблице 1 показаны некоторые полученные результаты. Приведено количество айсбергов, зафиксированных в ходе экспедиционных работ последних лет на 1000 км<sup>2</sup>.

Таблица 1. Айсберги, зафиксированные в ходе экспедиционных работ последних лет на 10000 км<sup>2</sup>

Регион	июль	август	сентябрь	Октябрь
Карское море, юго-западная часть	-	12	20	-
Карское море, северо-восточная часть	14	-	29	-
Море Лаптевых	-	0,3	2	1
Восточно-Сибирское море	-	-	0	2

В таблицу 1 вошли данные за период с июля по октябрь, так как в этот период года была наибольшая повторяемость экспедиционных работ, это показано на рисунке 2. Кроме того, охвачены не все моря российской Арктики, это связано с рядом особенностей производимых работ. В Баренцевом море пути следования экспедиций проходили в основном в районе до южной границы распространения айсбергов [2], [3] и ни одного объекта зафиксировано не было. В Чукотском море, а также в те месяцы, где в таблице 1 прочерки – недостаточное количество данных.

Из таблицы видно, что наибольшее количество айсбергов было зафиксировано в Карском море в сентябре, это связано с большим количеством работ у берегов архипелагов Новая Земля и Земля Франса-Иосифа. В Восточно-Сибирском море, несмотря на достаточно большую область наблюдения, айсбергов было зафиксировано достаточно мало. Это подтверждает известную закономерность, что большинство айсбергов сосредоточено в западном секторе Арктики, где находятся выводные ледники на архипелагах ЗФИ, Новая Земля и Северная Земля [3, 4, 5]. На рисунке 4 показано распределение айсбергов по величине.

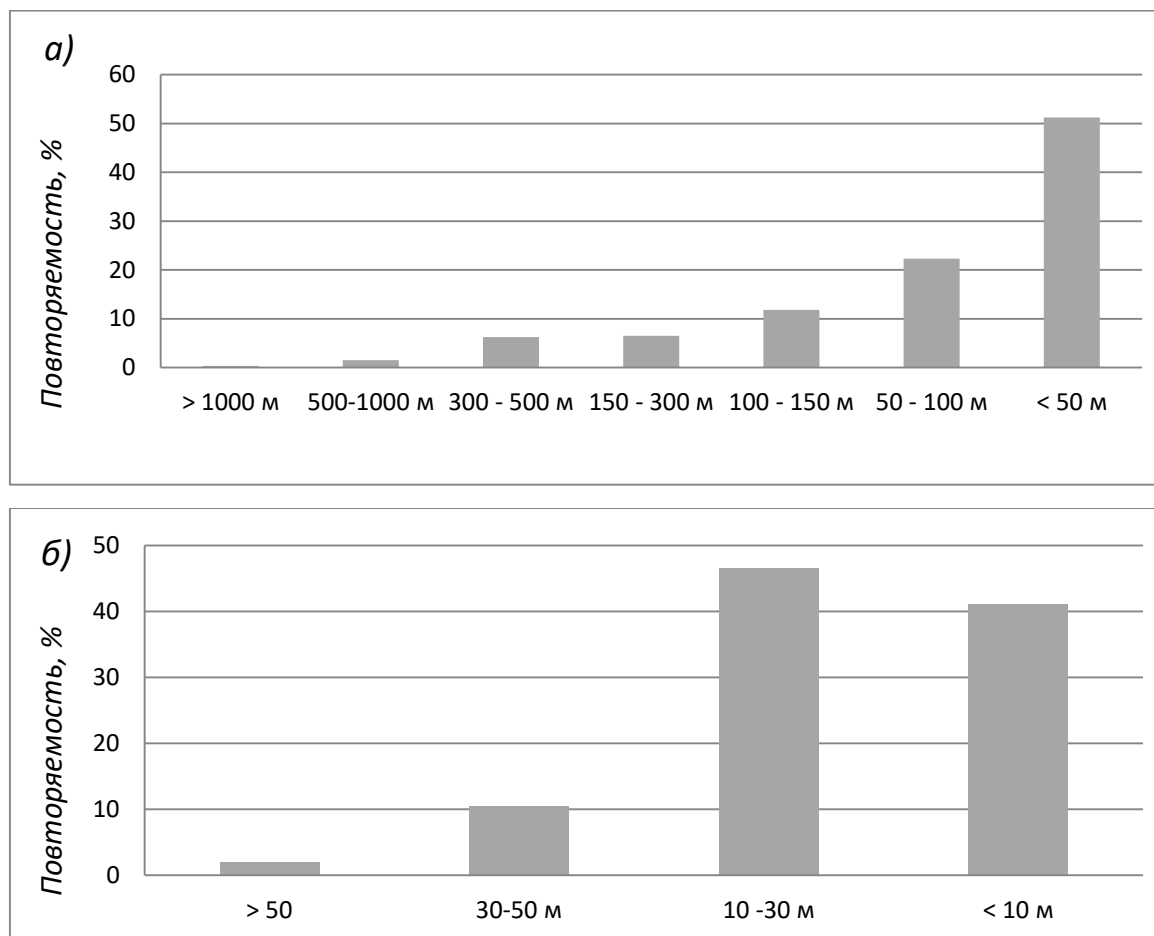


Рис. 4. Морфометрические характеристики айсбергов: а) длина айсберга, б) высота айсберга

Наибольшее количество всех зарегистрированных айсбергов –разрушающиеся, что связано с наибольшей частотой экспедиционных работ в тёплый период года. Также велика доля столообразных айсбергов, что может быть связано с особенностями ледников, от которых они откалываются.

Анализ имеющихся данных позволяет сделать следующие выводы:

– Наибольшее количество айсбергов сосредоточено у архипелагов расположенных в акватории западных арктических морей, причём наибольшее количество айсбергов было зарегистрировано в сентябре.

– Большинство зафиксированных айсбергов имеют размеры менее 50 м в длину и менее 30 м в высоту, что закономерно, если принимать во внимание то, что преобладающее количество всех айсбергов – разрушающиеся.

### **Литература**

1. Стехновский Д.И., Зубков А.Е., Петровский Ю.С. Навигационная гидрометеорология. // М.–Транспорт». – 1971, 280с.
2. Бузин И.В, Глазовский А.Ф., Гудошников Ю.П. /Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет// Проблемы Арктики и Антарктики №1(78) – 2008, 15с.
3. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. / Под ред. Е.У. Миронова – СПб., Изд. ААНИИ, 2010, 320 с.
4. Атлас гидрометеорологических и ледовых условий морей российской Арктики: обобщение фондовых материалов и результаты экспедиционных исследований ООО «АНПЦ» в 2012-2014 гг. / Под ред. В.А. Павлова, О.А. Вербицкой, Е.У. Миронова, П.А. Тарасова, К.А. Корнишина // Изд. Нефтяное хозяйство, М., 2015.
5. Abramov V. Atlas of Arctic icebergs. –Backbone Publishing Company, 1996. 70 p.

*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».*

*This work was supported by the RFBR grant 18-05-60109 “Study of the formation and evolution of dangerous ice phenomena and ice formations in the Arctic under current climate change”.*

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОВ НЕВСКОЙ ГУБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

В.В. Паничев<sup>1</sup>, В.А. Жигульский<sup>1</sup>, канд. техн. наук, М.М. Булышева<sup>1</sup>, В.Ф. Шуйский<sup>1</sup>, д-р биол. наук, Е.Ю. Максимова<sup>1</sup>, канд. биол. наук, А.М. Булышева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО "Эко – Экспресс - Сервис", Санкт-Петербург, Россия

## SOME SPECIFIC METHODOLOGICAL ASPECTS OF STUDYING THE SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF MACROPHYTE THICKET ECOSYSTEMS IN THE NEVA BAY WITH THE USE OF AERIAL SURVEY

V.V. Panichev<sup>1</sup>, V.A. Zhigulsky<sup>1</sup>, Cand. Sc., M.M. Bulysheva<sup>1</sup>, V.F. Shuisky<sup>1</sup>, Dr. Sc., E. Yu. Maksimova<sup>1</sup>, Cand. Sc., A.M. Bulysheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>"Eco-Express-Service" LLC, St. Petersburg, Russia

*Представляются некоторые методы изучения динамики водной растительности с применением квадрокоптера по научной программе компании "Эко-Экспресс-Сервис" "Плавни восточной части Финского залива".*

*Some methods of studying the dynamics of macrophyte thicket ecosystems with the use of quadcopter according to the scientific programme of "Eco-Express-Service" LLC "Macrophyte thicket ecosystems of the Eastern Gulf of Finland" are presented.*

### **Особенности решаемых задач.**

Научно-исследовательская программа "Плавни восточной части Финского залива (ВЧФЗ)" разработана и выполняется Санкт-Петербургской компанией "Эко-Экспресс-Сервис" [1-3]. Начиная с 2016 г., в Невской губе и прилегающей акватории ВЧФЗ изучается пространственно-временная динамика экосистем зарослей высшей водной растительности в условиях гидростроительства и его последствий.

Раздельно изучается техногенное влияние на экосистемы зарослей различного возраста. Возраст зарослей условно включает 3 градации: заросли "старые" – существовавшие и до начала строительства Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС); "средневозрастные" – возникшие в ходе его строительства; "новые" – появившиеся после завершения КЗС.

Уровень воздействия гидротехнических работ и их последствий на экосистемы зарослей также подразделён на три градации: воздействие "сильное" – в зоне прямого влияния работ или их недавних последствий; "умеренное" (непрямое) и "фоновое" – при отсутствии значимых техногенных изменений воды и грунта.

Создана система эталонных участков зарослевых экосистем, отражающая все реальные сочетания трёх градаций возраста зарослей и трёх градаций уровня воздействия на них гидротехнических работ. Такие комбинации выделены в двух вариантах:

во-первых, вдали от КЗС (найжены все 9 возможных сочетаний градаций возраста растительности и уровня техногенной нагрузки);

во-вторых, около КЗС (здесь реализованы только 5 сочетаний из 9).

Системные участки маркированы тройным кодом:

- прописная буква А или В – означает "вдали от КЗС" или "возле КЗС" соответственно;

- цифра 1, 2 или 3 – отражает возраст зарослей: "старые", "средневозрастные" или "новые" соответственно;

- строчная буква а, b или с – характеризует уровень техногенной нагрузки: "фоновое", "умеренное" или "сильное" соответственно.

Например, эталонный участок с индексом А2с находится вдали от КЗС и представляет заросли среднего возраста в условиях сильного воздействия гидротехнических работ.

Кроме того, наблюдаются два дополнительных (внесистемных) участка в зарослях макрофитов с наивысшим обнаруженным биоразнообразием.

Местоположение всех эталонных участков указано на рисунке 1.



Таким образом, наблюдения ведутся на 16 эталонных участках, представляющих основные сочетания возраста зарослей и уровня изучаемого воздействия.

Комплексная сравнительная количественная оценка экосистем разновозрастных зарослей макрофитов ВЧФЗ в градиенте воздействия гидротехнических работ выполняется впервые.

Ежегодные комплексные исследования на эталонных участках включают: аэрофотосъемку и картирование водной растительности; фитоценологические исследования; отбор и анализ проб воды, грунта, фитопланктона, зоопланктона, зообентоса (3 раза в год) на 28 станциях; наблюдения за водоплавающими и околоводными птицами при весенних и осенних миграциях и при гнездовании; изучение нереста и нагула молоди фитофильных видов рыб.



Рис. 1. Местоположение 14 системных эталонных участков (тёмные кружки) и 2 внесистемных участков с наивысшим разнообразием (светлые кружки)

Такие задачи исследования определяют необходимость оценивать состояние зарослевых экосистем на большой акватории, причём в достаточно сжатые сроки, обеспечивающие относительную одновременность этих оценок. Это определило значительную роль экспресс-методов исследования (не заменяющих, а дополняющих традиционные методы) – в частности, аэрофотосъёмки с применением квадрокоптера.

#### **Аэрофотосъёмка и дешифрирование эталонных участков и растительных массивов.**

Для аэрофотосъёмки исследуемых участков нами используется квадрокоптер DJI Phantom 4 с встроенной камерой с матрицей 1/2.3", 12Мп. Полетного времени аппарата (15-25 минут) хватает для выполнения съёмки с разрешением 6,5 см/пикс. на площади 45-50 га.

Аэрофотосъёмка растительности эталонных участков с дальнейшим дешифрированием результатов осуществляется в двух режимах:

- съёмка для получения ортофотоплана – с высоты около 150 м, с разрешением полученных результатов в 7 см/пиксель;

- выборочная съёмка для подробного картирования растительности на гидробиологических профилях, съёмки гидробиологических и ихтиологических станций, уточнения видовых диагнозов растений и прочих вспомогательных работ – с высоты от 5 до 20 м.

Съёмка для получения ортофотоплана охватывает не только сам эталонный участок, но и его периферически-внешние зоны, а именно:

- две латеральные базальные зоны, примыкающие к участку слева и справа, каждая шириной в половину ширины участка;

- фронтальная медиальная зона – полоса акватории, примыкающая к морской границе участка, с верхней границей в 50 м от морской границы участка;

- две фронтальные латеральные зоны – примыкающие к фронтальной медиальной зоне слева и справа, каждая шириной в половину ширины участка.

Сравнение характеристик растительности самого участка и его периферических зон позволяет оценивать репрезентативность участка применительно к представляемому им растительному массиву.

Аэрофотосъёмка растительных массивов, которым принадлежат эталонные участки, с дальнейшим дешифрированием результатов для получения ортофотоплана, производится с высоты около 500 м.

Общая площадь эталонных участков с их периферическими зонами составляет 4,5 км, общая площадь массивов – 17,5 км. При трёхкратной за сезон аэрофотосъёмке эталонных участков и растительных массивов (конец мая – начало июня, конец июля – начало августа и октябрь) осуществляется около 200 вылетов с общей протяжённостью полета около 1000 км.

#### **Изучение зависимости результатов определения проективного покрытия акватории растительностью от высоты съёмки и природных условий.**

Одним из результатов дешифрирования аэрофотоснимков является оценка проективного покрытия акватории растительными сообществами и отдельными видами макрофитов. Однако этот показатель может существенно зависеть как от высоты, с которой производилась аэрофотосъёмка, так и от условий окружающей среды. Для обеспечения корректной оценки и сравнительного анализа пространственно-временных изменений проективного покрытия водной поверхности теми или иными макрофитами количественно изучается влияние на этот показатель таких факторов, как уровень воды, время, освещённость, облачность, морское волнение, ветровые условия, глубина, прозрачность.

В частности, разрабатывается метод оценки подвижности растительного массива, влияющей на погрешности дешифрирования. Подвижность оценивается путём сравнительного анализа ортофотопланов опытного полигона, выполненных для различных ветровых условий. При этом ветровые отклонения растительности выявляются путём сравнения величин проективного покрытия с таковыми при безветрии.

Общее представление о влиянии высоты аэрофотосъёмки на эффективность идентификации и количественного описания макрофитов при дешифрировании снимков даёт приводимая таблица 1.

Таблица 1. Распознаваемость макрофитов при различной высоте съёмки в благоприятных метеоусловиях

Высота, м	Макрофиты						
	тростник, камыш, рогоз	кубышка	телорез	рдесты	водокрас	кладофора,с трелолист	погружен- ная рас- тительность
50	+	+	+	+	+	+	+
100	+	+	+	+	+	+	+
150	+	+	+	?	?	+	+
200	+	+	?	?	–	–	+
250	+	+	?	–	–	–	+
300	+	+	–	–	–	–	+
350	+	?	–	–	–	–	+
400	+	?	–	–	–	–	?
450	+	?	–	–	–	–	?
500	+	?	–	–	–	–	?

Примечание: обозначения "+", "-", "?" – распознавание возможно, невозможно, удаётся в некоторых случаях соответственно.

В целом, наибольшая зависимость результатов определения проективного покрытия от внешних факторов свойственна погружённой растительности и некоторым растениям с мелкими плавающими листьями. Наиболее стабильны результаты определения проективного покрытия

водной поверхности полупогружёнными растениями, формирующими сравнительно крупные плотные массивы (тростник, камыш, рогоз). Промежуточное положение занимают растения с крупными плавающими листьями (например, кубышка жёлтая).

В сопоставимых природных условиях по мере увеличения высоты съёмки в диапазоне от 50 до 500 м величина проективного покрытия, определяемая по результатам дешифрирования, для растительности с плавающими листьями и погружённой – закономерно убывает, для полупогружённой – значимо не меняется, флуктуируя вокруг постоянного среднего значения.

При этом степень негативного влияния высоты съёмки на оценочную величину проективного покрытия воды растительностью с плавающими листьями и погружённой существенно зависит от действия вышеуказанных природных факторов (от практически полного отсутствия влияния высоты во всём этом её диапазоне – до весьма значительного её влияния в неблагоприятных природных условиях).

#### **Предварительные характеристики зарослей макрофитов различного возраста и местоположения.**

Заросли макрофитов, возникшие ещё до начала сооружения КЗС ("старые"), обладают чётко выраженной зональностью. Обычно они сформированы одноярусными и многоярусными группировками макрофитов с преобладанием 2-3 ярусных зон зарастаний. Преимущественно это заросли плотные, стабильные. Возможности их дальнейшего расширения исчерпаны. Проективное покрытие поверхности воды растительностью в "старых" зарослях вдали от КЗС – 39–41 %, у КЗС – достигает 66 %. Дополнительное покрытие дна погруженной растительностью вдали от КЗС – 3-11 %, у КЗС – до 23 %.

Заросли, возникшие в период строительства КЗС ("средневозрастные"), являются многолетними равновесно-сменными сообществами макрофитов с преобладанием простых 1-2 ярусных группировок. Обычно это менее плотные заросли, они продолжают постепенно расширяться и уплотняться. Проективное покрытие поверхности воды растительностью в "средневозрастных" зарослях, соответственно, меньше: вдали от КЗС – 14–35 %, у КЗС – до 40 %. Дополнительное покрытие дна погруженной растительностью вдали от КЗС – 2-7%, у КЗС – местами до 43 %. Характерно, что заросли с наивысшим обнаруженным биоразнообразием оказались именно "средневозрастными" (оба внесистемных эталонных участка). Проективное покрытие поверхности воды растительностью здесь – 14–49 %, дополнительное покрытие дна погруженной растительностью – 1–12 %.

Заросли, образовавшиеся после завершения строительства КЗС, в последние 10 лет ("новые"), представляют собой многолетние пионерные сообщества макрофитов с преобладанием простых одноярусных группировок. Они занимают пока малую долю подходящих им биотопов и активно разрастаются. Проективное покрытие поверхности воды растительностью в "новых" зарослях минимально: вдали от КЗС оно варьирует от 2 до 12 %, у КЗС – до 20 %. Дополнительное покрытие дна погруженной растительностью вдали от КЗС – 0-10 %, однако у КЗС местами достигает 23 %.

Таким образом, проективное покрытие воды растительностью находится в достаточно чёткой прямой зависимости от возраста зарослей и от близости к КЗС.

#### **Некоторые дополнительные возможности аэрофотосъёмки.**

В рамках настоящего краткого сообщения могут быть лишь кратко упомянуты. Так, аэрофотосъёмка позволяет при выполнении программы "Плавни ВЧФЗ":

– Получать идеально прямой гидробиотический профиль всего эталонного участка даже в труднодоступных зарослевых массивах, делать неограниченное количество дополнительных подробных фотоснимков по всей акватории участка и его периферийным зонам даже в самых недостижимых местах плотных зарослей; при необходимости уточнять видовые диагнозы растений по фотографиям крупного плана, сделанным с малой высоты (5-20 м).

– Дополнять стандартные визуальные наблюдения полетной видеосъёмкой на малой высоте, что позволяет подробно изучать гнездование водоплавающих и околоводных птиц в зарослях макрофитов, включая и самые труднодоступные их участки.

– Существенно увеличивать точность количественного учёта птиц на миграционных стоянках.

– Дополнять традиционные методы изучения нереста и нагула ранней молоди фитофильных видов рыб полетной видеосъемкой на малой высоте, что позволяет бесконтактно выявлять важные особенности пространственного использования разнотипных растительных массивов.

Таким образом, при комплексном изучении пространственно-временной динамики зарослевых экосистем на больших акваториях использование аэрофотосъемки с применением квадрокоптера существенно увеличивает не только количественные, но и качественные возможности исследования и является чрезвычайно эффективным.

### **Литература**

1. Максимова Е.Ю., Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Жакова Л.В., Фёдоров В.А., Успенский А.А. Исследование пространственно-временной динамики зарослевых экосистем Невской губы и прилегающей акватории восточной части Финского залива // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2016. – №45. – С. 202-216.
2. Maksimova E., Zhigulsky V., Shuisky V. Assessment of the spatiotemporal dynamics of the macrophyte thicket ecosystems in the Neva bay and the adjacent waters of the eastern Gulf of Finland // Managing risks to coastal regions and communities in a changing world. The Sea Shore. 2018. pp. 1-1. DOI: 10.21610/conferencearticle\_58b431672d7ed URL: [https://seacoasts.editorum.io/en/nauka/conference\\_article/1929/view](https://seacoasts.editorum.io/en/nauka/conference_article/1929/view) (Date of access 17.01.2018).
3. Zhigulsky V., Shuisky V., Maksimova E., Fedorov V., Uspenskiy A., Panichev V., Zhakova L., Bylina T., Bulysheva M., Bulysheva A. Research programme "Macrophyte thicket ecosystems in the Eastern Gulf of Finland" // Gulf of Finland – natural dynamics and anthropogenic impact. The Gulf of Finland Forum. Abstracts. SPb., 2018.

## ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 1900-2017 ГГ

А.П. Педченко<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, В.Д. Бойцов<sup>2</sup>, д-р геогр. наук

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Санкт – Петербург, Россия

## LONG-TERM FLUCTUATIONS OF THE BALTIC SEA WATER TEMPERATURE IN 1900-2017

A.P. Pedchenko<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.D. Boitsov<sup>2</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries, St. Petersburg, Russia

*Представлены результаты анализа межгодовых колебаний температуры поверхностного слоя вод Балтийского моря в 1900-2017 гг. Установлено наличие восходящего линейного тренда и 70-летнего цикла в спектральном составе этого временного ряда. Суперпозиция этих составляющих определяет 65 % изменчивости температуры воды и характеризует многолетнюю динамику климата Балтийского моря. Аналогичные долгопериодные компоненты присутствуют в изменчивости индекса атлантического мультидекадного колебания. На примере сельди показано, что чередование различных по длительности западных (W) и восточных (E) типов атмосферной циркуляции через изменчивость температуры и солености воды может влиять на динамику уловов промысловых рыб Балтийского моря.*

*The results of the analysis of interannual fluctuations of the Baltic sea surface temperature in 1900-2017 are presented. A rising linear trend and a 70-year cycle were found to exist in the spectral composition of the time series. The superposition of these components determines 65% of the temperature variability of the water and characterizes the long-term climate dynamics of the Baltic Sea. Similar long-period components are present in the variability of the Atlantic multi-decadal oscillation index. On the example of herring it is shown that the alternation of different in duration Western (W) and Eastern (E) types of atmospheric circulation through the variability of temperature and salinity of water can affect the dynamics of commercial fish catches in the Baltic Sea.*

Для анализа межгодовых колебаний температуры воды необходимо иметь данные ее инструментальных наблюдений за многолетний период на океанографических разрезах или стационарных пунктах наблюдений. К сожалению, ряды таких наблюдений в Балтийском море не столь продолжительны. Поэтому для исследования изменчивости этого параметра нами были использованы среднемесячные значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах сетки с шагом 2x2° по широте и долготе из архива NOAA NCDC ERSST version3b [1]. Эти данные получают на основе совместной обработки судовых наблюдений и измерений температуры воды на дрейфующих буях. Они представлены в виде осредненных значений, приведенных на 15 число месяца. В версии version3b не учитываются спутниковые измерения из-за их низкой точности.

Ранее данные реанализа ТПО уже использовались при исследовании вековых колебаний климата морей северо-запада России [2], а также в качестве исходных значений для составления долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов теплового состояния водных масс районов Северо-Западной Атлантики [3]. Они оказались репрезентативными для анализа изменчивости температуры воды. Поэтому в настоящей работе из базы NOAA NCDC ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) были выбраны месячные значения температуры поверхности Балтийского моря в 12 узлах регулярной сетки при пересечении параллелей 56, 58 и 60° с.ш. с меридианами 16, 20, 22, 24, 26 и 28° в.д. за 1900-2017 гг. Затем эти данные усреднялись для периода, когда в море отсутствует лед (май-октябрь), с последующим получением средних величин параметра для каждого года для всех узлов сетки. Таким образом была сформирована выборка средней температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря за 118-летний период.

В межгодовых колебаниях теплосодержания водных масс Балтийского моря по данным 1900-2017 гг. присутствует линейный восходящий тренд, который вносит 44 % в его общую

изменчивость (рис. 1). Такого же вида тренд нами был выделен и в динамике температуры воздуха этого моря за 118-летний период по ее осредненным значениям, измеренным на метеорологических станциях, расположенных на морском побережье.

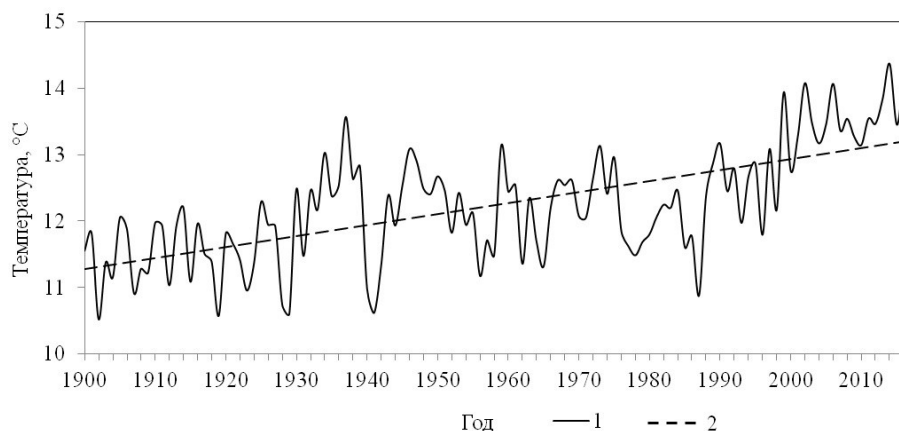


Рис. 1. Колебания температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря (1), их линейный тренд (2) в 1900-2017 гг.

Присутствие восходящего линейного тренда в многолетней динамике температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря, вклад которого составляет почти половину ее общей изменчивости, определяется наличием в течение первых 32-х лет (1900-1931 гг.) значительного похолодания водных масс (средняя аномалия температуры  $-0,8$  °C) и их потепления в 1989-2017 гг. (средняя аномалия  $1,0$  °C). Между этими двумя климатическими фазами в колебаниях параметра линейный тренд отсутствовал, поскольку происходило чередование кратковременного повышения и понижения температуры воды относительно среднегодового уровня (см. рис. 1). Поэтому аномалия для этого периода ( $-0,1$  °C) оказалась близка к норме.

Кроме линейного тренда в спектральном составе межгодовой изменчивости теплосодержания водных масс Балтийского моря присутствуют энергонесущие частоты, соответствующие периодам 70, 11-12, 7-8 лет, а также 4 и 2 года (рис. 2).

Как показали расчеты вейвлет спектра, наиболее устойчивой в течение 1900-2017 гг. была 70-летняя квазипериодичность, вклад которой в дисперсию исходных данных составляет 21% (рис. 3).

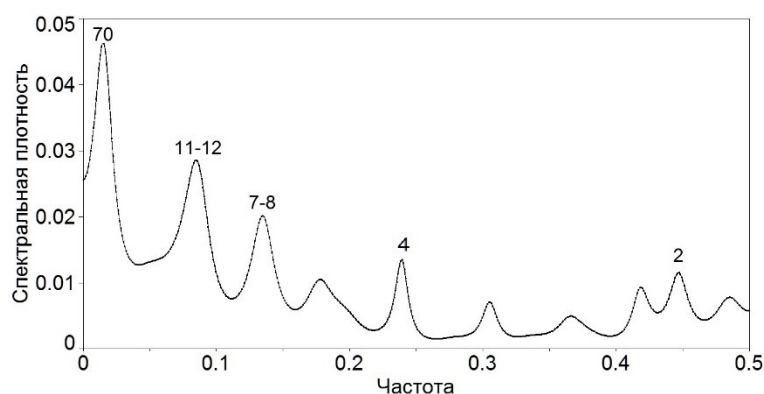


Рис. 2. Спектр колебаний температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря по данным за 1900-2017 гг.

Над значимыми пиками спектральной плотности указан период (годы)

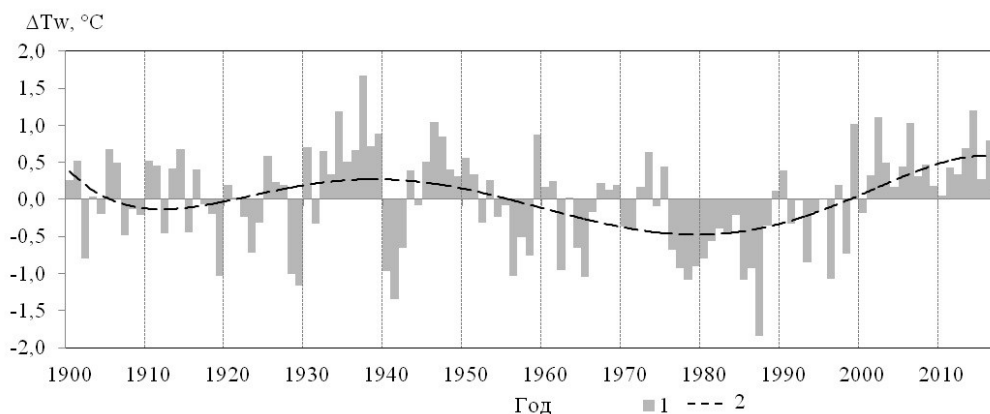


Рис. 3. Изменение разности исходных данных температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря и значений линейного тренда (1) и 70-летней циклическая компонента (2)

При исследовании особенностей колебаний климата морских акваторий и континентальных регионов следует анализировать динамику долгопериодных составляющих, присутствующих в изменчивости его индикаторов. В нашем случае таковыми являются линейный тренд и 70-летний цикл, которые присутствуют в спектральном составе температуры воды Балтийского моря за 1900-2017 гг. Общий вклад этих двух компонент в дисперсию исходных данных составляет 65 %. График их совместной изменчивости представлен на рисунке 4.

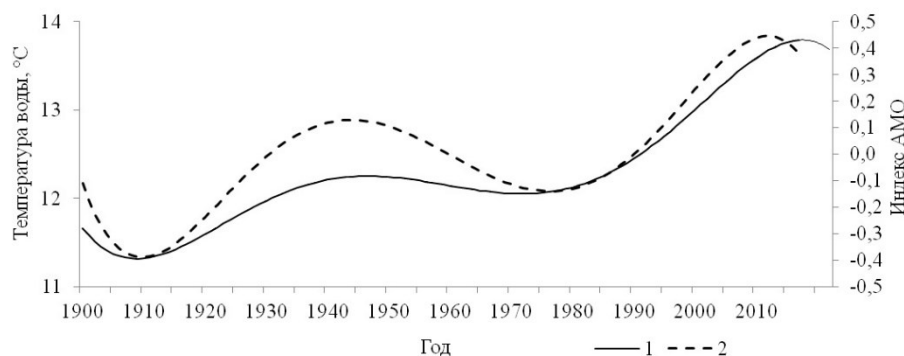


Рис. 4. Изменчивость суперпозиции линейного тренда и 70-летней циклическости температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря (1) и индекса АМО (2) в 1900-2017 гг.

Как известно, климат Северо-Европейского бассейна и европейского континента в значительной степени определяется системой крупномасштабной циркуляции воздушных масс, доминирующим элементом которой является западный перенос циклонами теплого и влажного воздуха с Северной Атлантики, а также адвекция вод системы Гольфстрима.

Балтийский регион также находится под влиянием этих процессов, что подтверждается наличием в многолетней динамике среднего за май-октябрь индекса атлантического мультидекадного колебания (АМО) линейного тренда и 70-летнего ритма, которые присутствуют и в спектре колебаний температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря (см. рис. 4). При этом тренды этих параметров имеют положительный знак, а различия начальных фаз циклических компонент незначительны. Индекс АМО характеризует тепловое состояние верхнего слоя вод Северной Атлантики на акватории между экватором и 70° с.ш., данные которого имеются на сайте [4].

Таким образом, во внутренней структуре межгодовых колебаний температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря в 1900-2017 гг. присутствуют две долгопериодные составляющие: линейный восходящий тренд и 70-летний циклы, Их суперпозиция характеризует многолетнюю динамику морского климата водоема.

Как известно, температура воды является одним из важнейших экологических факторов, влияющих на развитие морской биоты. Значительное повышение теплового фона водных масс Балтийского моря в течение последних 25 лет не могло не сказаться на динамике запасов промысловых рыб и их уловов. Для подтверждения этого воздействия в качестве примера в настоящей работе представлены результаты совместного анализа динамики общего вылова сельди и температуры воды поверхностного слоя моря Балтийского моря за 1977-2017 гг. Установлено, что коэффициент корреляции между этими показателями статистически значим и составляет  $r = -0,76$ .

Как показано в работе [5], запасы и уловы сельди в Балтийском море снижались при увеличении повторяемости западного (W) типа атмосферной циркуляции и возрастали при преобладании восточного (E) переноса. Наши исследования показали, что с 1977 по 1988 г. средний вылов сельди в Балтийском море был на достаточно высоком уровне (рис. 5). В этот период доминировал восточный (E) перенос воздушных масс, а средняя температура вод была близка к среднемноголетней величине. В последующие годы повторяемость западного (W) типа атмосферной циркуляции стала превышать восточный (E), что предполагало увеличение тепло и солесодержания вод Балтийского моря. Анализ показал, что после 1988 г. началось потепление вод, с началом которого общий вылов сельди снижался и достиг минимума в 2012 - 2013 гг. (110 тыс. т). После 2013 г. повторяемость западного и восточного переноса воздушных масс в течение года стала примерно одинаковой, а также приостановился дальнейший рост температуры воды, что могло способствовать увеличению уловов сельди (см. рис. 5).

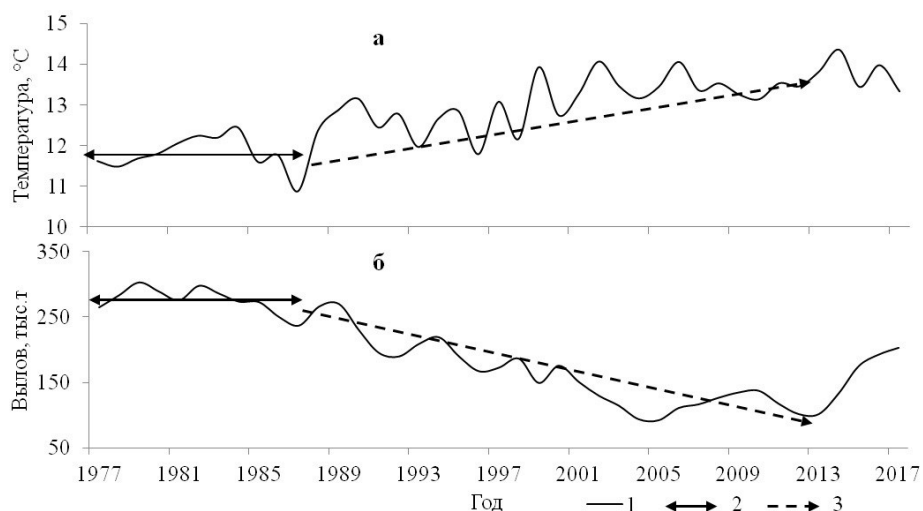


Рис. 5. Межгодовые колебания (1) температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря (а) и общего вылова сельди (б) в 1977-2017 гг., их средние значения в 1977-1988 гг. (2) и линейные тренды в 1989-2013 гг. (3)

### Литература

1. ([Электронный ресурс] URL: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST /.version3b/.sst/>).
2. Хаймина О.В., Бойцов В.Д., Карпова И.П. Вековые колебания климата морей северо-запада России// Ученые записки РГГМУ, №. 24. Научно-теоретический журнал. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2012 - С. 62-74.
3. Карпова И.П., Густоев Д.В., Аверкиев А.С. Об оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов гидрометеорологических элементов в Северном промысловом бассейне//Ученые записки РГГМУ, №. 49. Научно-теоретический журнал. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2017 - С. 73-81.
4. ([Электронный ресурс] URL: <https://esrl.noaa.gov/psd/data/>).
5. 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. 2010. Т. 7. № 2. – с. 57-79.



## МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ВОЛН-УБИЙЦ

Е.Н. Пелиновский<sup>1,2</sup>, д-р физ.-мат. наук, А.В. Слюняев<sup>1,2</sup>, д-р физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

## METHODS AND MODELS FOR ROGUE WAVE FORECASTING

E.N. Pelinovsky<sup>1,2</sup>, Dr. Sc., A.V. Slunyaev<sup>1,2</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

*Дан обзор исследований по проблеме морских волн-убийц. Приводятся результаты прямого численного моделирования ветрового волнения. Обсуждаются возможности прогноза волн-убийц в рамках детерминистских моделей.*

*The review of the problem of oceanic rogue waves is given. Results of the direct numerical simulation of wind waves are presented. The possibilities of rogue wave forecasting within the deterministic models are discussed.*

В теоретических исследованиях экстремальных волн в морях и океанах существуют две тенденции. Одна из них основана на использовании метеорологической информации (полей атмосферного давления и ветра) как входной в гидродинамических расчетах волн на воде с помощью уравнений энергетического баланса в спектральной форме (WAM, WaveWatch, SWAN и др.). По таким моделям рассчитываются частотно-направленные спектры, а по ним высоты и периоды волн в узлах сеточной области. В результате получают режимные характеристики волнения на различных участках морских акваторий. Затем с помощью функций распределения характеристик волнения (Рэлея или его модификаций) определяются вероятности появления экстремальных волн [1, 2]. Кроме того, экстремальные волны, возможные за большой период времени, рассчитываются в предположении наиболее сильного гипотетического шторма (сценарный подход).

Эти усредненные данные, несомненно, полезны для практики, но не всегда пригодны для предсказания экстремальных волн, в частности, т.н. «волн-убийц», которые неожиданно возникают на поверхности моря на короткое время. В частности, классические кинетические уравнения не способны описывать явления на т.н. динамическом временном масштабе (до порядка сотни периодов волн). В динамическом плане под «волнами-убийцами» обычно понимают такие, высота которых превышает значительную высоту волн в два раза и более. Распространено альтернативное определение «волн-убийц», предполагающее, что они не описываются стандартными вероятностными распределениями, включая учитывающие слабую нелинейность, проявляющуюся в Стоксовой, а не синусоидальной форме волны (т.н. second-order models).

Физические механизмы образования волн-убийц интенсивно исследуются в последнее время, и авторы принимают активное участие в этих исследованиях (см. монографии и обзоры [3-6]). На глубокой воде наиболее распространенными механизмами генерации экстремальных волн являются: 1) модуляционная неустойчивость волновых пакетов, 2) нелинейно-дисперсионная фокусировка, 3) взаимодействие с течениями, и 4) геометрическая фокусировка и нелинейное взаимодействие в скрещенных волновых полях (crossing seas). В исследованиях «волн-убийц» наибольшее внимание уделялось эффектам модуляционной неустойчивости, обусловленной доминирующими четырехволновыми взаимодействиями, которая ранее считалась несущественной для реальных морских условий. При этом формируются долгоживущие нелинейные волновые группы типа солитонов огибающей или бризеров. Для оценки степени подверженности эффектам нелинейной самомодуляции был предложен параметр *BFI* (Benjamin – Feir Index, параметр модуляционной неустойчивости) [7]. Принципиально параметр *BFI* характеризует соотношение между нелинейными эффектами, ведущими к фокусировке волновой энергии, и рассинхронизирующим эффектом дисперсии. Однако действительная

возможность применения  $BFI$  для прогноза опасных состояний моря пока остается предметом исследований.

Благодаря стремительному развитию компьютеров и появлению быстрых алгоритмов расчета уравнений гидродинамики, становится возможным прямое моделирование динамических уравнений для квазислучайных ансамблей волн (вместо упоминаемых выше уравнений энергетического баланса). Кроме отказа от предположений кинетической теории (усреднение по фазе и гипотезы замыкания, слабая нелинейность, медленность эволюции), новые методы и технологии могут быть использованы для построения «численного волнового бассейна» (Numerical Wave Tank) [8, 9], предоставляющего полную информацию о волновых процессах и делающего хлопотные инструментальные измерения ненужными (для определенного класса задач). Одновременно нужно отметить, что результаты сопоставления эволюции волновых систем в натуральных и численных экспериментах, и даже сопоставление расчетов кинетических и динамических моделей могут демонстрировать заметные расхождения [10]; эти проблемы требуют дополнительных исследований. Несомненным успехом численного и лабораторного моделирования, проводившегося разными исследовательскими группами в последние годы, можно считать демонстрацию возможности развития модуляционной неустойчивости в условиях океана. Было показано, что параметр модуляционной неустойчивости  $BFI$  хорошо соответствует разделению режимов волнения на «классический» (роль модуляционной неустойчивости незначительна, малые  $BFI$ ) и «аномальный», характеризуемый повышенной вероятностью больших волн ( $BFI > 1$ ) (см. наш обзор [11]).

В нашей группе для численного моделирования процессов формирования аномально высоких волн используются как приближенные модели типа Кортевега – де Вриза, нелинейного уравнения Шредингера и их обобщений, так и полные уравнения потенциальной гидродинамики. В частности, было выполнено численное моделирование эволюции нерегулярных однонаправленных волн на поверхности воды большой и промежуточной глубины с заданным начальным спектром в рамках потенциальных уравнений Эйлера с учетом эффектов сильной нелинейности [12-14]. Были определены характерные профили «волн-убийц» (была обнаружена специфическая асимметрия, что задний склон волны обычно выше, чем передний), определены характерные времена жизни «волн-убийц» (до десятка минут), построены функции распределения вероятности для больших ансамблей волн (рис. 1).

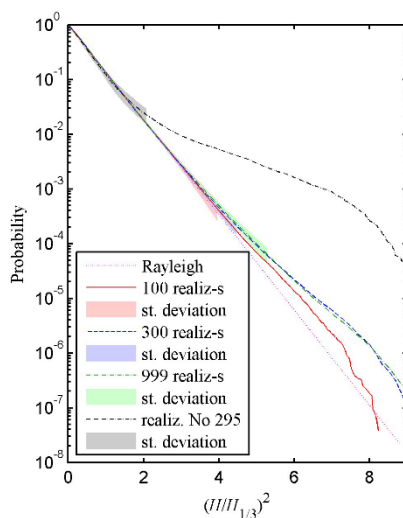


Рис. 1. Распределения вероятности превышения для высот волн  $H$ , нормированных на значительную высоту  $H_{1/3}$  для ансамблей из 100, 300 и 999 реализаций, а также для реализации № 295, демонстрирующей аномально высокую вероятность больших волн. Заливкой приведены оценки доверительно интервала на основе измерений в соседних точках. Начальные условия соответствуют спектру JONSWAP с параметрами  $H_{1/3} = 3.5$  м,  $T_p = 10$  с,  $\gamma = 3$

В последнее время нами выполнены численные расчеты нерегулярных волновых полей в рамках потенциальных уравнений Эйлера для двумерной поверхности. Для повышения скорости

вычислений ограничивается порядок схемы HOSM (High Order Spectral Method) по нелинейности – для аккуратного учета нелинейных 3- и 4-волновых взаимодействий. Подтверждено, что при достаточно узком (по углу и частотам) начальном спектре и достаточно большой интенсивности волн эволюция сопровождается переходной стадией, в течение которой вырастает эксцесс (который характеризует долю высоких волн), ср. рис. 2а и рис. 2б для широкого и относительно узкого угловых спектров волн (первые 200 с расчета относятся к подготовительной стадии и не должны приниматься в расчет). Нами впервые выделена компонента «динамического эксцесса» по данным прямого численного моделирования исходных уравнений гидродинамики (пунктирная линия на рис. 2). На рис. 2а линия динамического эксцесса слабо изменяется и лежит в области менее 3, что говорит о том, что волны могут быть хорошо представимы как случайные с Гауссовым распределением с учетом стоковых компонент связанных волн. На рис. 2б на начальной стадии динамический эксцесс выше 3 и потом спускается к значению около 3; переходная стадия в начальный момент времени лучше видна по полному эксцессу (сплошная линия и точки). Такое поведение говорит об аномально большой доле высоких волн на начальной стадии, причем этот эффект не описывается только стоковыми поправками к форме волн, а обусловлен, в т.ч., возникновением фазовых корреляций между свободными волнами.

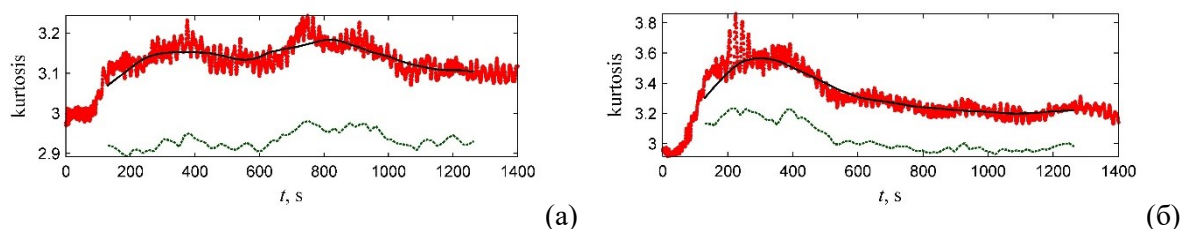


Рис. 2. Временные зависимости эксцесса по данным численного моделирования трехмерных волн с начальными спектрами JONSWAP и параметрами  $H_{1/3} = 7$  м,  $T_p = 10$  с,  $\gamma = 6$  с шириной углового спектра  $62^\circ$  (а) и  $12^\circ$  (б). Точками построены моментальные значения эксцессов (для поверхности  $50 \times 50$  волн), сплошными линиями – они же после усреднения по 256 с; пунктирной линией построены эксцессы для компонент свободных волн.

Хотя на первый взгляд «волны-убийцы» представляют собой непредсказуемые случайные выбросы в стохастическом поле морских волн, уже предложены возможные способы их предсказания (см. в обзоре [6]), и они продолжают исследоваться. Для поиска когерентных волновых групп в поле волн нами разработан метод оконного спектрального анализа с помощью аппарата обратной задачи рассеяния для нелинейного уравнения Шредингера [15, 16]. На рис. 3 приведен пример его применения для реализации № 295 нерегулярных однонаправленных волн, обсуждавшейся на рис. 1. На рис. 3а цветом построена поверхность волн в сопровождающей системе отчета. С помощью примененного метода в моментальных снимках волн обнаружена интенсивная волновая группа (отмечена символами на рис. 3а), которая видна в данном случае и на глаз. На рис. 3б символами построена оцененная с помощью метода амплитуда когерентной группы, которая слабо изменяется в течение почти 250 периодов  $T_p$ , т.о., проявляет свойства солитона огибающей. Взаимодействуя с фоновыми волнами, эта группа может демонстрировать и более высокие смещения поверхности. Простое линейное сложение локальной амплитуды солитонной группы и уровня значительного волнения  $H_{1/3}/2$  (показано заливкой на рис. 3б) не всегда объясняет наблюдаемые максимальные смещения поверхности (сплошная линия на рис. 3б), так что требуется более аккуратный анализ. Способность определять наличие таких долгоживущих групп в волновом поле может быть использована для краткосрочного прогноза «волн-убийц».

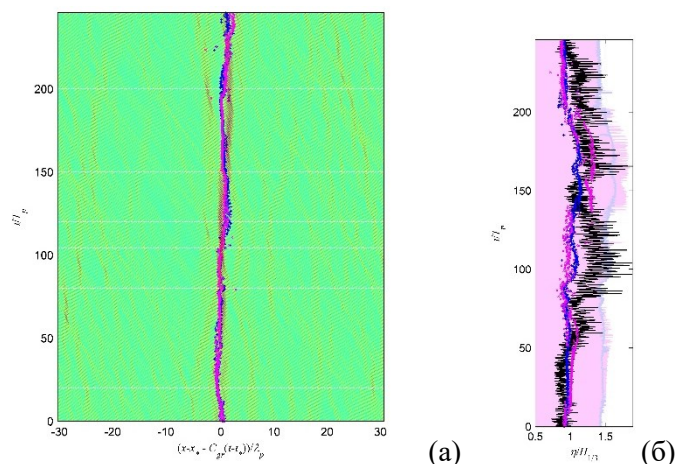


Рис. 3. (а): Поле смещений поверхности в реализации однонаправленных волн № 295 в сопровождающей системе координат и позиции солитоноподобной группы (два типа значков соответствуют двум модификациям метода анализа). (б): глобальный максимум смещения (сплошная линия) и определенные амплитуды интенсивных солитоноподобных групп (значки); заливкой построена оценка амплитуды солитона плюс половина значительной высоты волн.

### Литература

1. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Дивинский Б.В., Рожков В.А. О необычных волнах в океанах и морях // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2003. Вып. 26. С. 65-73.
2. Lopatoukhin L.J., Boukhanovsky A.V. Freak wave generation and their probability // Int. Shipbuild. Progr. 2004. Vol. 51. P. 157-171.
3. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. Н. Новгород: ННГТУ, 2004.
4. Kharif Ch., Pelinovsky E., Slunyaev A. Rogue Waves in the Ocean. Springer, 2009.
5. Slunyaev A., Didenkulova I., Pelinovsky E. Rogue Waters // Contemp. Phys. 2011. Vol. 52. P. 571-590.
6. Слюняев А.В. Морские «волны-убийцы»: прогноз возможен? // Вестник МГУ. Серия 3. Физика и Астрономия. 2017. №3. С. 33-47.
7. Onorato M., Osborne A.R., Serio M., Bertone S. Freak waves in random oceanic sea states // Phys. Rev. Lett. 2001. Vol. 86. P. 5831-5834.
8. Ducrozet G., Bonnefoy F., Ferrant P. On the equivalence of unidirectional rogue waves detected in periodic simulations and reproduced in numerical wave tanks // Ocean Eng. 2016. Vol. 117. P. 346-358.
9. Chalikov D. Numerical modeling of surface wave development under the action of wind // Ocean Science. 2018. Vol. 14. P. 453-470.
10. Annenkov S.Y., Shrira V.I. Spectral evolution of weakly nonlinear random waves: kinetic description versus direct numerical simulations // J. Fluid Mech. 2018. Vol. 844. P. 766-795.
11. Слюняев А.В., Сергеева А.В. Стохастическое моделирование однонаправленных интенсивных волн на глубокой воде в приложении к аномальным морским волнам // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т. 94. С. 850-858.
12. Sergeeva A., Slunyaev A. Rogue waves, rogue events and extreme wave kinematics in spatio-temporal fields of simulated sea states // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2013. Vol. 13. P. 1759-1771.
13. Slunyaev A., Sergeeva A., Didenkulova I. Rogue events in spatiotemporal numerical simulations of unidirectional waves in basins of different depth // Nat. Hazards. 2016. Vol. 84. P. 549-565.
14. Slunyaev A.V., Kokorina A.V. Soliton groups as the reason for extreme statistics of unidirectional sea waves // J. Ocean Eng. Marine Energy. 2017. Vol. 3. P. 395-408.
15. Slunyaev A. Nonlinear analysis and simulations of measured freak wave time series // Eur. J. Mech. B / Fluids. 2006. Vol. 25. P. 621-635.
16. Слюняев А.В. Анализ нелинейного спектра интенсивного морского волнения с целью прогноза экстремальных волн // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 2018. Т. 61. С. 1-23.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 16-17-00041).*

*This work was supported by the Russian Science Foundation (grant 16-17-00041).*

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Ю.П. Переведенцев<sup>1</sup>, К.М. Шанталинский<sup>1</sup>, В.В. Гурьянов<sup>1</sup>, А.А. Николаев<sup>1</sup>, Н.В. Исмагилов<sup>1</sup>, Т.Р. Аухадеев<sup>1</sup>, М.А. Мягков<sup>1</sup>, А.Б. Мустафина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

## CLIMATE CHANGE IN THE VOLGA FEDERAL DISTRICT IN CONDITIONS OF GLOBAL WARMING

Yu.P. Perevedentsev<sup>1</sup>, K.M. Shantalinsky<sup>1</sup>, V.V. Guryanov<sup>1</sup>, A.A. Nikolaev<sup>1</sup>, N.V. Ismagilov<sup>1</sup>, T.R. Aukhadееv<sup>1</sup>, M.A. Myagkov<sup>1</sup>, A.B. Mustafina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan (Volgaregion) Federal University, Kazan, Russia

*Рассматриваются изменения температуры воздуха на территории Приволжского федерального округа до уровня 0,1 гПа (64 км). Обнаружены связи между колебаниями температуры и арктической осцилляцией. На примере 3-х станций Приказанского региона показана роль глобальных процессов и городского фактора в термическом режиме, а с помощью 7 климатических моделей из ансамбля CMIP 5 дана оценка изменений температуры до конца 21 века.*

*Considers temperature changes in the Volga Federal District at level to 0.1 hPa (64 km). Found relationships between variations in temperature and Arctic oscillation. In example 3 stations Kazan region shows the role of global processes and urban in thermal mode, while using a 7 climate model from the ensemble CMIP 5, assesses changes in temperature until the end of the 21st century.*

В последние десятилетия в связи с активной фазой глобального потепления повысился интерес к региональным климатическим изменениям [1]. Этому обстоятельству способствует развитие современных информационно-вычислительных технологий, свободного доступа к реанализам, результатам ансамблевых вычислений по программе CMIP5 и др.

Рассмотрим распределение характеристик температуры воздуха до уровня 0,1 гПа (64 км), что сделано для территории Поволжья впервые.

В качестве исходного материала использовались данные реанализа ERA-Interim о температуре воздуха по Северному полушарию за период 1979-2016 гг. На территории ПФО использовались средние месячные температуры воздуха на 26 уровнях в 24 узлах географической сетки с шагом 2,5° реанализа, что позволило в результате осреднения по территории получить временные ряды. Рассчитывались средние значения на каждом уровне по сезонам и в целом за год, средние квадратические отклонения (СКО), линейные тренды, коэффициенты корреляции между уровнями и по горизонтали со значениями температуры умеренной зоны и первого естественно-синоптического района. Дана оценка связей между изменениями температуры воздуха и индексами Арктической осцилляции (АО), с целью выделения колебаний с периодом более 10 лет временные ряды на различных уровнях подвергались низкочастотной фильтрации фильтром Поттера, вычислялись коэффициенты детерминации линейного тренда и низкочастотной компоненты (НЧК) по методике [2].

Получено распределение по вертикали средних многолетних значений температуры воздуха  $A_v$  (°C), СКО, коэффициентов наклона линейных трендов (КНЛТ)  $A$  °C/год на 26 изобарических поверхностях. Осредненные данные по ПФО как для зимнего (XII-II), летнего (VI-VIII) периодов и года в целом (I-XII) показывают понижение температуры  $A_v$  с высотой в тропосфере и нижней стратосфере (50-30 гПа), рост в средней и верхней стратосфере и понижение ее в мезосфере. Отмечается значительный годовой ход температуры. В зимний период она принимает отрицательные значения во всей толще атмосферы, в летний период выше уровня 700 гПа. СКО зимой наибольшее значение принимает у поверхности земли (2,26 °C), затем значения характеристики межгодовой изменчивости уменьшаются и вновь увеличиваются с уровня 30 гПа, достигая на уровне 3 гПа 6,41 °C. В летний период СКО по величине значительно уступают зимним на всех уровнях, лишь на уровне 0,8 гПа СКО равно 2,22 °C. Значения КНЛТ положительны в тропосфере и отрицательны в стратосфере.

О том, насколько между собой связаны процессы, происходящие в различных слоях атмосферы, можно судить по характеру поведения коэффициента корреляции, рассчитанного

между уровнями в поле температуры воздуха. Анализ полученных результатов показывает, что зимой и летом в тропосфере в слое 1000 – 400 гПа связи высокие ( $r \sim 1,0$ ), затем в слое 400-250 гПа зимой и 300-200 гПа летом связи резко ослабевают, сказывается влияние тропопаузы. В зимней стратосфере связи более тесные, в летний период в верхней стратосфере и в слое 0,29-0,1 гПа они резко ослабевают, что свидетельствует о расслоении атмосферы. Слабо связаны между собой уровни 10 и 7 гПа ( $r = -0,04$ ), 5 и 3 гПа ( $r = -0,07$ ). В это время важную роль в термическом режиме играет озоновый слой, а динамическое перемешивание не столь выражено (ослабление вертикального волнового взаимодействия). Эффект ослабления корреляционных связей отмечен в нашей работе [2] ранее при анализе процессов в полярной зоне Северного полушария.

Для установления связи между колебаниями температуры воздуха в ПФО и арктической осцилляцией (АО) рассчитывались коэффициенты корреляции для 26 уровней для зимы, лета и года в целом. По современным представлениям АО в значительной степени является результатом взаимодействия тропосферы и стратосферы [3]. Положительная фаза АО ассоциируется с положительной аномалией интенсивности циркумполярного вихря и усилением среднего зонального потока, а отрицательная фаза АО наблюдается при ослаблении циркумполярного вихря и среднего зонального потока. Как следует из расчетов, в зимний период в нижней тропосфере значения коэффициентов корреляции между температурой и АО достаточно высоки ( $r = 0,60$  на уровне 1000 гПа), что свидетельствует о потеплении ПФО за счет циркуляционного фактора. Отмечается также усиление связи в верхней тропосфере (в слое 300-200 гПа) и в средней и верхней стратосфере (7-3 гПа). В стратосфере связь имеет отрицательный знак в отличие от тропосферы ( $r = -0,43$  на уровне 7 гПа). Возможно, это связано с распространением планетарных волн Россби из тропосферы в стратосферу, возникновением зимних стратосферных потеплений, приводящих к разрушению циркумполярного циклона. В этом случае зональный поток ослабевает, а температура будет расти, что и приводит к отрицательной связи между ними. Этот вопрос требует специального исследования. Так как АО в основном проявляется в зимний период, то коэффициенты корреляции для летнего периода оказались незначимыми.

С целью определения степени влияния факторов различного масштаба на температурный режим Приказанского региона исследовались изменения средних месячных температур воздуха в период с 1928 по 2017 гг. для трех близлежащих станций Казань, университет (городская), Вязовые и Арск (сельские).

Выполненное сглаживание временных рядов позволило более детально определить периоды однозначного изменения приземной температуры воздуха. Так, зимой с 1928 по 1957 г. температура в исследуемом регионе повышалась со скоростью около  $0,6-0,8^\circ\text{C}/10$  лет, далее до 1970 г. происходило некоторое понижение температуры на величину около  $0,8^\circ\text{C}$ . С начала 70-х годов XX века началось активное потепление климата Приказанского региона, которое с конца XX века существенно ослабло и сменилось слабым похолоданием, а затем в конце первого десятилетия XXI столетия зимняя температура вновь стала увеличиваться. В результате по кривой низкочастотной компоненты средняя зимняя температура с 1928 по 2017 г. выросла в Казани на  $4,7$ , в Вязовых – на  $4,2$  и в Арске – на  $4,1^\circ\text{C}$ .

Иначе изменялась средняя летняя температура воздуха. В начале исследуемого периода примерно до второй половины 70-х годов XX столетия температура в общем понижалась, испытывая колебания с периодом около 20 лет. В этот период понижение составило около  $1,3^\circ\text{C}$  за городом и в два раза меньше около  $0,7^\circ\text{C}$  в Казани, что явилось следствием отепляющего влияния городских условий. С середины 70-х годов в Приказанском регионе, как и в целом по полушарию начался интенсивный рост температуры, в результате которого средняя летняя температура увеличилась на  $1,9^\circ\text{C}$  за городом и на  $2,2^\circ\text{C}$  в городе.

Изменение средней годовой температуры воздуха носили более равномерный характер. Рост средней годовой температуры начался с середины 40-х годов XX столетия и до 1990 г. скорость роста в Казани составляла  $0,17^\circ\text{C}/10$  лет, а за городом  $0,11-0,12^\circ\text{C}/10$  лет. Далее потепление развивалось более высокими темпами: в Казани скорость повышения средней годовой температуры в этот период достигла величины  $0,6^\circ\text{C}/10$  лет, а в сельской местности –  $0,5^\circ\text{C}/10$  лет. В результате в Казани с 1945 по 2017 г. средняя годовая температура повысилась на  $2,7^\circ\text{C}$ , а на станциях Вязовые и Арск – на  $2,1^\circ\text{C}$ . Таким образом, как уже указывалось ранее, повышение средней годовой температуры за весь исследуемый период определялось в основном потеплением холодного периода года.

Как видно из рис.1, изменения температуры в Приказанском регионе хотя и носили более резкий характер, тем не менее, протекали достаточно согласовано с изменениями температуры всего полушария как зимой, так и летом. Особенно это относится к последнему этапу потепления, начавшемуся в середине 70-х годов XX столетия. Указанные колебания температуры воздуха являются результатом действия глобальных, региональных и локальных факторов. Для оценки вклада глобальных факторов в изменчивости температур Приказанского региона вычислялись коэффициенты корреляции как за весь исследуемый период, так и два подпериода, первый представляет собой промежуток времени предшествующий последнему потеплению (1928-1976 гг.), второй – собственно наиболее выраженную часть этого потепления с 1977 г. по настоящее время.

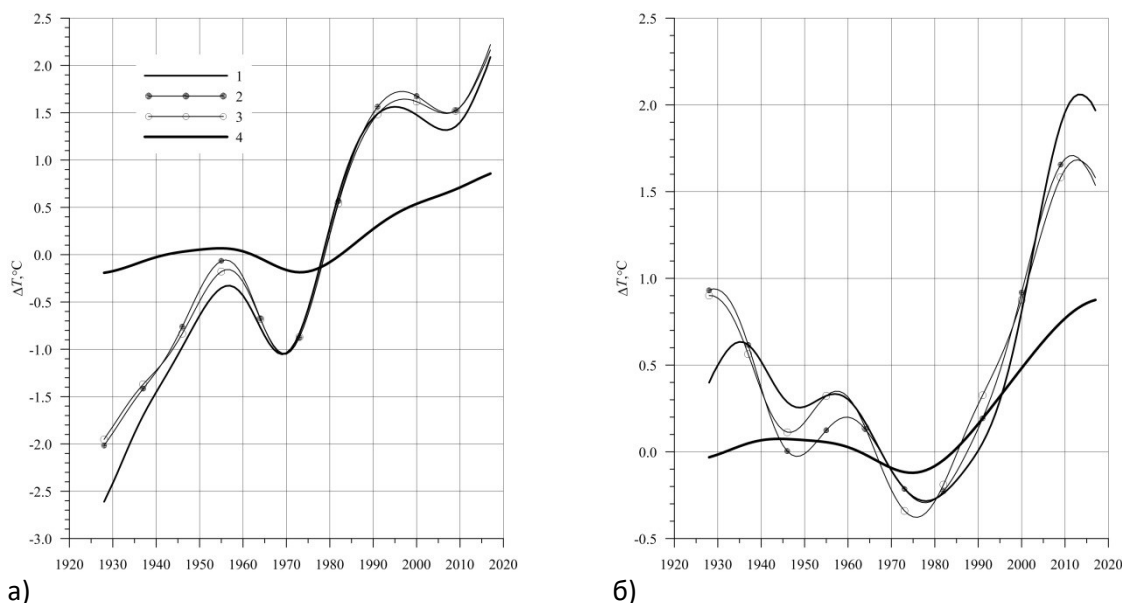


Рис. 1. Низкочастотная компонента с периодом более 20 лет аномалий приземной температуры воздуха (°C) в Приказанском регионе и Северном полушарии: а) зима (декабрь-февраль), б) лето (июнь-август).

1 – Казань, университет, 2 – Вязовые, 3 – Арск, 4 – Северное полушарие (по данным CRU).

Значения коэффициентов корреляции за весь период исследования составили зимой величину около 0,61, а летом – 0,48. В период 1928-1976 гг. соответственно 0,52 и 0,40, а в период 1977 – 2017 гг. – 0,52 и 0,53. Увеличение коэффициента в летний сезон последнего периода связано с более равномерным повышением летней температуры в этот период. Поскольку квадрат коэффициента корреляции характеризует вклад факториального признака в изменчивость результативного признака, а также, поскольку изменения температуры всего Северного полушария определяются влиянием процессов глобального масштаба, можно оценить вклад глобальных процессов в изменчивость температуры Приказанского региона. Этот вклад не остается неизменным в течение года. За весь же исследуемый период он составил зимой 37%, а летом – 23%.

Было проведено исследование по оценке качества моделирования реальных изменений температуры в округе с 1861 по 2005 гг. с помощью 7 отобранных климатических моделей из проекта CMIP5 (всего рассматривалось 39 моделей). Анализ результатов показал, что в теплое время года модели лучше воспроизводят ход температуры, чем в холодный. Выявлены статистические погрешности в результате тестирования ансамбля климатических моделей. С использованием 7 моделей CMIP5 (BNU-ESM, CMCC-CM, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, GISS-E2-H, EC-EARTH, FIO-ESM) получены достаточно реалистические тренды температуры воздуха для 4-х периодов 1896-2005 гг. и оценены значения КНЛТ (°C/10 лет) для каждого месяца года при различных сценариях RCP 2,6; RCP 4,5 и RCP 8,5. Представлен расчет распределения среднемесячных значений температуры воздуха в январе и июле в период 2005-2098 гг. при

различных сценариях. В январе по «жесткому» сценарию RCP 8,5 среднемесячная температура может повыситься на 8°C, а в июле на 6°C.

### **Литература**

1. Переведенцев Ю.П., Гурьянов В.В., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р. Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе // Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – 186 с.
2. Perevedentsev Y.P. Climatic changes in the troposphere, stratosphere and lower mesosphere in 1979-2016 / Y.P. Perevedentsev, K.M. Shantalinskiy, V.V. Guryanov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 107 (2017) 012040 doi :10.1088/1755-1315/107/1/012040.
3. Крыжов В.Н., Горелиц О.В. Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XX в. // Метеорология и гидрология. – 2015. - № 11. – С. 5-19.  
*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (грант 18-05-00721, грант 18-45-160006).*

*This work was supported by the RFBR grants (grant 18-05-00721, grant 18-45-160006).*



## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПОГРАНИЧНОГО И ПРИЗЕМНОГО СЛОЕВ В МОДЕЛИ WRF ДЛЯ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

С.А. Петриченко<sup>1</sup>, М.А. Новицкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно – Производственное Объединение «Тайфун», Обнинск, Россия

## THE CHOICE OF OPTIMAL PARAMETERIZATIONS OF SURFACE AND BOUNDARY LAYERS IN WRF MODEL TO FORECAST THE VARIABILITY OF METEOROLOGICAL PARAMETERS IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

S. A. Petrichenko<sup>1</sup>, M. A. Novitsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific - Production Association "Typhoon", Obninsk, Russia

*Приведены расчеты метеопараметров в пограничном и приземном слоях атмосферы для двух схем параметризации пограничного слоя и их сравнение с данными прямых измерений тех же метеопараметров на высотной метеорологической мачте НПО "Тайфун".*

*The calculations of meteorological parameters in the boundary and surface layers of the atmosphere for two schemes of parametrization of the boundary layer and their comparison with the data of direct measurements of the same meteorological parameters on the altitudinal meteorological mast SPA "Typhoon" are presented.*

### **Введение.**

Использование в прогностических и исследовательских целях системы мезомасштабного атмосферного моделирования Weather Research and Forecasting (WRF) открывает широкие возможности, в том числе, и для экспериментов по изучению влияния различных параметризационных схем на правильность моделирования рассматриваемой ситуации. Для выбора оптимальной конфигурации модели WRF с целью адекватного описания временной и пространственной изменчивости метеопараметров в пограничном и приземном слоях атмосферы одним из лучших методов является валидация результатов расчетов по данным прямых измерений. В представленной работе приведены результаты сравнения прямых измерений изменчивости метеопараметров, сделанных на высотной метеорологической мачте (ВММ) НПО "Тайфун" в г. Обнинске с результатами расчетов этих же метеозадач при помощи модели WRF для двух наиболее используемых схем параметризации пограничного слоя и различных метеоситуаций, в том числе и аномальных. Расчеты проводились с использованием диагностических данных, поскольку речь шла не о прогнозе погоды, а о конфигурировании модели с целью наиболее точного моделирования метеопараметров в пограничном слое. В качестве внешних для создания файлов начальных и граничных условий были использованы данные Final Analyses из CISL Research Data Archive, полученные с помощью NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, которые находятся в открытом доступе на сайте <http://dss.ucar.edu/datasets/ds083.2/data/>.

Рассмотрены были следующие метеоситуации: мощные зимние радиационные инверсии температуры в приземном слое; аномальный снегопад; аномальная жара; гроза и интенсивный ливень; летние инверсии приземной температуры, перемежающиеся конвекцией. В течение всех рассматриваемых ситуаций проводились прямые измерения метеопараметров на балконах ВММ в 300 метровом слое атмосферы.

Расчеты временной изменчивости метеозадач в приземном и пограничном слое для указанных выше погодных ситуаций для точки с координатами высотной метеорологической мачты проводились для следующих схем параметризации пограничного слоя атмосферы: 1) Схема университета Ёнсей - нелокальная схема, в которой включен противогradientный член для учета перемешивания более крупными вихрями и 2) Схема Меллора-Ямады-Янича – одномерная прогностическая схема, в которой перемешивание определяется локальными градиентами. Также были использованы соответствующие схемы для приземного слоя. В остальном, модель была сконфигурирована по результатам проведенных ранее расчетов [1 - 3].

### Результаты расчетов.

На рис. 1 представлена временная изменчивость измеренных и расчетных значений среднего градиента температуры в слое 2 – 300 м для всех пяти метеоситуаций.

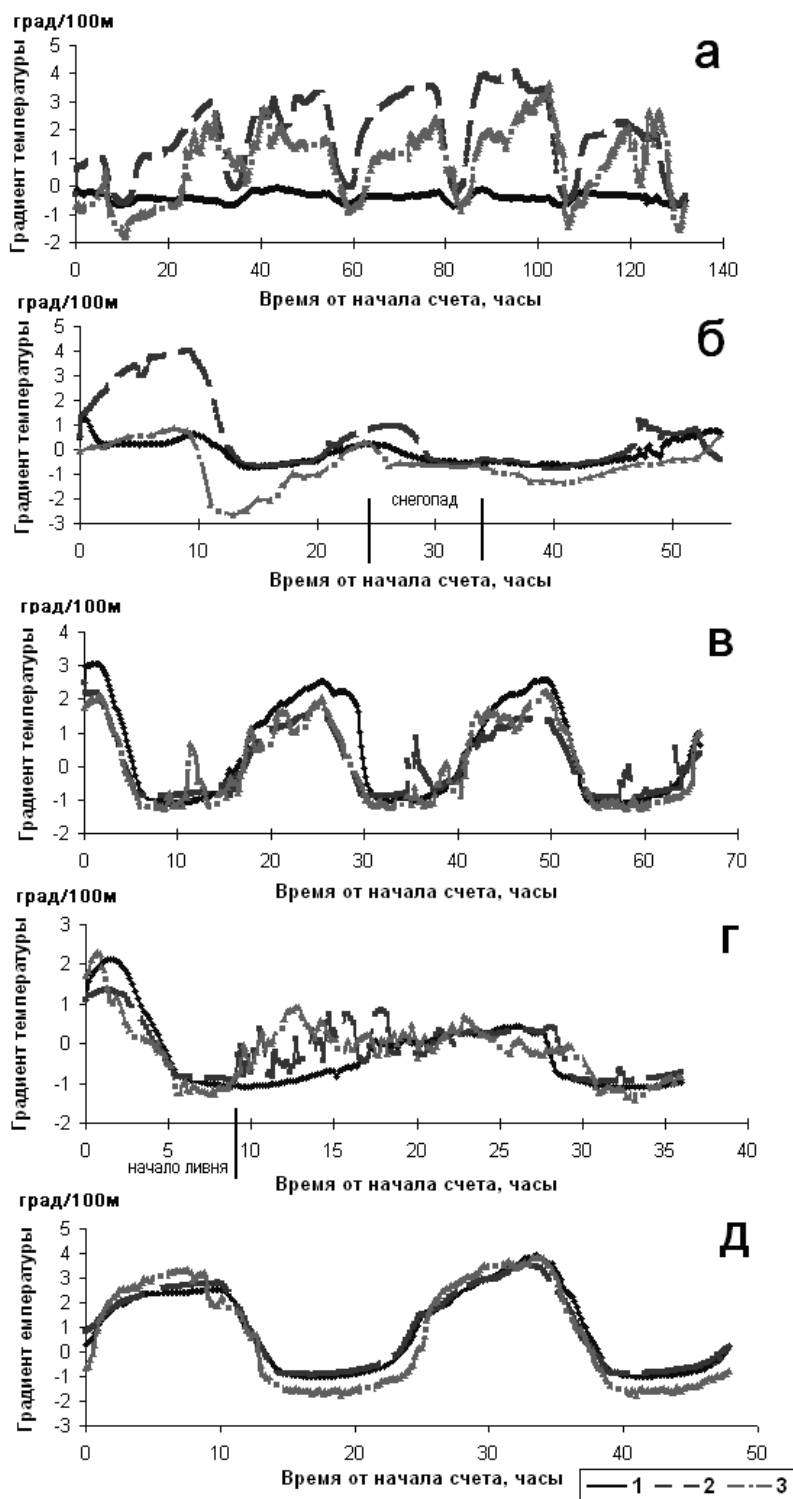


Рис. 1. Временная изменчивость среднего градиента температуры в слое 2-300 м.

- а) Зимние радиационные инверсии. Начало счета в 4 часа 24 января.
- б) Снегопад, апрель. Начало счета в 22 часа 03 апреля
- в) Сильная жара, июнь. Начало счета в 4 часа 25 июня.
- г) Ливень, июнь. Начало счета в 4 часа 30 июня.

д) Конвекция, перемежающаяся с инверсией, июль. Начало счета в 20 часов 29 июля.  
 1 – расчет, схема университета Ёнсей; 2 – расчет, схема Меллори-Ямады-Янича; 3 – наблюдения на ВММ.

На рис. 2 показана временная изменчивость измеренных и расчетных значений скорости ветра на горизонте 300 м для тех же метеоситуаций.

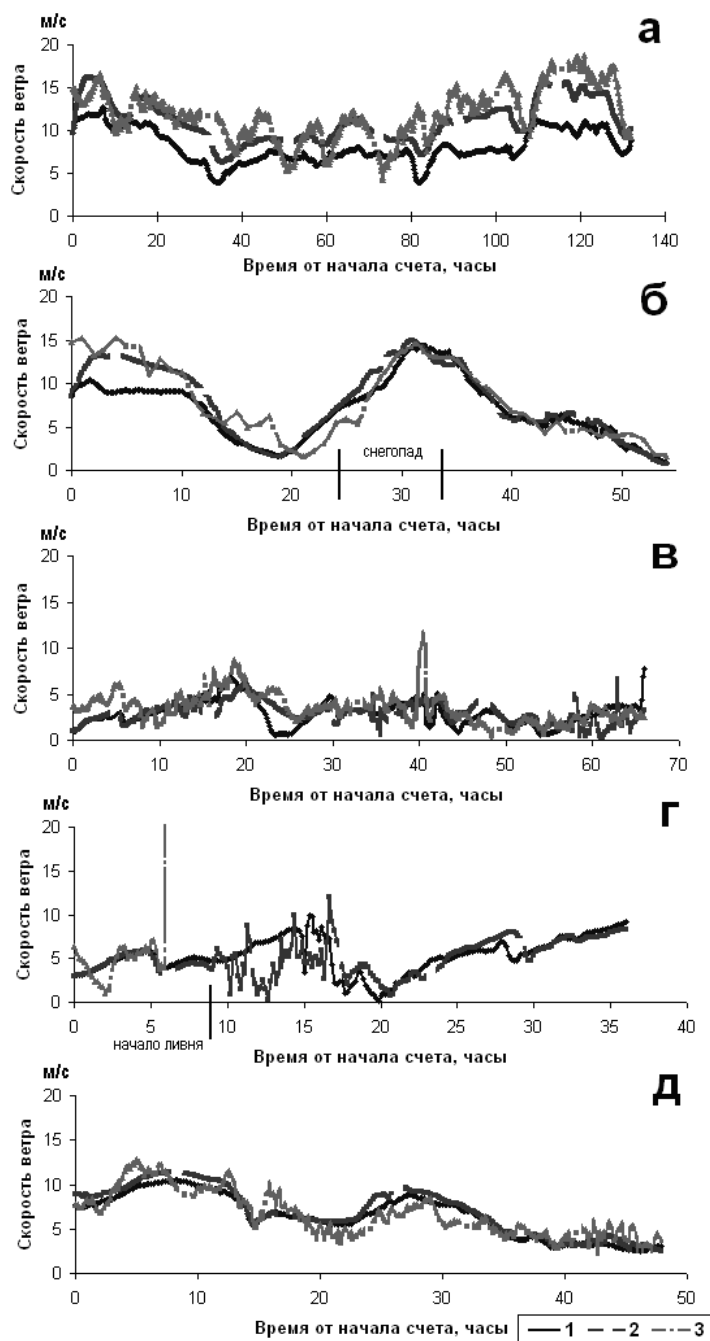


Рис. 2. Временная изменчивость скорости ветра на высоте 300 м.  
 Обозначения те же, что и на рис. 1.

Анализ полученных расчетных данных и их сравнение с результатами наблюдений показали следующее.

Для летних событий временная изменчивость среднего градиента температуры в нижнем 300-метровом слое, рассчитанного на модели WRF, достаточно хорошо совпадает с

соответствующим ходом этого метеопараметра, полученного из данных прямых наблюдений на ВММ, как по поведению, так и по абсолютным значениям. Причем большой разницы между модельными кривыми, полученными при использовании различных параметризаций пограничного слоя, не наблюдается (это хорошо видно на рис.1). Несколько другая картина проявляется при рассмотрении зимних метеоситуаций. На рис. 1б видно, что характерный временной ход, заметный на натурных данных, в период, предшествующий снегопаду лучше демонстрирует кривая, рассчитанная с использованием параметризации Меллора-Ямады-Янича (хотя абсолютные значения сильно различаются), а дальше кривые практически повторяют друг друга. Еще более ярко преимущество этой параметризации показано на рис. 1а. Для ситуации с мощной зимней радиационной инверсией расчет с использованием параметризации университета Ёнсей вообще не показывает наличия инверсии температуры в 300 метровом слое. В то же время при расчете с использованием параметризации Меллора-Ямады-Янича временной ход модельного градиента температуры в этом слое практически полностью повторяет изменчивость реального градиента.

Для скорости ветра, как и в случае с температурными характеристиками, расчетные кривые адекватно моделируют ее реальную временную изменчивость на верхнем балконе ВММ практически для всех метеоситуаций. И так же, как и в предыдущем случае, в ситуации с мощной зимней радиационной инверсией расчет с использованием параметризации Меллора-Ямады-Янича дает лучшее совпадение с натурными данными. На рис. 2г, к сожалению, не удалось привести наблюдаемый временной ход скорости ветра из-за отказа датчика, однако именно на этом рисунке стоит обратить внимание на появление своего рода "высокочастотного дребезга" на кривой, полученной с использованием параметризации Меллора-Ямады-Янича, в момент начала ливня.

Необходимо отметить, что для приземного горизонта расчетные кривые временного хода скорости ветра существенно хуже моделируют временную изменчивость реальных данных. Но это и понятно, поскольку полигон ВММ находится в окружении плотной городской застройки.

Временной ход температуры на метеоплощадке, на высоте 2 м, модель описывает практически "идеально" для летних ситуаций, а для зимних демонстрирует отрицательные смещения температуры, которые меньше при использовании параметризации Меллора-Ямады-Янича.

#### **Заключение.**

При помощи модели WRF можно адекватно описывать временную изменчивость метеопараметров в пограничном слое атмосферы для широкого круга погодных ситуаций в средних широтах при использовании для параметризации пограничного слоя атмосферы схемы Меллора-Ямады-Янича в комплекте с соответствующими параметризационными схемами для приземного слоя

Высокая степень совпадения в представленных результатах расчетных и наблюдаемых характеристик пограничного и приземного слоев атмосферы дает основание предполагать, что в прогностических расчетах качество прогноза будет в основном определяться качеством крупномасштабных прогностических полей, используемых в модели в качестве входных данных.

#### **Литература**

1. Новицкий М.А., Петриченко С.А., Тереб Л.А. Зависимость расчетной траектории тропического циклона северо-западной части Тихого океана от выбора параметризаций физических процессов при использовании модели АНУ. // Метеорология и гидрология. 2014. №12. с. 17-28.
2. Новицкий М.А., Павлюков Ю.Б., Шмерлин Б.Я., Махнорьлова С.В., Серебряник Н.И., Петриченко С.А., Тереб Л.А., Калмыкова О.В. Башкирский смерч: возможности анализа и прогноза смерчопасной ситуации. // Метеорология и гидрология. 2016. №10. с. 30-40.
3. Petrichenko S.A., Novitsky M.A., Tereb L.A. USING THE AHW MODEL FOR FORECASTING THE MOVEMENT OF TROPICAL CYCLONES. // East European Scientific Journal. 2018. No 3(31), part 3. pp. 34-41.

## РЕЖИМ УРОВНЕЙ ВОДЫ В ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБАХ

А.А. Пискун<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE REGIME OF WATER LEVELS IN THE ESTUARIES OF THE OB AND TAZ

A.A. Piskun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic research Institute, St. Petersburg, Russia

*Рассмотрен режим уровней воды в Обской и Тазовской губах по данным наблюдений на стационарной сети постов. Оценено качество исходных материалов и внесены необходимые корректировки в ряды уровней. Определены характеристики суммарного уровня на постах в современных условиях.*

*The regime of water levels in the estuaries of the Ob And Taz according to observations on the stationary network of posts is considered. Evaluated the quality of the raw materials and made the necessary adjustments in a series of levels. The characteristics of the total level at the posts in modern conditions are determined.*

Сведения о режиме уровней воды в Обской и Тазовской губах неизменно востребованы при гидрологическом обеспечении хозяйственной деятельности в регионе. Для получения надёжных режимных характеристик требуются продолжительные и непрерывные наблюдения.

Стационарным наблюдениям над уровнем воды в Обской и Тазовской губах предшествовали рекогносцировочные экспедиционные наблюдения. Первые из них были проведены во время изысканий в 1920–1930-е годы. В 1938 г. была выполнена серия одновременных ежечасных наблюдений в 4-х пунктах Обской губы (Ям-Сале, Новый Порт, Тамбей, Дровяной). Эти наблюдения представляют ценность до сего времени, поскольку охватили аномальный для Обской губы нагон и позволили оценить характеристики его распространения по длине губы.

На стационарных постах в Обской губе наиболее ранние наблюдения над уровнем относятся к 1950-м годам, Тазовской – на десятилетие позже (рис. 1).

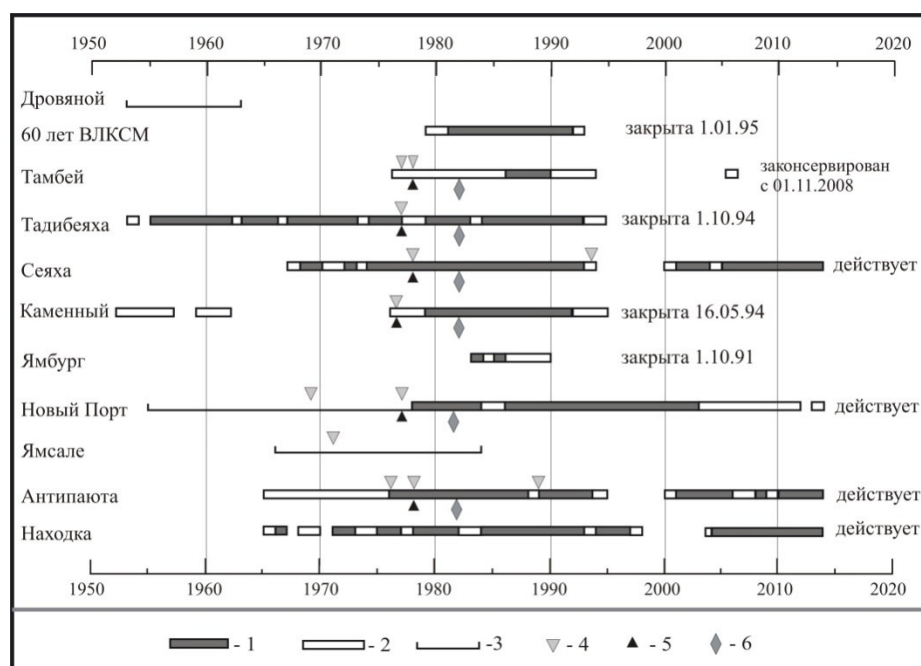


Рис. 1. Временная диаграмма наблюдений за уровнем воды на стационарных постах в Обской и Тазовской губах. 1 – круглогодичные наблюдения; 2 – с перерывами в течение года; 3 – сезонные (навигационные); 4 – год смены нуля поста; 5 – год приведения к ЕНП (единому нулю поста); 6 – год перехода поста на уравнинную систему отметок

Продолжительность параллельных уровенных наблюдений по всем постам (кроме Дровяного) Обской и Тазовской губ, из-за разного времени начала или прекращения их работы,

составляет лишь 9 лет, а без постов 60 лет ВЛКСМ и Ямбург – около 18. Для Тадибеяхи, Находки, Антипаюты, Сеяхи максимальная продолжительность периода одновременного действия постов составляет около 30–35 лет. Однако наличие длительных и неоднократных пропусков в наблюдениях по всем постам существенно снижает информативность данных по уровням.

В период 1976–1978 гг. для станций Обской и Тазовской губ было совершено изменение высотного положения нулей постов. Оно было вызвано введением единого нуля (ЕНП), равного –5,000 м БС для всех морей СССР, связанных с Мировым океаном. Это крайне негативно сказалось на формировании однородных урочных рядов. Потребовалось вводить определённые поправки [2] к ранее наблюдаемым уровням (и опубликованным в изданиях Водного кадастра) для сохранения однородности урочного ряда на посту (относительно высотного положения плоскости отсчёта), что было выполнено для дальнейших оценок. Данные поправки необходимо учитывать также при использовании отметок критических уровней на постах Обской губы, введённых с 01.01.1982 г.

Детальный анализ данных по уровням показал, что они ненадёжны в конце 80-х и в 90-е годы ввиду отсутствия контроля высотной основы поста, и, в некоторых случаях, прямой фальсификации как результатов нивелировок реперов и урочных устройств поста, так и результатов наблюдений [2–5].

Большинство стационарных постов Обской губы, за исключением поста им. 60-летия ВЛКСМ и Дровяной, привязаны к единой системе высот. Однако, эта привязка несовершенна [2, 4], т.к. отметки уровня, рассчитанные даже по осреднённым за многолетний период годовым значениям, не укладываются в представления классической гидравлики.

Учитывая, что однородность рядов уровней по постам Антипаюта и Сеяха в очередной раз была нарушена при отказе от системы ЕНП и переходе на речную программу наблюдений (2 срока в сутки), представляет интерес – насколько это решение способно повлиять на характеристики уровня. С этой целью выполнено сравнение характеристик уровня воды, вычисленных для ежечасных, 4-хсрочных и 2-хсрочных наблюдений на постах Ямсальский бар, Новый Порт, Сеяха, Тамбей, Дровяная, Антипаюта [2, 5]. Установлено, что наибольшие расхождения между ежечасными и 4-хсрочными 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-хсрочными данными при определении среднесуточных уровней достигают 21–96 см, среднемесячных – 4–27 см, среднегодовых – 2–3 см, экстремальных – 60–177 см.

Обращает на себя внимание резкий выход уровня за пределы предшествующих многолетних колебаний по Сеяхе и Антипаюте после 2000 года (рис. 2). Начиная с 1990 г. ежегодники (ЕДМ Часть 2 Том 4) не изданы, уровни даются по последним материалам Северного УГМС, поступившим в ААНИИ на экспертизу

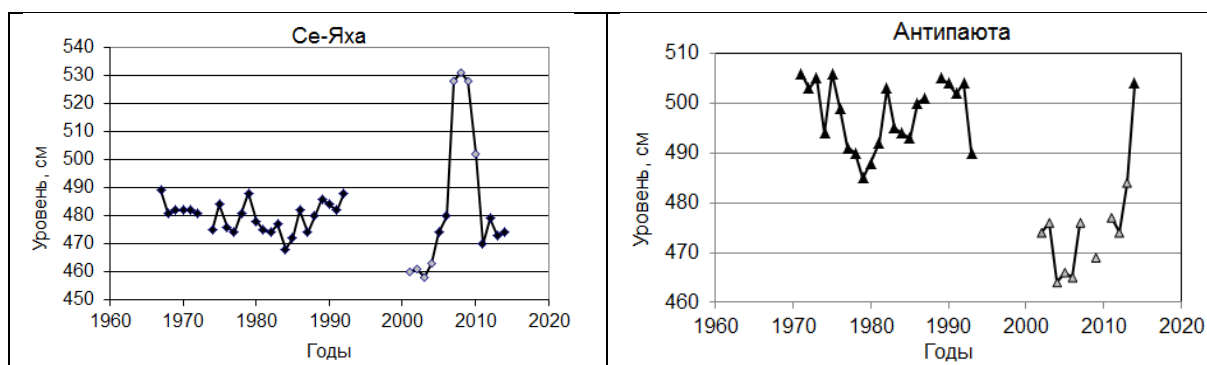


Рис. 2. Ход среднегодовых уровней на постах Сеяха и Антипаюта

К дополнительному нарушению однородности ряда уровней по Сеяхе относится также то, что в материалах ежегодников за 2002, 2003, 2006 гг., поступивших в ААНИИ на экспертизу, уровни представлены над условным нулём поста.

Анализ уровней по Новому Порту, проведённый специалистами Северного УГМС, показал, что за период 1992–2003 гг. данные наблюдений сомнительны, что подтвердила и экспертиза этих материалов в ААНИИ.

Перечисленные последствия перехода на систему единого нуля поста и последующего отказа от ЕНП (для Антипаюты и Сеяхи), перерывы в наблюдениях, ненадлежащее качество данных наблюдений (в том числе неудовлетворительное состояние и нерегулярность контроля высотной основы) на всех стационарных постах следует принимать во внимание при оценке характеристик уровня в Обской и Тазовской губах. Фактически, ни по одному из действующих постов в Обской и Тазовской губах невозможно получить среднее многолетнее значение уровня за последние 25 лет.

Учитывая сказанное, оценка среднего многолетнего уровня на действующих и закрытых постах далее представлена на материалах уровенных наблюдений по 1989 г. включительно. При этом использовались годы с полными наблюдениями.

Установлено, что тренд хода уровней для каждого поста различается по знаку и величине, что естественно, т. к. различаются длины рядов наблюдений. Для постов с длительными рядами (Тадибеяха, Сеяха, Антипаюта) и с относительно коротким рядом (Новый Порт) тренд отрицательный. По постам с короткими рядами (м. Каменный и им. 60-летия ВЛКСМ) положительный. Из общей картины несколько выделяется пост м. Каменный своими резкими колебаниями годового уровня после 1985 г., что может быть связано, в том числе, со своевременными выявленными проблемами с качеством данных [4].

Коэффициенты регрессии трендов среднегодовых уровней воды на действующих постах от начала наблюдений по 1989 г. представлены в таблице 1 в сравнении с коэффициентами регрессии определяющих факторов: – стока воды р. Оби у Салехарда (речная граница устьевой области р. Оби) и уровня на морской границе (условно приняты уровни Амдермы и Диксона). Как видно из таблицы 1, отмечается отрицательный тренд уровня на постах при таком же знаке тренда для речного стока и противоположном – для уровня на акватории, прилегающей к морской границе Обской губы.

Связь среднегодовых уровней на постах Обской и Тазовской губ между собой и со среднегодовыми расходами воды на замыкающих створах рек, впадающих в губы, несущественна [2].

Таблица 1. Значения трендов среднегодовых уровней на постах Обской и Тазовской губ, а также стока воды на речной границе (р. Обь у Салехарда) и уровня моря (Амдерма, Диксон) по совместным рядам наблюдений с соответствующими постами в губе [2]

Пост	Период, годы	Тренд уровня собственно на посту	Тренд по совместным рядам наблюдений		
			сток у Салехарда	уровень Диксона	уровень Амдермы
Новый Порт	1978–1989	–0,4328	–304,86	+1,3461	+1,0834
Сеяха	1967–1989	–0,2908	–22,88	+0,0022	+0,1833
Антипаюта	1971–1989	–0,1736	–159,54	+0,3567	+0,3411

Наряду с отсутствием значимых связей среднегодовых уровней между постами не проявляется также и какая-либо закономерность в их многолетних колебаниях. Сравнение хода среднегодовых уровней в губах и среднегодовых расходов воды на замыкающих створах впадающих в них основных рек показало, что в ряде случаев повышенные среднегодовые уровни в губах отмечались на фоне пониженного среднегодового стока (1967, 1982, 1988 гг.) [2].

Переходя к анализу непосредственно измеренных, суммарных уровней, в частности, их экстремальных значений, следует отметить, что наибольший размах колебаний суммарных уровней (разность наблюденных экстремумов) в Обской губе отмечается в южной её части вследствие наибольшего развития сгонов-нагонов на данной акватории (рис. 3).

В Тазовской губе наибольший размах колебаний характерен для Находки. Многолетний и внутригодовой размах колебаний суммарных уровней в Антипаюте сопоставим по величине с таковым на постах в южной части Обской губы, а в Находке – превышает.

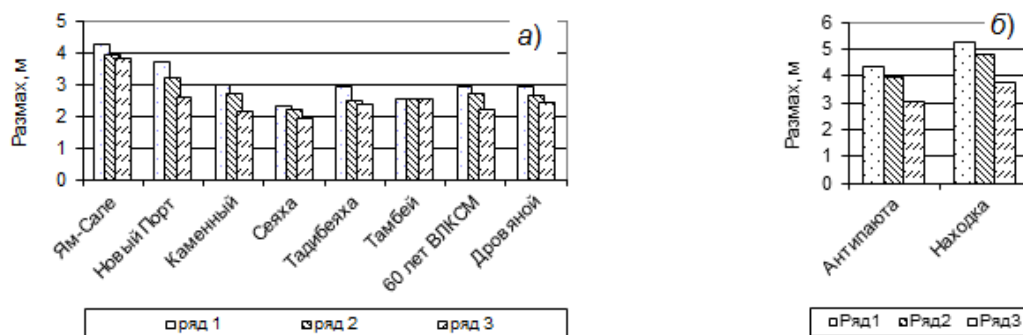


Рис. 3. Размах суммарных колебаний уровня (разность наблюдаемых экстремумов) в Обской (а) и Тазовской (б) губах: многолетний (1), внутригодовой (2), внутримесячный (3)

Наиболее сильные колебания уровня, вызванные анемобарическими причинами, проявляются в южной части Обской губы на Ямсальском баре. Так, наибольший размах сгонно-нагонных колебаний уровня, зафиксированный здесь в августе 1972 г. при северо-восточном ветре 24–26 м/с, составил 3,83 м. Отметим, что наблюдения были 2-хсрочные, следовательно, экстремальные значения могли быть не охвачены. Примерно такая же величина размаха (3,85 м) была получена на основе ежечасных наблюдений в период экспедиционных работ летом 1938 г. При этом скорость изменения уровня составляла 9,0 см/час, нагонная волна прошла от м. Дровяного до Ям-Сале за 24,5 часа [6].

В заключение отметим, что состояние изученности уровней воды и неудовлетворительное качество данных наблюдений на стационарной сети постов в Обской и Тазовской губах позволяют дать в настоящее время самые общие представления о характере колебаний уровня в Обской и Тазовской губах. Учитывая востребованность информации о режиме уровней на указанных водных объектах, следует обновить высотную основу постов и обеспечить их современными приборами и оборудованием для ежечасных наблюдений. Это позволит уточнить характеристики режима уровней и расширить их круг за счёт применения методов анализа, использование которых на коротких и прерывистых рядах некорректно.

### Литература

1. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек за 1977–1986 гг. Часть 2. Том 4. Л.: Гидрометеоиздат, 1979–1989.
2. Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ (лёд, уровни, структура вод). Под ред. д.г.н. Войнова Г.Н. СПб, 2017. –192 с.
3. 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
4. Пискун А.А. Состояние высотной основы и качество данных по уровням воды в Обско-Тазовской устьевой области // Проблемы Арктики и Антарктики. №3 (86). 2010. С. 97–113.
5. 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. №4 (114). 2017. – С. 23–36.
6. Корт В.Г. К вопросу о колебаниях уровня поверхности Обской губы // Тр. АНИИ. Т. 13. Изд. Главсевморпути. М.–Л., 1949. С. 100–118.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of research project No. 18-05-60192.*



## ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ АЙСБЕРГОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В МОРЯХ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ

Е.В. Платонова<sup>1</sup>, С.В. Михальцева<sup>1</sup>, И.А. Бычкова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, В.Г. Смирнов<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, В.В. Степанов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Л.А. Старцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## ASSESSMENT OF ICEBERG DETECTION RELIABILITY WITH THE USE OF SATELLITE DATA IN THE WESTERN ARCTIC SEAS

E.V. Platonova<sup>1</sup>, S.V. Mikhaltseva<sup>1</sup>, I.A. Bychkova<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.G. Smirnov<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.V. Stepanov<sup>1</sup>, Dr. Sc., L.A. Starsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Изложены результаты оценки достоверности обнаружения айсбергов с использованием радиолокационных и оптических снимков ИСЗ Sentinel 1, RADARSAT-2 Landsat-8. В качестве опорных данных использовалась информация судового радиолокатора и БЛА (квадрокоптер). Достоверность обнаружения айсбергов и точность определения их размеров оценивалась посредством сравнения с опорными наблюдениями. Обоснован наиболее эффективный способ обнаружения айсбергов и определения их размеров.*

*Results of assessing the reliability of icebergs detection using radar and optical images of the Sentinel 1, RADARSAT-2 Landsat-8 satellites are presented. Ship based and UAV information (drone) was used as reference data. The authenticity of icebergs detection and the accuracy of determining their dimensions was estimated by comparing with the reference observations. The most effective method for icebergs detection and determining their sizes is substantiated.*

### **Введение.**

Проведение хозяйственных работ на акватории арктических морей сопряжено с риском воздействия опасных ледяных образований (ОЛО) на суда и гидротехнические сооружения. Своевременное обнаружение стамух, айсбергов и их обломков позволяет уменьшить указанные риски при производстве инженерных работ и проведении навигации в Арктике. Наиболее эффективно эта задача может быть решена с использованием радиолокационных спутниковых данных и спутниковых данных оптического спектрального диапазона высокого пространственного разрешения.

### **Район исследования и методы проведения работ.**

Для оценки достоверности обнаружения айсбергов по спутниковым данным применялась информация, полученная в сентябре 2017 г. вблизи восточного и западного побережий архипелага Новая Земля. Были использованы радиолокационные снимки спутников RADARSAT-2 (разрешение 8 м) и Sentinel-1 (разрешение 40 м). Дополнительно привлекались изображения видимого диапазона спутника LANDSAT-8 (разрешение 15 м). Для верификации спутниковой информации привлекались материалы судового радиолокатора и данные БЛА (квадрокоптер). Скорость ветра в период проведения исследований по данным судовой метеостанции не превышала 10 м/с, что позволило пренебречь влиянием ветра на РЛ-изображения подстилающей поверхности при обнаружении ОЛО [2].

Возможность обнаружения айсбергов по радиолокационным изображениям зависит от разности их удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) и УЭПР окружающей водной поверхности или морского льда, которая, в свою очередь, зависит от длины волны, угла зондирования, поляризации, используемой на передачу и прием излучения.

При использовании поляризации сигнала HV величина контраста «айсберг – вода» значительно меньше, чем при использовании HH - поляризации, для которой обратное рассеяние имеет более высокие энергетические характеристики [1].

Для повышения достоверности идентификации объектов на водной поверхности на основе радарных данных двойной поляризации строились композитные поляриметрические изображения. Из-за различий в поляризационных свойствах количество видимых объектов на снимках с HH – и HV – поляризацией отличается. Соответственно, наиболее эффективно

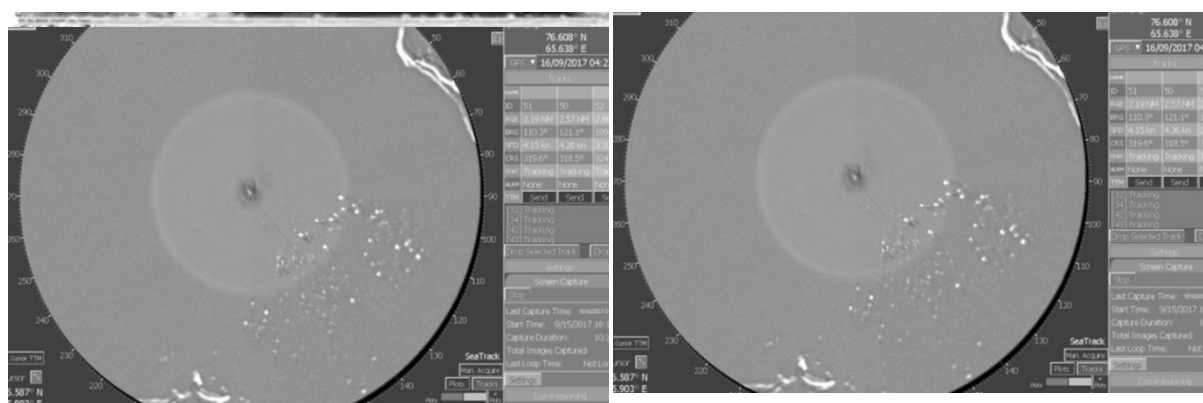
использовать синтезированное изображение, позволяющее улучшить процесс визуального дешифрирования снимков.

При размере айсбергов, близком к разрешению датчика, их идентификация затруднительна. Минимальный размер объектов не должен быть менее 2–3 пикселей изображения. Косвенными признаками наличия айсбергов может служить тень, а также оставляемый ими характерный след во льдах (при их наличии), когда скорость дрейфа ОЛО отличается от скорости дрейфа окружающих льдов [2].

#### Полученные результаты.

Спутниковое детектирование ОЛО производилось с использованием разработанной в ААНИИ технологии [1]. Для определения количества обнаруженных ОЛО использовалась спутниковая информация высокого пространственного разрешения (два снимка Sentinel 1) сентябрь 2017 г. Разрешение спутниковых снимков – 20×40 м. В качестве района исследования была выбрана часть акватории на западе Баренцева моря вблизи архипелага Новая Земля (залив Иностранцева).

В качестве дополнительного источника данных о месте положения айсбергов были использованы данные судового радиолокатора за этот же период. Разница во времени проведения съемки составила около 2 часов. На рисунке 1а приведен фрагмент кадра Sentinel 1, выбранного для сравнения с подспутниковыми наблюдениями. На рисунке 1б показано изображение с экрана судового радиолокатора; область, видимая на экране радиолокатора, соответствует кругу с радиусом 4 мили.



a)

b)

Рис. 1. Пример мониторинга айсбергов в заливе Иностранцева на снимке Sentinel-1 (а), 16 сентября 2017 г. 02:25 UTC и на экране судового радиолокатора (б), 16 сентября 2017 г., 04:22 UTC

На подходах к заливу Иностранцева по данным судового радиолокатора было обнаружено 28 объектов с размерами более 50 м; по данным спутника Sentinel 1- 32 объекта с размерами от 50 до 130 м (на 12 % больше). Таким образом, количество обнаруженных айсбергов по спутниковым данным превышало число объектов на судовом радиолокаторе. Достоверность обнаружения айсбергов по данным судового радиолокатора при нормальных погодных условиях составила 81–87 % в сравнении со спутниковыми данными.

При обзоре морской поверхности, антенна радиолокационной станции, размещенная на борту судна, не обеспечивает максимально возможный «незатененный» обзор окружающего пространства. Многие айсберги могут попасть в зону тени от других объектов. Зачастую подобные ситуации наблюдаются в местах большого скопления ОЛО. В рассматриваемой ситуации наблюдался интенсивный вынос айсбергов и их обломков от ледника Иностранцева (западное побережье Новой Земли). Некоторые айсберги не были идентифицированы, т.к. находились в зоне тени.

Оценка точности определения линейных размеров айсбергов производилась при сопоставлении радиолокационных данных со снимками оптического диапазона, данными визуальных наблюдений и данными с БЛА. В первом случае рассматривались радиолокационные данные спутника RADARSAT-2 (разрешение 8 м) за 15 сентября 2017 г. Согласно метеосводке с судна, скорость ветра в этот день составила 1,6 м/с, волнение – 1 балл, что соответствует «нормальным» (для обнаружения айсбергов) погодным условиям.

В качестве опорных данных использовалась информация, полученная с БЛА. Из двадцати семи айсбергов, снятых квадрокоптером, одиннадцать удалось опознать на спутниковых снимках по координатам, характерным размерам и геометрической форме. На рисунке 2 приведен пример определения размеров айсберга, обнаруженного в заливе Иностранцева с помощью БЛА и трех разных спутников. Размер айсбергов по спутниковым данным (RADARSAT-2), в сравнении с данными квадрокоптера, оценивался со средним отклонением по длине 3 %, по ширине 6 %.

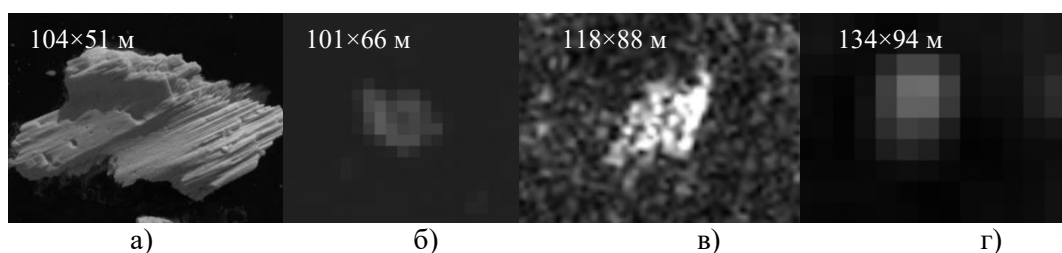


Рис. 2. Сравнение геометрических параметров айсберга, обнаруженного в сентябре 2017 г. с помощью различных средств дистанционного зондирования: а) данные БЛА; б) LANDSAT-8; в) RADARSAT-2, Fine; г) Sentinel-1, Wide

Во втором случае для оценки погрешности измерений айсбергов были использованы данные ИСЗ RADARSAT-2 и Sentinel 1 за 15 сентября 2017 г., в том же районе (залив Иностранцева). Результаты измерений айсбергов по данным Sentinel 1 были, преимущественно завышены по сравнению с RADARSAT-2 в силу худшего пространственного разрешения снимка Sentinel1 (эффект частично заполненных краевых пикселей объекта). Длина айсбергов по данным Sentinel-1 в 10 случаях из 15 была выше, чем по данным RADARSAT-2; среднее отклонение составило 27 %. Ошибки в определении ширины объекта были около 70 %.

В случае сравнения данных визуальных наблюдений с борта судна и спутниковой информации (Sentinel 1) были выявлены достаточно большие расхождения при оценке геометрических параметров. Значение среднего отклонения линейных размеров ОЛО, полученных на основе спутниковой информации и данных визуальных наблюдений, составило 44 % при общей тенденции занижения линейных размеров объектов со стороны наблюдателя. При выполнении визуальных наблюдений существует большая вероятность ошибки, связанная с дальностью расположения объекта, погодными условиями, субъективностью зрительного восприятия эксперта, поэтому они не могут использоваться как эталон. При этом наблюдатель оценивает длину проекции айсберга на перпендикуляр к направлению визирования. Такая оценка может варьировать от минимального до максимального линейного размера объекта в зависимости от его расположения.

Для оценки достоверности обнаружения айсбергов и их обломков по спутниковым данным видимого диапазона использовалась информация ИСЗ LANDSAT-8 за 15 сентября 2017 г. с пространственным разрешением 15 м, полученная по району вблизи западного побережья Новой Земли. Данные ИСЗ RADARSAT-2 использовались для сравнения. Разница во времени проведения съемки составила 6 ч. Расхождение в параметрах объектов, определяемых по кадрам LANDSAT-8 и RADARSAT-2, для крупных айсбергов (свыше 50 м) не превышали 40%, а для мелких айсбергов (менее 30 м) могли достигать 85%. Среднее отклонение по ширине не превысило 20 %, по длине 10 %.

Снимки в видимом диапазоне также дают больше информации об айсбергах, однако это преимущество оптической съемки может быть реализовано только при отсутствии облачности и хорошем освещении.

### **Выводы.**

В результате сравнения данных визуальных наблюдений с информацией, полученной с различных ИСЗ, были выявлены достаточно большие расхождения в оценке параметров айсбергов. Высокую согласованность между собой показали результаты измерений айсбергов, выполненные с помощью аппаратуры RADARSAT-2 и БЛА, а также RADARSAT-2 и LANDSAT-8. Ошибка в оценке параметров была минимальной по сравнению с другими источниками информации. Однако круглогодичное использование данных оптических наблюдений затруднено, поэтому наиболее полную информацию об айсбергах дают радиолокационные спутниковые снимки высокого пространственного разрешения.

Данные судового лоатора также оказались менее эффективны для количественной оценки ОЛО по сравнению со спутниковыми радиолокационными данными высокого пространственного разрешения. В процессе проведения съемки судовым радиолокатором многие айсберги попали в зону тени от других объектов, в результате чего количество обнаруженных айсбергов оказалось меньше, чем в действительности. Это обстоятельство должно учитываться судоводителями при оценке риска столкновения с ОЛО во время использования судового радара.

### **Литература**

1. Смирнов В.Г., Бычкова И.А., Платонова Е.В. и др. Обнаружение по спутниковым данным опасных ледяных образований вблизи инженерных объектов хозяйственной деятельности на шельфе арктических морей. Методическое пособие. Санкт-Петербург. ААНИИ. 2017. С. 40.
2. Бушуев А.В., Александров В.Ю., Лоцилов В.С. Исследование айсбергов и морских льдов в Антарктике по данным РСА спутника «Алмаз-1» // Айсберги Мирового Океана / Под ред. И.К. Попова, В.А. Воеводина. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. С. 30–36.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 18-05-60124\18 от 31.05.2018 г.*

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research Grant No. 18-05-60124 \ 18 dated 05.31.2018.*

## ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В ПОСЛЕДНИЕ ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

В.С. Порубаев<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Е.У. Миронов<sup>1</sup>, д-р геогр. наук, Л.П. Мочнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## TENDENCY OF CHANGING THE DURATION OF THE ICE FREE PERIOD IN THE ARCTIC SEAS IN THE LAST THREE DECADES

V.S. Porubaev<sup>1</sup>, Cand. Sc., E.U. Mironov<sup>1</sup>, Dr. Sc., L.P. Mochnova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Рассмотрено изменение продолжительности безледного периода в арктических морях за период с 1986 по 2018 год. Сделано обоснованное предположение, что продолжительность безледного периода достигла максимума в период с 2014 по 2016 год.*

*The change in the duration of the ice-free period in the Arctic seas for the period from 1986 to 2018 is considered. A reasonable assumption was made that the duration of the ice-free period reached a maximum in the period from 2014 to 2016.*

### **Введение.**

Продолжительность безледного периода имеет важное значение для хозяйственной деятельности в арктических морях. Обычно для оценки площади моря занятой льдом и свободной от льда используется ледовитость. Однако для практических целей более показательным является продолжительность безледного периода. Вместе с тем, межгодовые колебания продолжительности безледного периода могут служить индикатором климатических изменений в Арктике. Тенденции изменения ледовых условий в прошлом служат источником появления различных гипотез о ледовых условиях в будущем. В данной работе рассмотрено изменение продолжительности безледного периода в арктических морях азиатской части России за период 1986-2018гг. В течение предшествующих трех десятилетий, продолжительность безледного периода в арктических морях увеличивалась. Это вызвано потеплением в рамках 60-ти летнего цикла изменения климата в Арктике [1]. В пределах этого цикла, который длится 55-65 лет, тридцатилетние периоды потепления, сменяются похолоданиями, что несомненно сказывается и на продолжительности безледного периода. Как с научной, так и с практической точки зрения важно оценить тенденцию изменения продолжительности безледного периода на предстоящие десятилетия.

### **Методика.**

Безледным периодом, для конкретного района моря, является промежуток времени с момента окончательного очищения акватории от льда до даты его устойчивого появления. Такая характеристика была определена для нескольких точек на акватории каждого из арктических морей азиатской части России. Точки выбраны таким образом, чтобы получить информацию о продолжительности безледного периода в различных районах моря. Бывают случаи, когда в отдельных точках моря лед сохраняется в течение всего летнего периода, при этом продолжительность безледного периода равняется нулю. Для каждого района моря определено абсолютное значение продолжительности безледного периода. Среднее значение из этих величин дает возможность оценить продолжительность безледного периода во всем море. Существуют исследования ледовых условий, основанных на данных наблюдений морских гидрометеорологических станций [2], но они освещают ледовые условия только в прибрежной зоне и отличаются от ледовых условий на акватории моря.

### **Изменение продолжительности безледного периода с 1986 по 2018 год.**

На рисунке 1 показано изменение продолжительности безледного периода в морях Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском. Для Карского моря рассмотрена его юго-западная часть, так как ледовые условия северо-восточной части имеют свои особенности.

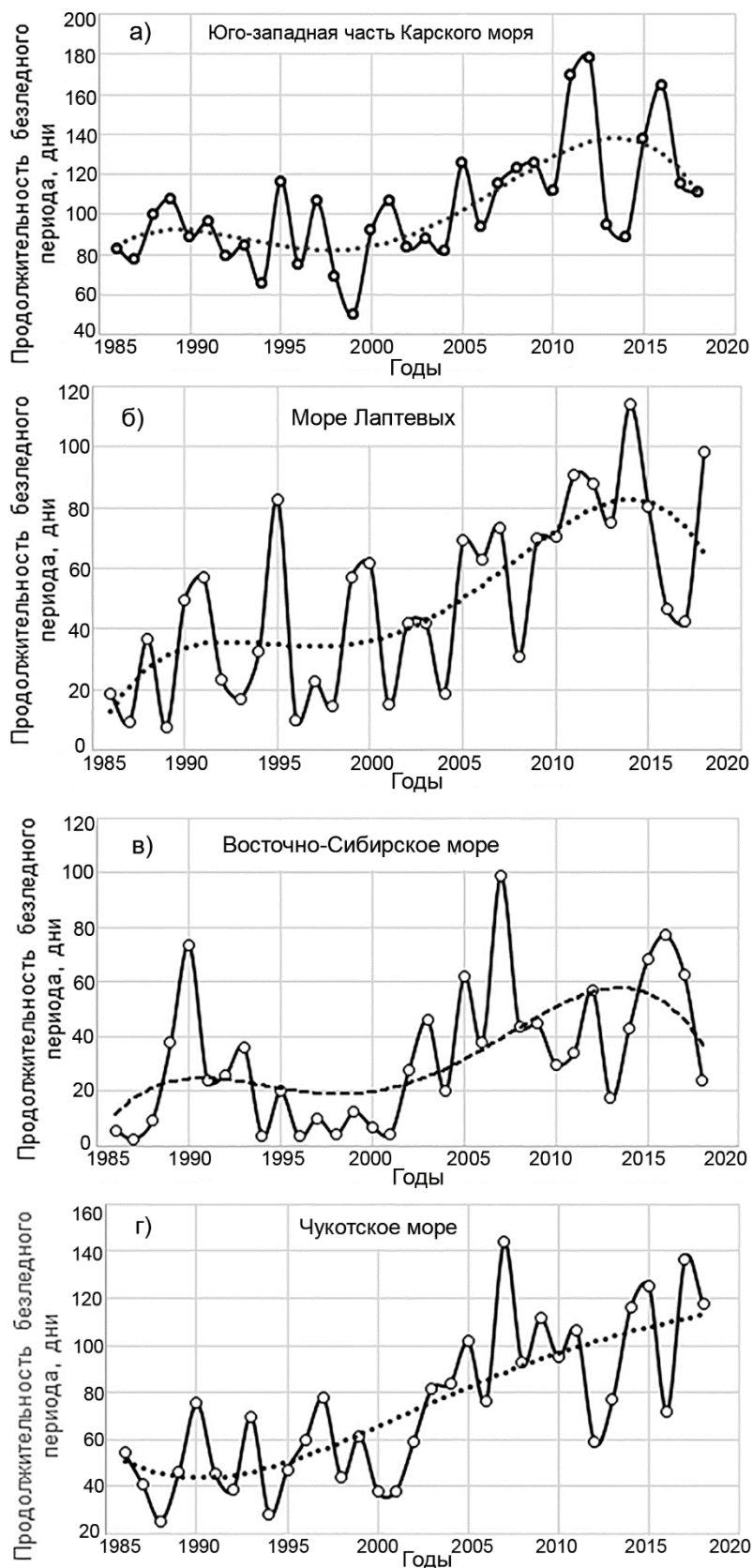


Рис. 1. Продолжительность безледного периода в морях Карском (а), Лаптевых (б), Восточно-Сибирском (в) и Чукотском (г) осредненная по данным нескольких точек

Как видно из рисунка 1, безледный период за последние тридцать три года в российских арктических морях увеличивался, хотя увеличение не было постоянным. Продолжительность его с 1986 по 2000 год не имела выраженного тренда, а в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском характеризовалась большой межгодовой амплитудой. Начиная с 2000 года, во всех 4-х морях, происходило устойчивое увеличение безледного периода до середины второго десятилетия XXI века. В каждом море увеличение продолжительности безледного периода было различным, но тенденция ее изменения аналогична для всех 4-х рассмотренных морей. Это свидетельствует о том, что эти изменения происходят под воздействием единых факторов.

Согласно классификации временных колебаний климата [3], к внутривековым относятся колебания порядка десяти лет. Осредненная по десятилетиям продолжительность безледного периода для 4-х российских арктических морей приведена в таблице 1.

Таблица 1. Продолжительность безледного периода в арктических морях, осредненная по десятилетиям.

Моря	1986-1995	1996-2005	2006-2015	2009-2018
	Средняя продолжительность безледного периода, дни			
Карское (юго-запад)	90	109	124	127
Лаптевых	33	35	76	78
Восточно-Сибирское	24	20	49	46
Чукотское	47	65	100	102

Сведения, приведенные в таблице, дают количественную оценку ледовых условий с 1986 по 2018 год. В морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском безледный период увеличился за три десятилетия более чем в два раза. В Карском море увеличение также было существенным и составило более тридцати дней. Рассчитанная продолжительность безледного периода за последнее десятилетие включает также 7 лет десятилетнего периода 2006-2015 гг. Сравнение данных за эти десятилетия показывает, что вклад последних трех лет не привел к заметному увеличению безледного периода. Согласно кривым аппроксимации приведенных на рис. 1, за последние 4 года с 2015 по 2018 год в арктических морях, исключая Чукотское, наметилась тенденция к уменьшению продолжительности безледного периода. Хотя период в четыре года незначителен, он позволяет предполагать, что максимум продолжительности безледного периода в арктических морях пройден, и в дальнейшем следует ожидать уменьшение этого периода. В пользу этого предположения свидетельствуют выявленные полувековые колебания ледовитости арктических морях с временным интервалом 55-65 лет [1].

#### **Выводы.**

Особенности ледовых сезонов во втором десятилетии XXI века дают основания предположить, что увеличение продолжительности безледного периода в арктических морях, которое в рамках 55-65-ти летнего цикла длилось с 1985 года, достигло своего максимума в интервале с 2014 по 2016 год и в течение последующих трех десятилетий до середины 40-годов XXI века продолжительность безледного периода будет уменьшаться.

#### **Литература**

1. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т.2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 135 с.
2. Думанская И.О. Ледовые условия азиатской части России. М.: Обнинск, ИГ-СОЦИН, 2017, 640с.
3. Монин А.С. Прогноз погоды, как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.

## РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАДРОКОПТЕРА

М.Ю. Ракутин<sup>1</sup>, Т.Н. Капустин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национально исследовательский университет, Пермь, Россия

## RECOGNITIONAL INSPECTION OF WATER BODIES USING QUADROCOPTER

M.Y. Rakutin<sup>1</sup>, T.N. Kapustin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm, Russia

*С нарастающим развитием мультироторных систем, а также значительным уменьшением стоимости на комплектующие, становится возможным приобретение беспилотных летательных аппаратов, область применения которых, может быть существенно увеличена. Например, съемки местности для реконгсцировочного обследования водного объекта*

*With the growing development of multi-rotor systems, as well as a significant reduction in the cost of components, it becomes possible to purchase unmanned aerial vehicles, the scope of which can be significantly increased. For example, land surveys for a reconnaissance survey of a water body.*

Развитие беспилотных летательных аппаратов позволяет оперативно производить съемку местности для реконгсцировочного обследования водных объектов, что позволяет значительно снизить трудоемкость процесса. Используя базовую полезную нагрузку, камеру с подвесом на бесколлекторных двигателях, возможно получать фото- и/или видеоматериалы с дальнейшей обработкой в различных программах. В исследовании приведен пример реконгсцировочного обследования различных водотоков, и использование в разные сезоны года, при помощи БПЛА (квадрокоптер) с базовой полезной нагрузкой.



Рис. 1. 3D печатный квадрокоптер на базе арм 2.8 вид спереди версия сборки 1.2

### **Материалы и методы исследования.**

В качестве квадрокоптера была выбрана рама размером 450 мм с полетным контроллером АРМ(Ardu Pilot Mega). Для производства рамы квадрокоптера были использованы аддитивные технологии производства методом послойного наплавления (FDM– Fused Deposition Modeling). Часть деталей корпуса квадрокоптера были самостоятельно смоделированы, а часть взята из открытых источников.

В качестве полезной нагрузки на квадрокоптер были установлены двухосевой подвес и экшн-камера (англ. Action camera) модели Xiaomi y1 в версии сборки квадрокоптера 1.1, в версии 1.2 в квадрокоптере, для достижения лучшего качества съемки, были внесены ряд изменений:



добавлена возможность использования экшн-камеры типа GoPro hero 3, заменены пластиковые лопасти на карбоновые, смоделированы и напечатаны посадочные шасси (Рис. 1).

Одним из объектов исследования было озеро небольших размеров без названия в окрестностях г. Перми. В рамках работы был осуществлен полевой выезд к исследуемому водоему, на месте было составлено полётное задание для автоматической съемки с перекрытием 80 % снимков. После проверки всех систем, квадрокоптер осуществил автоматический взлет, полет по маршруту и посадку, используя созданное полетное задание в приложении для android устройств Tower (Рис. 2).



Рис. 2. Пример запуска программы Tower

По результатам полета был получен ряд фотографий, дальнейшая их обработка происходила в ПО Photoscan. Программа Agisoft Photoscan использует на входе цифровые растровые изображения, путем сопоставления фотографий, программа находит общие точки и связывает растровые изображения в общую структуру, в результате чего на выходе получается ортофотоплан. После обработки есть возможность выгрузить полученный ортофотоплан в растровое изображение разных форматов.

В результате обработки полученного снимка была подсчитана площадь водной поверхности (3,2 га), определена длина береговой линии (3,7 км), получен высоко детальный снимок водного объекта, который показал наличие в озере процесса эвтрофирования (Рис. 3). Снимок может быть использован в качестве топографической подложки, при привязке снимка к системе координат и высот, возможно построение горизонталей. Навыки дешифрирования аэроснимков позволили определить, что на прилегающей к водному объекту территории равнинный рельеф и растительность представлена кустарниками. При дешифрировании ортофотоплана могут помочь перспективные снимки, если, конечно, занести их в маршрут полета и снимки будут сделаны.

Был осуществлен выезд на небольшой ручей для определения возможности использования квадрокоптера на небольших водотоках находящихся в лесном массиве. На месте были заложены и привязаны в координатах, при помощи геодезических GPS приемников, марки для дальнейшей трансформации ортофотоплана в координатной системе WGS84 и совмещения с космическими снимками, находящимся в открытом доступе.

На рисунках 4 и 6 продемонстрировано совмещение космоснимка и ортофотоплана при наложении. На рисунке 5 показаны заложённые марки для координатной привязки ортофотоплана.

Так же были произведены пробные полеты в разные периоды года, на различных водотоках с целью определения возможных перспектив использования квадрокоптера в гидрологических исследованиях (Рис 7-8). Анализируя полученные снимки, стоит отметить перспективность использования квадрокоптера при анализе ледовой обстановки в весенний период и рекогносцировочных обследований береговой линии в летний период времени.



Рис. 3. Итоговый ортофотоплан

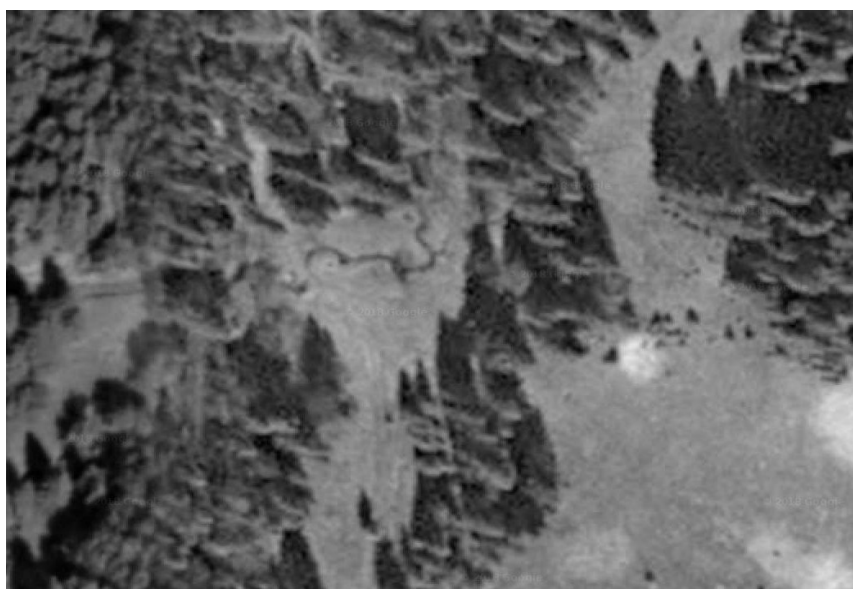


Рис. 4. Космоснимок участка ручья



Рис. 5. Пример марок для привязки ортофотоплана

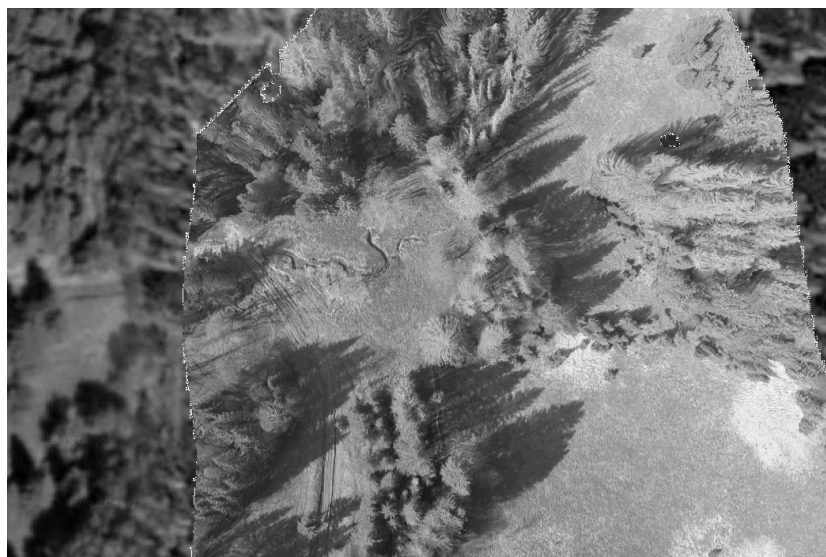


Рис. 6. Космоснимок и ортофотоплан участка ручья



Рис. 7. Пример съемки реки в летний период



Рис. 8. Пример съемки реки в весенний период

### Литература

1. [Электронный ресурс] [www.ardupilot.org](http://www.ardupilot.org) (дата обращения: 06.08.2018)
2. [Электронный ресурс] [www.geoscan.aero](http://www.geoscan.aero) (дата обращения: 06.08.2018)
3. Васильев А.В., Шмидт С.В. Водно-технические изыскания. – Л.: Применение аэрометодов в гидрометрии, 1987.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А.В. Рахуба<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

## MODELING OF THE DEVELOPMENT OF PHYTOPLANKTON IN THE KUYBYSHEV WATER RESERVOIR UNDER THE CONDITIONS OF REDUCTION OF ANTHROPOGENIC LOAD

A.V. Rakhuba<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia

*В работе представлен модельный расчет развития фитопланктона в Куйбышевском водохранилище в условиях двукратного снижения сброса фосфора в Волжском бассейне. Расчет такого сценария показывает, что ожидаемая реакция фитопланктона будет достаточно чувствительной, приведет к снижению его биомассы и улучшению трофического состояния водохранилищ Волги.*

*The paper presents a model calculation of phytoplankton in the Kuibyshev reservoir in a twofold reduction of discharge of phosphorus in the Volga basin. The calculation of this scenario shows that the expected response of phytoplankton is sensitive enough will lead to reduced biomass and improve the trophic status of the reservoirs of the Volga.*

Во многих пресноводных водоемах мира антропогенное эвтрофирование становится одной из наиболее актуальных проблем охраны водных ресурсов. Усиленный рост первичной продуктивности водоемов в результате обогащения их биогенными элементами, главным образом фосфором, сопровождается ухудшением качества воды, увеличением содержания органических и токсических веществ. Особенно остро проблема «цветения» воды стоит на всех водохранилищах Волжского каскада.

Необходимость решения проблемы массового «цветения» воды в водоемах стимулирует исследователей все больше использовать методы математического моделирования [1-8]. Модельные эксперименты дают возможность не только лучше понять функционирование экосистемы в целом, но и прогнозировать аномальное развитие фитопланктона. Даже в краткосрочной перспективе (несколько дней) прогноз биомассы сине-зеленых водорослей позволяет оптимизировать работу систем водоочистки и улучшить качество питьевой воды.

В данной работе разработана одномерная (по вертикали) численная модель весенне-летней динамики фитопланктона приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища. Биомасса фитопланктона в модели представлена концентрацией хлорофилла «а». Верификация модели и модельные расчеты осуществлялись на основе данных натуральных наблюдений (рис. 1), полученных в районе левобережной части (г. Тольятти) приплотинной акватории Куйбышевского водохранилища в вегетационный период 2012 г.

### **Сезонная динамика развития фитопланктона в Куйбышевском водохранилище.**

Результаты наблюдений за вертикальным распределением гидрохимических показателей в водной толще водохранилища показывают, что сезонный ход температуры воды (Т), содержание минерального фосфора и ветровые течения являются основными факторами, обуславливающими многопиковую динамику развития фитопланктона. В вегетационный сезон 2012 года в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища наблюдалось четыре пика «цветения». Из-за теплой погоды весной первый пик был образован диатомовыми водорослями и пришелся на последнюю декаду мая. Максимальное значение хлорофилла «а» было отмечено в пятиметровом слое воды и составило 58,7 мкг/л (рис. 1а). Содержание общего ( $P_{\text{общ}}$ ) и минерального ( $P_{\text{мин}}$ ) фосфора снизилось до 30-36 мкг/л и 5-25 мкг/л соответственно (рис. 1в и рис. 1г). Верхний слой воды прогрелся до 19,5 °С, придонный слой – до 10,7 °С (рис. 1б).

Второй всплеск развития фитопланктона пришелся на первую половину июня. Он был сформирован ростом преимущественно диатомовых и появляющихся сине-зеленых водорослей. Пиковая величина хлорофилла «а» составила 32,2 мкг/л, температура воды на поверхности и дне – 20,5 °С и 16,7 °С, содержание  $P_{\text{общ}}$  и  $P_{\text{мин}}$  – 36-42 мкг/л и 9-17 мкг/л (рис. 1).

К середине июля вода на поверхности прогрелась до 25,6 °С, на дне – до 20,0 °С, что спровоцировало продолжительный рост сине-зеленых водорослей. Максимальное значение хлорофилла «а» на третьем пике «цветения» составило 56,8 мкг/л, содержание  $P_{\text{общ}}$  и  $P_{\text{мин}}$  снизилось до минимальных значений – 15-22 мкг/л и 0-14 мкг/л (рис. 1).

Последний пик «цветения» фитопланктона пришелся на начало августа. На этот момент водная толща максимально прогрелась на поверхности до 25,2 °С и на дне – до 21,9 °С. Концентрация хлорофилла «а» достигла значения 43,7 мкг/л, содержание  $P_{\text{общ}}$  и  $P_{\text{мин}}$  – 18-35 мкг/л и 0-5 мкг/л (рис. 1).

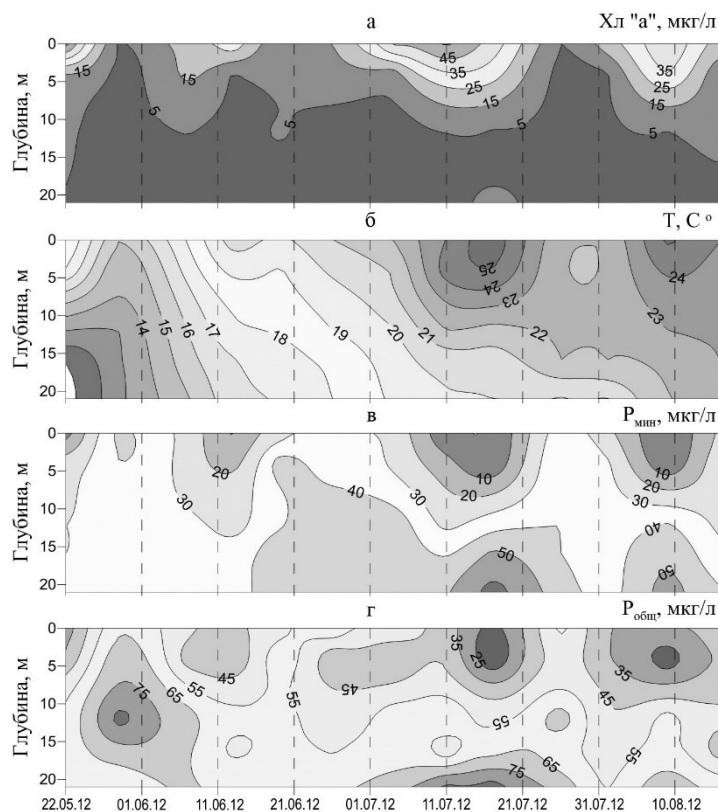


Рис. 1. Распределение Хл «а» (а), Т°С (б),  $PO_4$  (в),  $P_{\text{общ}}$  (г) на рейдовой вертикали в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища за время наблюдений 2012 г.

В течение всего вегетационного периода стояла теплая и практически безветренная погода. Максимальная температура воды наблюдалась в июле и августе (25,6 °С). При сложившихся благоприятных гидрометеорологических условиях в весенне-летний период 2012 года уровень продуктивности фитопланктона лимитировался, прежде всего, концентрацией в воде  $P_{\text{мин}}$ , дефицит которого наблюдался лишь в верхних слоях водохранилища.

#### Численное моделирование развития фитопланктона.

Моделирование сезонной динамики биомассы фитопланктона осуществлялись с использованием программного комплекса «ВОЛНА [5-7]. Уравнения модели для расчета имеют следующий вид:

$$\frac{\partial B}{\partial t} + (w \pm v) \frac{\partial B}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial B}{\partial z} + B\mu, \quad (1)$$

$$K_z \frac{\partial B}{\partial z} = -\overline{w' B'}, \quad (2)$$

$$\mu = \mu_{\text{max}} \left[ \left( \frac{I_z}{I_{\text{opt}}} \exp\left(1 - \frac{I_z}{I_{\text{opt}}}\right) \right) \cdot \frac{P_z}{P_z + P_{\text{II}}} \cdot \exp(-a_p(T_z - T_{\text{opt}})^2) \right] - \varphi - k_s, \quad (3)$$

$$I_z = I_0 \exp(-\alpha \cdot z), \quad (4)$$

$$\varphi = \varphi_m \cdot \exp(a_c(T_z - T_{opt})), \quad (5)$$

$$k_e = \frac{Q}{V}, \quad (6)$$

где  $B$  – концентрация хлорофилла «а» (биомасса фитопланктона), мкг/л;  $t$  – координата по времени, сут;  $\mu$  – удельная скорость роста фитопланктона, сут<sup>-1</sup>;  $\mu_{max}$  – максимальная удельная скорость роста фитопланктона, сут<sup>-1</sup>;  $w$  – вертикальная составляющая скорости потока, м/с;  $v$  – скорость опускания (поднятия) клеток фитопланктона, м/с;  $K_z$  – коэффициент турбулентной вязкости воды, м<sup>2</sup>/с;  $w'B'$  – пульсационный турбулентный поток фитопланктона, г/(с·м<sup>2</sup>);  $I_0$  – средний за день световой поток на поверхности воды, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_{opt}$  – оптимальная для фотосинтеза освещенность, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_z$  – освещенность на глубине  $z$ , Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент ослабления освещенности с глубиной, м<sup>-1</sup>;  $P_z$  – концентрация фосфатов в воде, мг/л;  $P_{\Pi}$  – константа полунасыщения для фосфатов, мг/л;  $T_z$  – температура воды на глубине  $z$ , °С;  $T_{opt}$  – оптимальная для роста водорослей температура, °С;  $a_c$ ,  $a_p$  – эмпирические коэффициенты;  $\varphi$  – убыль клеток фитопланктона, сут<sup>-1</sup>;  $\varphi_m$  – удельная скорость выедания и смертности фитопланктона, сут<sup>-1</sup>;  $k_e$  – коэффициент выноса фитопланктона за пределы водоема в результате водообмена, сут<sup>-1</sup>;  $Q$  – расход воды в замыкающем створе (на ГЭС), м<sup>3</sup>/сут;  $V$  – объем водохранилища, м<sup>3</sup>.

Модельное дифференциальное уравнение (1) решалось способом конечно-разностной аппроксимации по неявной численной схеме [3] с временным шагом  $\Delta t=1$  сут и шагом по глубине  $\Delta z=1$  м. Ось  $z$  направлена вертикально вниз с началом координат на поверхности воды. Изменения условий среды в выражениях (3) и (5) задавались вертикальными распределениями температуры воды  $T_z$  (рис. 1б), минерального фосфора  $P_z$  (рис. 1в) и солнечной радиации  $I_z$ . Уменьшение солнечной радиации  $I_z$  с глубиной рассчитывалось по формуле (4) [1, 4], где  $I_0$  задавалось исходя из ежедневных наблюдений. С учетом данных натуральных наблюдений, полученных на Куйбышевском водохранилище, для модельных расчетов в качестве лимитирующего вещества использовалась концентрация в воде минерального фосфора. Температурная зависимость скорости роста и выедания фитопланктона зоопланктоном определялась согласно формулам, приведенным в [4]. Вертикальная компонента скорости  $w$  задавалась в пределах 0,01-0,04 м/с в зависимости от ветровых условий.

Модельный анализ изменчивости скорости роста водорослей на водохранилище показывает, что темп прироста биомассы фитопланктона определяется температурными колебаниями в фотической зоне, которые связаны со сменой погодных условий. Вместе с этим, сезонные вспышки «цветения» воды регулируются уменьшением и последующим восстановлением концентрации в воде  $P_{мин}$  вследствие жизнедеятельности фитопланктона. При благоприятных условиях рост биомассы водорослей сопровождается снижением концентрации  $P_{мин}$  в верхних слоях воды практически до нуля. Это, в свою очередь, вызывает его острую нехватку для дальнейшего роста фитопланктона и приводит к последующему спаду его численности. Далее в результате горизонтальной и вертикальной конвекции предшествующий уровень концентрации  $P_{мин}$  в водной толще восстанавливается и начинается следующий пик развития фитопланктона (рис. 1а и рис 1в).

Результаты имитационного моделирования роста биомассы фитопланктона в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища представлены на рис. 2. Адекватность разработанной модели оценивалась критерием Тейла [9]. Модель удовлетворительно воспроизводит многопиковую динамику развития фитопланктона в течение вегетационного сезона.

#### **Моделирование отклика фитопланктона на снижение фосфорной нагрузки.**

Ежемесячные данные многолетних гидрохимических наблюдений, полученных в лаборатории мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН, показывают, что среднегодовая концентрация  $P_{мин}$  составляет 0,07 мг/л [10]. По нашим оценкам и данным 2-ТП (водхоз) фосфорная нагрузка на Волгу не превышает 9863 тР/год, а доля фосфора от антропогенных источников в Волжском стоке составляет 55%. При возможном благоприятном сценарии снижения сброса фосфора хотя бы на 50% (4932 тР/год), концентрация  $P_{мин}$  в Волге снизится на 27% с 0,07 до 0,05 мг/л. Модельный расчет такого сценария показывает, что реакция фитопланктона Куйбышевского водохранилища на изменение фосфорной нагрузки будет достаточно чувствительной и приведет к сглаживанию пиков «цветения» воды (рис. 2).

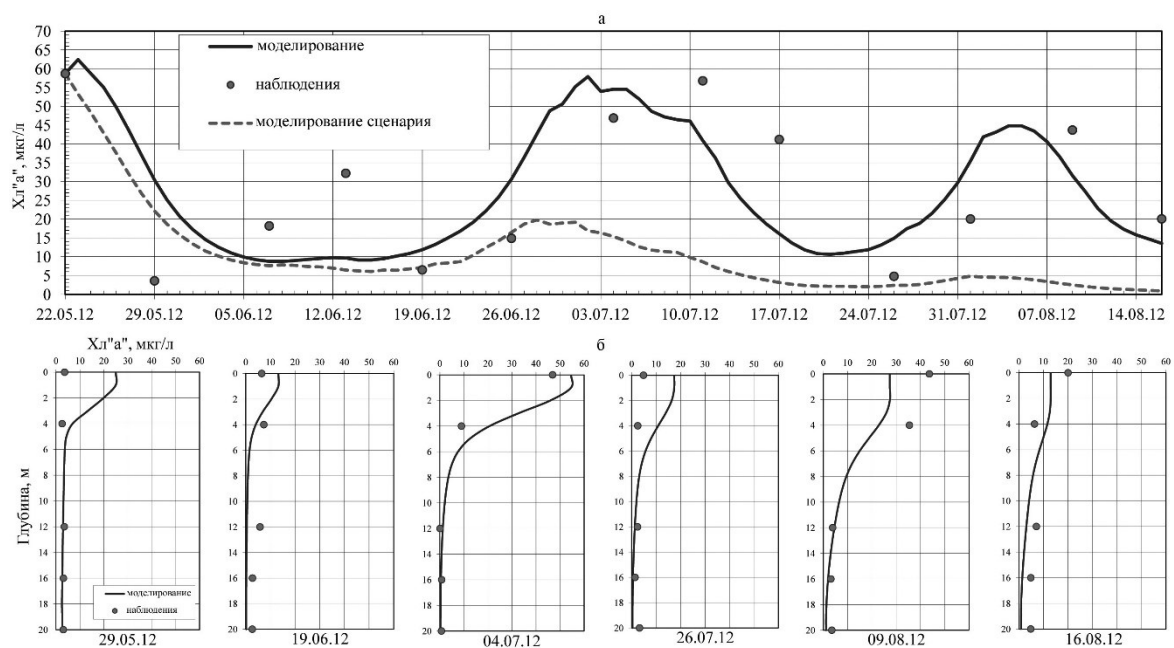


Рис. 2. Сезонная динамика в верхнем слое (а) и вертикальное распределение хлорофилла «а» (б) в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища в 2012 году: точки – данные наблюдений, линия – рассчитанные значения, пунктирная линия – моделирование сценария развития фитопланктона в условиях 50% снижения сброса фосфора в Волжский бассейн.

Таким образом, использование разработанной модели позволило оценить влияние факторов среды на сезонную динамику и рассчитать возможный отклик фитопланктона на снижение фосфорной нагрузки от импактных источников в Волжском бассейне. Вычислительные эксперименты показали, что при двукратном снижении антропогенных сбросов фосфора, можно ожидать трехкратное снижения биомассы сине-зеленых водорослей и, как следствие, улучшения экологического состояния водохранилищ Волги.

## Литература

1. Домбровский Ю.А., Ильичев В.Г., Селютин В.В., Сурков Ф.А. Теоретические и прикладные аспекты моделирования первичной продуктивности водоемов. Ростов: Изд. Ростовского Ун-та, 1990. 176 с.
2. Йоргенсен С.Е. Управление озерными экосистемами. М.: Агропромиздат, 1985. 160 с.
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики: Учеб. Пособие. М.: Наука, 1989. 608 с.
4. Северо-Западная часть Черного моря: биология и экология. Ответственные ред. Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Миничева Г.Г. Киев: Наукова думка, 2006. 633 с.
5. Рахуба А.В. Пространственно-временная изменчивость качества вод Саратовского водохранилища в условиях неустановившегося гидродинамического режима: натурные эксперименты и численное моделирование: Дис. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2007. 188 с
6. Рахуба А.В. Опыт использования измерительно-вычислительной системы «Хитон-Волна» в гидроэкологических исследованиях прибрежной акватории г. Тольятти // В сборнике: Экологические проблемы промышленных городов. Сборник 8-й Международной научно-практической конференции. Саратов, 2017. С. 484-488
7. Рахуба А.В. Имитационное моделирование роста биомассы фитопланктона в Куйбышевском водохранилище// Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 76-87
8. Straskraba M, Gnauck A. Aquatic Ecosystems. Modeling and Simulation. Amsterdam: Elsevier, 1985. 309 p.
9. Theil H. Applied economic forecasting. Amsterdam. 1971. 256 p.
10. Селезнев В.А., Селезнева А.В., Рахуба А.В. Мониторинг, нормирование и регулирование антропогенного воздействия на Саратовское водохранилище. // Ресурсы экосистем Волжского бассейна. Т.1. Водные экосистемы. Тольятти: ИЭВБ РАН; «Кассандра», 2008. С. 4-19

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИКЕ

А.Н. Рачкова<sup>1</sup>, Н.Л. Секисов<sup>1</sup>, А.Д. Дембский<sup>1</sup>, Л.В. Гаман<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## ORGANIZATION WATER-BALANCE OBSERVATIONS IN THE ARCTIC

A.N. Rachkova<sup>1</sup>, N.L. Sekisov<sup>1</sup>, A.D. Dembsky<sup>1</sup>, L.V. Gaman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Представлен опыт организации воднобалансовых наблюдений в Арктике (о. Большевик, арх. Северная Земля). Изложены предварительные результаты, полученные на основе новых данных о снегозапасах и стоке рек с водосбора реки Мушкетова. Рассмотрены методические решения составления детальных водных балансов с учетом региональных особенностей.*

*The experience of the organization of water-balance observations in the Arctic (O. Bolshevik, arch. Northern Land). The preliminary results on the basis of new data on snow storages and yield of drainage basin of Mushketov River are presented here. Methodical solutions of drawing up detailed water balances in the context of regional specifics are considered.*

Степень изученности формирования водного баланса и стока пресных вод островной высокоширотной Арктики невелика и характеризуется в первую очередь недостатком систематических, регулярных гидрометеорологических наблюдений.

Актуальность исследований обусловлена большой чувствительностью природной среды Арктики к вариациям климата, что создает необходимость разработок моделей для предсказаний его изменений с учетом процессов, происходящих в средних широтах.

Водные объекты суши, включая скопления воды в твердой фазе (снежный покров, ледники), являются частью гидросферы и выполняют свою важную функцию в климатической системе. Вода является переносчиком массы и энергии, гидрологический режим водных объектов имеет важнейшее значение для формирования такого стратегического ресурса как пресная вода, характеристики гидрологического режима используются в оценке устойчивости природных экосистем в целом.

Физические процессы и механизмы взаимодействия в системе атмосфера-криосфера-гидросфера-биосфера в условиях высокоширотной Арктики, природная среда которой ранима, характеризуются динамичной реакцией на самые малые изменения в одной из составляющей системы, что в свою очередь влияет на состояние и изменчивость системы в целом. Исследования этих процессов предоставляют возможность выявить ряд региональных особенностей проявления глобальных изменений и колебаний климата.

Экспедиционные исследования финансируются за счет бюджетных средств Высокоширотной арктической экспедиции ФГБУ «ААНИИ» (рук. В.Т. Соколов, рук. Программы исследований – А.П. Макштас). Работы выполняются в рамках Темы ЦНТП «Комплексные исследования окружающей среды архипелага Северная Земля и прилегающих районов акватории Северного морского пути на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база «Мыс Баранова».

Важной составляющей гидрометеорологических работ является изучение гидрологических процессов и выявление гидрологических особенностей пресноводных систем архипелага Северная Земля. Исследования водного и ледового режимов позволяют получить представления о количественных параметрах балансовых составляющих и абляции ледников в прибрежной экосистеме архипелага.

В качестве гидролого-криосферного полигона выбран водосборный бассейн перигляциальной области ледника Мушкетова (о. Большевик, прилегающая территория НИС) с вытекающими из него водотоками. На рисунке 1 представлено местоположение района исследований и основные гидрографические характеристики водных объектов.



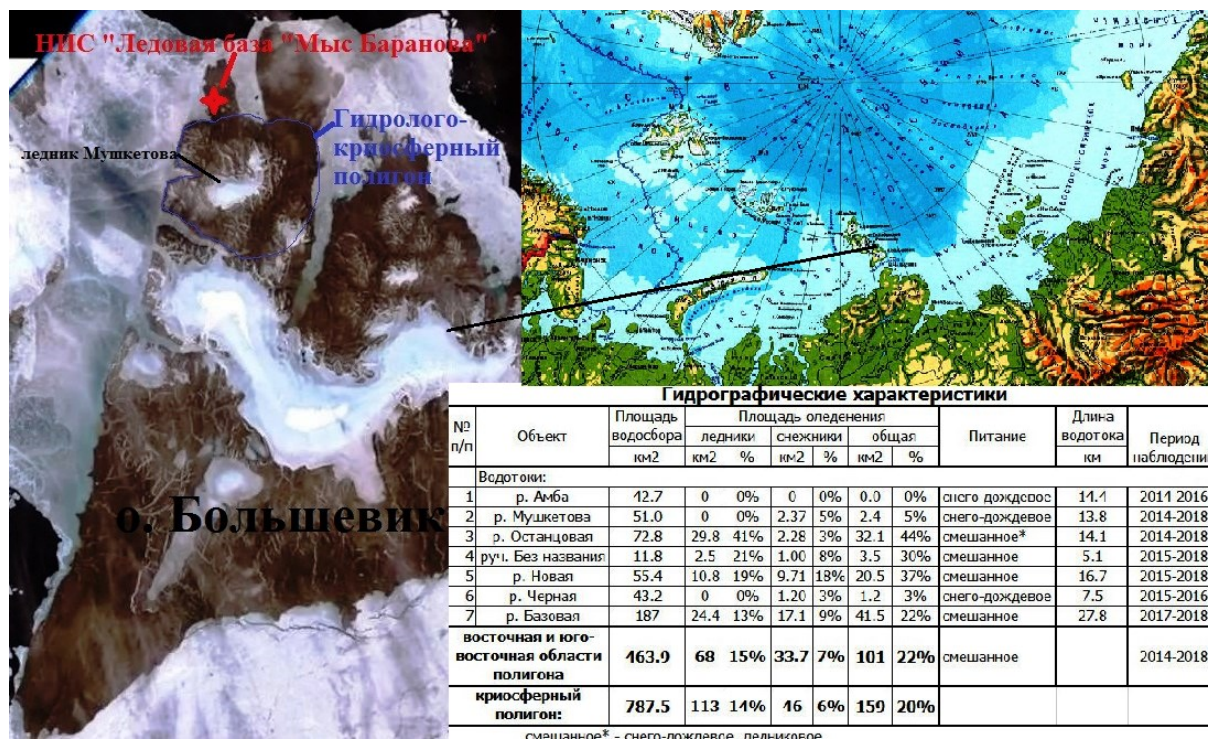


Рис. 1. Местоположение района исследований и основные гидрографические характеристики водных объектов.

#### Оценка составляющих водного баланса.

Понятие «водный баланс» является частной формулировкой закона сохранения материи и включает в себя весь комплекс явлений круговорота воды в природе, в том числе перемещения ее из одних фазово-агрегатных состояний в другие [Бабкин, 2017]. Основой метода является учет всех приходных, расходных и аккумуляционных элементов водного баланса.

Основной целью исследований является детальное комплексное изучение всех элементов водного баланса водосборов и отдельных участков местности, а также наиболее важных природных факторов, обуславливающих формирование составляющих водного баланса пресноводных систем архипелага Северная Земля [Руководство воднобалансовым станциям, 1973].

Для достижения данной цели требуется выполнение следующих задач:

- Установление количественных характеристик и соотношений элементов водного баланса водосборов и отдельных участков местности, а также выявление закономерностей в изменении этих соотношений в зависимости от гидрометеорологических, физико-географических условий;
- Разработка и дальнейшее совершенствование методики наблюдений и расчета элементов водного баланса за различные промежутки времени;
- Уточнение существующих представлений о возможных изменениях водного баланса под влиянием изменения климата.

Основным результатом выполненных работ является организация и проведение систематических, регулярных гидрометеорологических наблюдений по стандартной программе специализированной воднобалансовой станции Росгидромета.

На данном этапе получены новые режимные данные за пять лет, являющиеся показателями для региона, в первую очередь, такие как максимальные снегозапасы в весенний период и сток рек.

Согласно уравнению водного баланса общего вида:

$$X = R + E \pm \Delta R, \quad (1)$$

где X – атмосферные осадки на водосборе; R – суммарный сток с водосбора за период открытого русла; E – суммарное испарение с поверхности водосбора, полученное расчетным путем;  $\Delta R$  – невязка баланса.

Невязка баланса  $\Delta R$ , как остаточный член уравнения, рассматривается как сборный элемент, включающий в себя изменения запасов влаги в неучтенных элементах водного баланса, а также суммарную погрешность определения параметров.

Параметр  $X$  определяется как сумма  $X_c$  и  $X_o$ , где  $X_c$  – запас воды в снежном покрове на водосборном бассейне на момент проведения снегосъемки,  $X_o$  – интегральная сумма жидких (твердых, смешанных) осадков выпавших на водосбор за период с даты проведения снегосъемки до окончания гидрологического года.

Параметр  $R$  определяется как интегральная сумма ежедневных расходов воды за период от начала стока до промерзания русла на замыкающем створе.

Параметр  $E$  определяется как сумма  $E_c$  и  $E_o$ , где  $E_c$  – испарение с поверхности снега с площади водосборного бассейна реки в расчетный период,  $E_o$  – испарение с поверхности суши остальной площади водосборного бассейна за тот же период.

Ниже, в таблице 1 приведены результаты расчетов по реке Мушкетова за два гидрологических года. Расчеты произведены по данным, прошедшим анализ и соответствующую проверку. Водосбор реки Мушкетова был выбран, на основе рекогносцировочных обследований и полученных материалов, в качестве репрезентативного водосбора и является типичным для северной экспозиции полигона. Площадь водосбора - 51.0 км<sup>2</sup>; площадь оледенения - 2.37 км<sup>2</sup> (5%); длина водотока - 13.8 км.

С 2016 года на данном водосборе сосредоточены наблюдения за максимально возможным количеством гидрометеорологических элементов.

В расчетах используются среднесуточные значения метеорологических параметров, полученные по данным 8-ми срочных стандартных метеорологических наблюдений, проводимых круглогодично на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова» и отраженных в соответствующих документах (ТМС).

Значения испарения с поверхности снега и суши получены по данным наблюдений за дефицитом влажности в приземном слое атмосферы и рассчитаны по эмпирическим формулам, предложенные в работах А.Н. Постникова [Постников, 2009, 2016]. Формулы выведены автором, на основании научных работ предыдущих исследователей А.Р. Константинова [Константинов, 1968], П.П. Кузьмина [Рекомендации, 1976] и др., путем обобщения и статистического анализа современных натуральных наблюдений и расчетных данных по испарению на территории РФ и имеют следующий вид:

- для поверхности суши:

$$E = 0,44 \Sigma d \quad (2)$$

- для поверхности снега:

$$E = 0,31 \Sigma d, \quad (3)$$

где:  $\Sigma d$  – сумма среднесуточных значений дефицита влажности воздуха (гПа) за расчетный период.

Таблица 1. Результаты расчетов составляющих уравнения водного баланса за период открытого русла водосборного бассейна р. Мушкетова

гидрологический год	Параметр в мм слоя					невязка	
	R	X <sub>c</sub>	X <sub>o</sub>	E <sub>c</sub>	E <sub>o</sub>	мм	%
2013-2014	302	184	124	1	8	-15	5
2014-2015	368	182	92.9	3	22	68.1	19

Невязка баланса принятого к расчетам уравнения составила за 2013-2014 гидрологический год 5 %, что в пределах 5 - 15 % от стоковой составляющей не превышает критериев его оценки. Тогда как в последующем году невязка баланса составила уже 19 %. Осадков выпало меньше на 33 мм, а сток увеличился на 66 мм. 2015 год характеризовался более продолжительным (77 дней в 2014 г и 107 дней в 2015 г.) и интенсивным (суммы положительных температур составили 66,7 и 119,7 соответственно) теплым периодом. Отсюда очевиден недоучет аккумуляционных элементов водного баланса, таких как, в первую очередь, баланс массы снежников, расположенных в истоке реки и ее притока (5 % площади водосбора), а так же изменений запасов

влаги в верхнем слое почво-грунтов до горизонта оттаивания вечной мерзлоты. Эти элементы водного баланса в данном случае входят в невязку  $\Delta R$  и играют существенную роль при составлении водных балансов, их необходимо учитывать с использованием более детального уравнения.

Остаются неучтенными изменения запасов влаги в водоносных горизонтах (подрусловой сток), в русловой сети водосборного бассейна (склоновый сток) и других, требуется введение поправок к таким параметрам как осадки и испарение с учетом региональных особенностей. По данным элементам водного баланса необходимо провести оценку значимости их учета.

#### **Заключение.**

С 2017 года программа работ расширена и включает в себя наблюдения за запасами воды в снежном покрове, таянием снежного покрова, наблюдения за стоком воды с водосборов, метеорологические наблюдения, измерения элементов теплового баланса, градиентные наблюдения, наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания грунта, состоянием поверхности водосборов и условиями формирования стока талых вод. Разрабатываются методические решения по определению элементов водного баланса, необходимых для расчета водного баланса водосборов, анализа и расчета потерь стока и испарения с суши. Рассмотрен вопрос о применимости метода теплового баланса для расчетов интенсивности снеготаяния и водоотдачи из снега для гидрологически неизученной территории островной Арктики.

На основе данных наблюдений за основными элементами водного баланса были выявлены особенности формирования снежного покрова и характеристики его распределения по водосборам. Выделены основные режимные характеристики стока рек, а также на основе расчета снеготаяния, использующего данные метеорологических и актинометрических наблюдений, исследованы факторы, определяющие параметры стока.

В гидрологической практике используются методы статистики, отраженные в нормативной документации Росгидромета. При отсутствии наблюдений гидрологические характеристики и их параметры можно получить расчетным путем только используя реки-аналоги с периодом наблюдений 30 лет и более. Для региона островной Арктики таких рядов не существует. Минимальный ряд наблюдений, продолжительностью 6 лет и более, уже можно привести к многолетнему периоду, используя метеорологическую информацию [Рождественский, Лобанова, 2004]. В последующем полученные ряды наблюдений можно будет использовать как аналоги для других поверхностных водных объектов Сев. Земли расчетным путем.

Метеорологическую информацию предполагается получить по архивным данным станции мыс Песчаный с периодом наблюдений 1961-1994 гг., с восстановлением ряда и привязкой к сегодняшнему времени. Для этого является необходимым восстановление работы станции мыс Песчаный для получения сравнительных характеристик с НИС «Мыс Баранова» (путем оборудования станции мыс Песчаный автоматической метеорологической станцией).

#### **Литература**

1. Бабкин В.И. Речной сток и циклоническая деятельность в бассейнах Оби, Енисея и Лены – М.: Научный мир, 2017. – 548 с.
2. Руководство воднобалансовым станциям / ГГИ – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 306 с.
3. Постников А.Н. Испарение с поверхности снежного покрова за период его залегания на территории России // Учёные записки РГГМУ, 2016, № 42, с. 55–63.
4. Постников А.Н. Метод расчета испарения с почвы в различных природных зонах // Учёные записки РГГМУ, 2009, № 10, с. 21–31.
5. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.
6. Кузьмин П.П. (ред.) Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 96 с.
7. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Методические рекомендации по определению основных расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – Государственный Гидрологический институт, СПб, 2004. – 67 с.

## ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОГО РЕЖИМА В ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМАХ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОБИ

И.О. Рожкова-Тимина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

## PECULIARITIES OF GAS REGIME IN FLOODPLAIN LAKES IN THE OB'S MIDDLE COURSE

I.O. Rozhkova-Timina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia

*Обь является одной из крупнейших рек мира, а ее пойма - вторая по ширине. Пойменные процессы играют важную роль в формировании углеродного цикла. Мы измерили суточную и годовую динамику концентраций растворенных CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в типичных пойменных озерах. Углерод накапливается в подледный период, максимальные концентрации кислорода отмечаются в период половодья. Суточная динамика растворенных газов зависит от сезона года.*

*The Ob is one of the largest rivers in the world, and its floodplain is the second wide. Flood processes play a significant role in the formation of the carbon cycle. We measured the daily and annual dynamics of dissolved CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations in typical floodplain lakes. Carbon is accumulated in the under-ice period, the maximum oxygen concentrations are recorded during the flood period. The daily dynamics of dissolved gases depends on the season of the year.*

### **Введение.**

Реки, их притоки и пойменные озера часто являются источником углерода. Это активные участники формирования глобального углеродного цикла (Kwon 2016, Широкова 2015, Jammet 2017). Эмиссии углерода оказывают большое влияние на климат (Zak 2016, Polishchuk 2018).

Обь является одной из крупнейших рек мира, протекая от Алтая до Обской губы, и проходит своим течением практически через все ландшафтно-климатические зоны. Общая протяженность реки составляет 3600 км., площадь бассейна Оби - 2990 тыс. км<sup>2</sup>. Обь является одним из основных переносчиков растворенного вещества с земли в Северный Ледовитый океан. В своем течении Обь делится на три отрезка: верхняя (от истока до впадения Томи), средняя (от устья Томи до устья Иртыша) и нижняя Обь (от Иртыша до Обской губы) [Петров 1979, Vorobyev 2015]. В среднем течении река Обь представляет типичную равнинную реку с малыми уклонами. Ширина поймы достигает 40 км, это вторая по величине пойма в мире [Vorobyev 2015]. Тем не менее, она практически не изучена.

Пойма – динамичная система, и газовый состав пойменных водоемов очень нестабилен. Одной из характеристик рек и озер является недостаток кислорода в воде. Кислород поступает в воду в течение лета, зимой же его приток из атмосферы прекращается из-за ледяного покрова. При этом кислород продолжает использоваться для дыхания водными растениями и микроорганизмами. После вскрытия льда огромное количество диоксида углерода и других газов выбрасывается в атмосферу или уходит с полыми водами вниз по течению [Алекин 1953]. Процессы, связанные с окислением органического вещества (дыхание организмов, ферментация, разложение органических остатков) влияют на концентрации CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в воде [Алекин 1953, Denfeld 2016, Hampton 2017]. Таким образом, пойменные процессы оказывают влияние на большие территории.

### **Материалы и методы.**

Исследования проводились на стационаре Кайбасово в Кривошеинском районе Томской области, расположенном в пойме Оби (N57.246142, E84.181919). Измерения проводились в реке Обь и пяти пойменных озерах каждый сезон в 2016-2017: осенью, в конце зимы перед началом активного снеготаяния, во время весеннего половодья и в летнюю межень. Для проведения зимних замеров лед бурился специальным буром. В водоемах измерялись следующие параметры: растворенные диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) и кислород (O<sub>2</sub>), электропроводность, pH, температура. В одном из выбранных типичных озер проводились дополнительные замеры тех же самых параметров по продольному профилю (по центру озера каждые 80 метров) и трем поперечным.

Так же наше оборудование позволило нам фиксировать те же самые показатели каждые пять минут в течение суток.

Концентрация растворенного CO<sub>2</sub> в воде измерялась прибором GM70 Hand-Held Carbon Dioxide Meter, Vaisala®, для остальных использовался WTW Multi 3320 с различными сенсорами. Для оценки взаимосвязей между характеристиками водоема и сезоном года проводился однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с использованием программного обеспечения Statistica 6.0.

#### **Результаты и обсуждение.**

Типичные озера центральной поймы среднего течения Оби расположены в межгрядных понижениях и ежегодно затапливаются паводковыми водами. Они имеют вытянутую форму и окружены высокими гривами с развитой кустарниковой и луговой растительностью. Пологие склоны к озеру в средней части гривы заняты заkochкаренными разнотравно-дернистоосоковыми фитоценозами.

Как правило, доминирует осока дернистая (*Carex cespitosa* L.), кочки которой имеют высоту от 25 до 50 см и 25-35 см в диаметре, занимают около 60% площади. Содоминантами (проективное покрытие 6-7%) являются *Fillipendula ulmaria* Maxim., *Thalictrum flavum* L. и *Veronica longifolia* L. В небольшом обилии (1-3%) встречаются *Calamagrostis purpurea* Trin., *Sanguisorba officinalis* L., *Lathyrus pratensis* L., *Galium boreale* L. и др. Всего наблюдается 17 видов. В воде озера развиты группировки *Cicuta virosa* L., *Equisetum fluviatile* L., *Hydrocharisma morsus-ranae* L., *Stratiotes aloides* L. Последние два вида формируют сплошной покров на мелководьях.

В год, когда проводились активные исследования, ледостав в средней части Оби начался во второй декаде ноября 2016, а лед тронулся на последней неделе марта 2017. Пойменные озера были покрыты льдом до середины апреля.

Концентрации растворенных CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> значительно меняются в течение года. Наше исследование подтверждает известную по литературным данным [Алекин 1953, Хатчинсон 1969, Denfeld 2016, Hampton 2017] обратную связь между содержанием CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>.

В реке Обь наименьшее содержание CO<sub>2</sub> было отмечено летом, наибольшее зимой. Концентрации CO<sub>2</sub> постепенно увеличиваются с самого начала ледостава и достигают максимума в декабре-январе. В этот период обратная зависимость концентраций CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> нарушается. Лед препятствует проникновению солнечного света, и процесс фотосинтеза прекращается. В марте концентрации кислорода достигают своего минимума, а содержание CO<sub>2</sub> увеличивается. Данное явление типично для бассейна Оби и является причиной заморов рыб. В конце марта за счет притока талой воды уровень кислорода начинает повышаться. После вскрытия льда вода обогащается кислородом, одновременно выпуская в атмосферу значительное количество CO<sub>2</sub>. Кислород держится приблизительно на том же уровне до начала следующего ледостава, а концентрации CO<sub>2</sub> постепенно увеличиваются в конце лета и осенью. Это связано с тем, что растворимость диоксида углерода повышается при понижении температуры (Хатчинсон 1969).

В пойменных озерах во время зимней межени (февраль-март) мы наблюдали наиболее высокие концентрации диоксида углерода. Во время весеннего половодья концентрации были значительно ниже, в течение второй половины лета и осени они увеличивались. Также прослеживается обратная годовая динамика концентрации растворенного O<sub>2</sub>: она достигает максимума в период половодья, когда вода насыщается кислородом после вскрытия льда.

Выбранное для дополнительных исследований озеро имеет примерно 730 м в длину и 50 м в ширину. Наши измерения показали днем более высокое содержание O<sub>2</sub> в центре озера и более низкое (с одновременным повышением концентрации растворенного CO<sub>2</sub>) у берегов. Также мы отметили, что водная растительность сильно влияет на содержание растворенных газов в воде: возле растений концентрации CO<sub>2</sub> выше, что вероятнее всего связано с процессом дыхания. Особенно низкие концентрации кислорода и высокие концентрации CO<sub>2</sub> наблюдались около телореза *Stratiotes aloides* L.

Суточными замерами мы установили динамику O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в озере за двадцать четыре часа. Во время безледного периода CO<sub>2</sub> растет в течение ночи и достигает максимума с 6 до 8 утра, затем начинает снижаться. Это связано с прекращением процесса фотосинтеза в ночное время суток. Однако зимой, когда озеро покрыто льдом, разницы между дневными и ночными значениями не

было: уровень CO<sub>2</sub> неизменен или же медленно и стабильно увеличивается. Соответственно, концентрации кислорода имеют обратную динамику.

Интересно, что для реки Обь данная закономерность неверна. Вероятно, грунтовые воды и притоки оказывают большее влияние на состав главной реки, чем процессы фотосинтеза и дыхания.

#### **Заключение.**

Пойма – важная часть любого речного бассейна. В ней происходят процессы, связанные с содержанием газов в воде и атмосфере. Самый важный период – это весеннее половодье, когда вода насыщается кислородом. Пойма Оби занимает весьма обширные территории, и этим обусловлено ее влияние на глобальный круговорот веществ.

Ледяной покров играет важную роль в цикле углерода: пять-шесть месяцев в год он препятствует газовому обмену между водой и атмосферой и оказывает влияние на суточную динамику газов в озере. Кислород не поступает в воду из атмосферы, так же отсутствует процесс фотосинтеза, при этом кислород продолжает использоваться для дыхания водными растениями и живыми организмами. Это приводит к увеличению концентрации растворенного диоксида углерода в зимнее время. Результатом являются зимние заморы рыб и других водных организмов, а также высокие эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу после таяния льда.

#### **Литература**

1. Kwon M.J., Heimann M., Kolle O., Luus K.A., Schuur E.A., Zimov N., Zimov S.A., Gockede M. Long-term drainage reduces CO<sub>2</sub> uptake and increases CO<sub>2</sub> emission on a Siberian floodplain due to shifts in vegetation community and soil thermal characteristics // *Biogeosciences*. 2016. №13. P.4219-4235. doi:10.5194/bg-13-4219-2016
2. Широкова В.И., К.М. Чубинская, К.Т. Орехова, В.Ф. Ланской, Н.П. Милицин. Физико-химические условия водоемов Мордовского государственного заповедника // *Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П.Г. Смидовича*, № 13 (13), 2015. - С. 233-299.
3. Jammot M., Dengel S., Kettner E., Parmentier F.-J. W., Wik M., Crill P., Friborg T. Year-round CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> flux dynamics in two contrasting freshwater ecosystems of the subarctic // *Biogeosciences*. 2017. №14. P.5189-5216. doi:10.5194/bg-14-5189-2017
4. Zak D., Reuter H., Augustin J., Shatwell T., Barth M., Gelbrecht J., McInnes R. J. Changes of the CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> production potential of rewetted fens in the perspective of temporal vegetation shifts // *Biogeosciences*. 2015. №12. P.2455-2468. doi:10.5194/bg-12-2455-2015
5. Polishchuk Y.M., Bogdanov A.N., Muratov I.N., Polishchuk V. Y., Lim A., Manasyrov R.M., Shirokova L.S., Pokrovsky O. S. Minor contribution of small thaw ponds to the pools of carbon and methane in the inland waters of the permafrost-affected part of the Western Siberian Lowland // *Environ. Res. Lett.* 2018. Vol.13 №045002. doi:10.1088/1748-9326/aab046
6. Петров И.Б. Обь-Иртышская пойма. Типизация и качественная оценка земель. - Новосибирск: Наука, 1979. – 136 с.
7. Vorobyev S.N., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Kolesnichenko L.G., Shirokova L.S., Manasyrov R.M. Flood zone biogeochemistry of the Ob River middle course // *Applied Geochemistry*. 2015. №63. P.133-145. doi: 10.1016/j.apgeochem.2015.08.005
8. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1953. – 296 с.
9. Denfeld B A, Kortelainen P., Rantakari M., Sobek S., Weyhenmeyer G. A. Regional variability and drivers of below ice CO<sub>2</sub> in boreal and subarctic lakes // *Ecosystems*. 2016. №19. P.461-476. doi: 10.1007/s10021-015-9944-z
10. Hampton S.E. et al. Ecology under lake ice // *Ecology letters*. 2017. №20. P.98-111. doi: 10.1111/ele.12699
11. Хатчинсон Д. Лимнология. Географические, физические и химические характеристики озер. – М.: изд. Прогресс, 1969. – 591 с.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДКА МУРМАНСКОГО АРКТИЧЕСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА И КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН – НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ХАБ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Е.А. Румянцева<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, Г.Г. Гогоберидзе<sup>1</sup>, д-р эконом. наук, М.А. Князева<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

INFORMATION AND ANALYTICAL PLATFORM OF MURMANSK ARCTIC STATE UNIVERSITY AND KOLA SCIENTIFIC CENTER RAS – SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL HUB OF THE REGION INNOVATION DEVELOPMENT

E.A. Rumiantceva<sup>1</sup>, Cand. Sc., G.G. Gogoberidze<sup>1</sup>, Dr. Sc., M.A. Knyazeva<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

*Рассмотрен вопрос о деятельности информационно-аналитической площадки Мурманского арктического государственного университета и ФИЦ «Кольский научный центр РАН» (ИАП МАГУ-КНЦ) как координатора мероприятий инновационной составляющей Стратегии социально-экономического развития Мурманской области.*

*The article considers the activity of the information and analytical platform of the Murmansk Arctic State University and Federal Science Center "Kola scientific center of RAS" (IAP MAGU-KSC) as the coordinator of the innovative component of the Strategy of socio-economic development of the Murmansk region.*

Вопросы разработки и внедрения инновационных продуктов и технологических решений, обеспечивающих комфортность проживания человека в Арктике, являются одним из приоритетов Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Данная сфера, включающая сельское хозяйство и агрокультуру, морские биоресурсы и аквакультурные хозяйства, строительные материалы, туризм и иные отрасли социально-экономического развития, представляет собой совокупность организаций малого и среднего бизнеса.

Согласно опросу, проведенному Мурманским арктическим государственным университетом (МАГУ), организации этих отраслей как правило не имеют специально выделенной структуры, отвечающей за инновационную деятельность, но обозначают высокую степень потребности в разработке и внедрении инновационных технологий и продуктов, а также во внедрении существующих передовых технологий и продуктов, позволяющих расширить и/или диверсифицировать свою деятельность в рамках отрасли.

В этой связи необходимо создание интегрирующих консалтинговых механизмов, включающих совокупность технологических, коммерческих и маркетинговых решений, позволяющих разработать и внедрить инновационные и передовые диверсификационные продукты и технологии, включая организационные и маркетинговые, в организации, осуществляющие свою деятельность в области обеспечения комфортного проживания человека в условиях Крайнего Севера, включая сельское хозяйство и агрокультуру, морские биоресурсы и аквакультурные хозяйства, строительные материалы, туризм и иные отрасли социально-экономического развития.

Мурманский арктический государственный университет является опорным университетом Мурманской области и единственным опорным вузом России, распложенным за Полярным кругом. Университет ориентирован на поддержку развития Мурманской области, как локомотива всей Арктической зоны Российской Федерации, и распространяет свою деятельность в целом на российскую Арктику. Главными направлениями деятельности университета как опорного вуза региона являются вопросы обеспечения регионального рынка труда высококвалифицированными специалистами, решения актуальных задач региональной экономики и реализация совместно с регионом и его предприятиями образовательных и инновационных проектов. Большую роль при этом играет высокая степень сотрудничества и

кооперации сети опорных вузов России, насчитывающая в настоящее время более 30 университетов, а также возможность использования в проектной деятельности интегрированного научно-образовательного и научно-технологического потенциала всех опорных вузов.

Как опорный университет, МАГУ реализует ряд стратегических проектов развития, в том числе новый проект «МАГУ – научно-технологический хаб региона», сформированный при непосредственной поддержке Правительства Мурманской области. Цель проекта состоит в повышении эффективности производственно-хозяйственной деятельности хозяйствующих субъектов и экономики Мурманской области в сфере обеспечения комфортного проживания человека в условиях Крайнего Севера за счет создания и внедрения инновационных и диверсификационных продуктов и технологий в деятельность организаций.

В рамках проекта МАГУ при партнерстве Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской Академии Наук» (ФИЦ КНЦ РАН) создана информационно-аналитическая площадка (ИАП МАГУ-КНЦ), интегрирующей консалтинговые механизмы, включающие совокупность технологических, коммерческих и маркетинговых решений, позволяющих разработать и внедрить инновационные, а также существующие передовые диверсификационные продукты и технологии, включая организационные и маркетинговые, в хозяйствующие организации, осуществляющие свою деятельность в области обеспечения комфортного проживания человека в условиях Крайнего Севера.

Использование такого подхода представляется важным в связи с возможно долгими сроками разработки инновационного продукта и технологии и с большими инвестиционными вложениями в его создание, что зачастую не представляется возможным как с точки зрения индустриального партнера, так и с позиции Правительства. В этом случае для хозяйствующих субъектов региона более привлекательным будет внедрение существующих передовых диверсификационных продуктов и технологий, чтобы, пользуясь уже имеющимся заделом инновационных организаций России, интенсифицировать рост их экономического потенциала.

Основой деятельности ИАП МАГУ-КНЦ является экспертная информационно-аналитическая деятельность по всем возможным отраслям экономической деятельности в условиях АЗРФ, в том числе в сферах:

- обеспечения комфортного присутствия человека в Арктике;
- обеспечения качественной связи и развития международных транспортно-логистических систем;
- ресурсного обеспечения экономического развития;
- сохранения глобальной экосистемы и противодействие техногенным и биогенным угрозам при освоении Арктической зоны.

На базе ИАП МАГУ-КНЦ консолидирована экспертная деятельность научных и научно-производственных организаций региона, а также планируется усиление партнерских отношений и привлечение экспертного сообщества научных организаций иных регионов АЗРФ (рис. 1).

При этом на базе ИАП МАГУ-КНЦ ведется:

- формирование запроса потребностей хозяйствующего субъекта на разработку инновационного продукта и технологии, с последующим формированием т.н. научно-технологического консорциума в целях создания и внедрения инновационного продукта и технологии с привлечением региональных и (по необходимости) внешних научных и научно-производственных организаций, а также реализация инновационного проекта (бизнес-проекта) с использованием указанных выше финансовых и инвестиционных механизмов,
- формирование технологических запросов хозяйствующих субъектов Мурманской области на внедрение существующих передовых диверсификационных технологий и продуктов, включая организационные и маркетинговые технологии и продукты, с привлечением региональных и (по необходимости) внешних научных и научно-производственных организаций, и последующая реализация технологического проекта (бизнес-проекта).





Рис. 1. Схема деятельности информационно-аналитической площадки МАГУ-КНЦ

Одним из основных и важнейших видов деятельности ИАП МАГУ-КНЦ является формирование региональной научно-технологической программы создания инновационных продуктов устойчивого социального-экономического развития АЗРФ (КНТП Арктика-Мурманск).

Эта программа является региональной компонентой Комплексной научно-технологической программы «Научный потенциал освоения и использования Арктики» (КНТП Арктика), головным разработчиком проекта которой выступает Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Целью КНТП Арктика является разработка качественно новых инновационных продуктов и технологий ("якорных" продуктов и технологий) для нужд арктического региона, появление которых приведет к существенному повышению качества жизни и эффективности хозяйственной деятельности в ключевых отраслях арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ).

Основным механизмом реализации программы в части инвестиций, направленных на разработку "якорных" инновационных продуктов и технологий, являются инициативные проекты. Данные проекты инициируются т.н. научно-технологическим консорциумом, состоящим из научных и/или научно-производственных организаций (реализующих/создающих "якорный" инновационный продукт) и индустриального партнера – производственных организаций, являющихся, по сути, заказчиками инновационного продукта и осуществляющими внебюджетные инвестиции в реализацию проекта.

Финансовая поддержка консорциумов и их инициативных проектов производится профильными федеральными Министерствами в рамках реализации государственных программ, федеральных целевых программ, а также через грантовую поддержку научных фондов (РФФИ, РНФ, и др.), международных программ и т.д.

Важным элементом деятельности ИАП МАГУ-КНЦ, помимо информационно-аналитической, является также образовательная составляющая. В деятельность ИАП МАГУ-КНЦ, равно как и в проектную деятельность по реализации инновационных проектов и проектов по внедрению существующих передовых диверсификационных технологий и продуктов,

вовлекаются наиболее активные студенты. Такие молодые специалисты, обладающие компетенциями в области инновационных и диверсификационных решений развития организаций и с опытом инновационной и практической работы в профильных хозяйствующих субъектах, несомненно будут востребованы на региональном рынке.

Работы выполняются в том числе при поддержке проекта государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 5.13283.2018/12.1 "Информационное и аналитическое обеспечение деятельности Минобрнауки России в сфере изучения Мирового океана, в том числе Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ)".

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ: ПОСЛЕСЛОВИЕ К ГОДУ ФИНСКОГО ЗАЛИВА-2014

А.Е. Рыбалко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга, Санкт – Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

## SOME QUESTIONS OF THE ORGANIZATION AND PURSUANCE OF THE NATURAL ENVIRONMENT MONITORING IN THE GULF OF FINLAND: AFTERWARD TO THE GULF OF FINLAND-2014

A.E. Rybalko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after academician I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Вопросы состояния современного мониторинга геологической среды шельфа рассмотрены в настоящем докладе. Разбираются вопросы, связанные с перераспределением функций между организациями Минприроды РФ, Обсуждены проблемы прекращения работ по оценке загрязнения донных осадков и состоянием мониторинга современных геодинамических процессов. Рассмотрено положение современного мониторинга природной среды на Финском заливе через четыре года после завершения Года Финского залива – 2014.*

*The problems of the state of the current monitoring of the geological environment of the shelf are discussed in this report. Issues related to the redistribution of functions between the organizations of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation and problems of the termination of work on the assessment of pollution of bottom sediments and the state of monitoring of modern geodynamic processes are discussed. The position of the current environmental monitoring in the Gulf of Finland four years after the end of the Gulf of Finland Year 2014 is considered.*

Наиболее ярким природоохранным мероприятием последних лет был «Год Финского залива-2014 (ГОФ-2014)», который прошел под патронатом Президентом России, Финляндии и Эстонии. Он сопровождался впервые выделением целенаправленных ассигнований для проведения комплексных экологических исследований. Через четыре года, прошедших с этого праздника, самое время подвести итоги и посмотреть, что изменилось в системе проведения этого мониторинга.

В российской части Балтики подошли к ГОФ-2014 с несколькими относительно независимыми системами мониторинга природной среды. Государственный мониторинг природной среды по традиции проводило Северо-Западное управление Гидрометеослужбы. Субъектом их наблюдений являлись природные воды и, в очень урезанной форме, гидробиологические исследования. Объекты наблюдения: Невская губа, Финский залив (всего несколько лет) Ладожское озеро. Государственный мониторинг донных осадков, включая главным образом их химический состав вплоть до этой даты осуществлял Центр мониторинга геологической среды ГНПП «Севморгео». Специализированный мониторинг береговой зоны уже несколько лет проводит ФГУП ВСЕГЕИ совместно с городским геологическим предприятием «Минерал». Из других государственных организаций специализированный мониторинг водной среды с углубленным изучением фитопланктона на всем Финском заливе, а также и Балтийском море проводил РГГМУ, гидромониторинг бентоса осуществлял ЗИН РАН и мониторинг рыбных запасов – Госниорх. Особое положение занимает НПО «Радиевый институт», который в рамках ХЕЛКОМ является ответственным за радиологический мониторинг. Кроме того, в городе существовал ряд частных экологических организаций, выполнявших заказы отдельных организаций, в том числе и значительную часть проектов Комитета по природопользованию Санкт-Петербурга. Из них наиболее крупной являлось ООО «Эспресс-сервис». Такое большое количество организаций, занимающихся экологическими

проблемами, в том числе мониторингом природной среды с одной стороны объясняется большим количеством экологических проблем в водных бассейнах, а с другой – элементарным несовершенством законодательства в области мониторинга. На федеральном уровне в России отсутствует единая система экологического мониторинга водных объектов. Различные функции его выполняют организации «Росгидромета», «Росводды» и «Роснедра».

Финский залив в пределах отечественной юрисдикции имеет множество экологических проблем. Это- интенсивное судоходство, в том числе в зимний период, обилие техногенных объектов по берегам залива что с недостаточными мощностями очистных сооружений создает мощный антропогенный пресс в отдельных участках акватории, наибольшая плотность населения по сравнению со всеми балтийскими государствами, интенсивное освоение береговой зоны. Отдельно необходимо отметить радиогенную опасность, связанную как с наличием ядерных объектов по берегам, так и с последствиями Чернобыльской катастрофы.

Все эти проблемы были обсуждены на нескольких конференциях в течение 2014-2015 г.г., где, при всех недостатках, Россия смогла показать комплексный подход к проблеме экологической безопасности Финского залива.

Однако, с того времени много что изменилось. Практически был прекращен мониторинг загрязняющих веществ донных осадков. Подчеркнем, что это проблема не только Финского залива, но и других шельфовых морей. Это направление в большинстве прибрежных регионов имеет заметный приоритет, что хотя бы видно по повестке дня различных межведомственных и международных совещаний. В России этой проблемой традиционно занимались организации геологической отрасли, располагающими специалистами, лабораториями и оборудованием. Между тем, в соответствии внутренними распоряжениями Минприроды, в настоящее время мониторинг химического загрязнения донных отложений и контактирующих с ними водами передан организациям системы Росгидромета, не имеющими ни того, ни другого, ни третьего. Создается парадоксальная картина, когда геоэкологические карты, задачей которых является передача имеющейся информации о состоянии природной среды водоемов, надо корректировать по данным других организаций, которые не всегда имеют возможность для сбора корректного для этой цели материала.

Практически по организационно-финансовым причинам свернута работа в заливе РГГМУ, да и государственная гидрометеослужба вновь испытывает проблемы с финансированием морских работ. Аналогичные проблемы испытывает и Госниорх, а также ЗИН. Учитывая сокращение заказов резко ухудшилось положение с судовым обеспечением этих работ. В этих условиях большая часть заказов уходит в руки частных организаций, а государственный контроль за состоянием природной среды залива существенно ослаб.

Что касается мониторинга геологической среды в системе Роснедра, то его состояние не отвечает сущности задач этого важного вида морских геологоразведочных работ. Во-первых, все работы по шельфу, в том числе и вопреки законодательству, переданы сугубо сухопутной организации, которая занимается крайне важными проблемами, связанными с состоянием запасов подземных питьевых вод и опасных экзогенных геологических процессов. Она не имеет возможности (да и не желает) заниматься морскими вопросами. Во-вторых, за прошедшие 5 лет из геологических заданий была выхолощена сама суть проблемы мониторинга прибрежных морей и крупных озер (тоже являющихся федеральной собственностью). Это и уже упоминавшееся изъятие из задач МГСШ проведение геохимического мониторинга донных отложений. В Северо-западном регионе это привело к прекращению таких работ вообще, исключением частных вопросов, связанных с инженерными изысканиями конкретных инфраструктурных проектов. Но общий контроль состояния дна акваторий исчез, исчезло и обсуждение этих вопросов на межгосударственном уровне в рамках трехстороннего сотрудничества. Также практически игнорируется мониторинг эндогенных геологических процессов в шельфовых морях и крупных озерах. На суше этими вопросами занимается специальная служба, которая не имеет средств и технического оборудования для работ на акваториях. В тоже время, проводимые в настоящее время инженерные изыскания на шельфе, а также и уже полученные в ходе ранее проведенного МГСШ работы наглядно свидетельствуют, что такие процессы существуют, весьма активны, в том числе и на Финском заливе. Это требует, в свою очередь, активизации работ по контролю на шельфе. Кроме того показано, что эндогенные и такие экзогенные процессы, как гравитационные и, частично, эрозионные, тесно

связаны между собой и должны изучаться и контролироваться совместно. Внедренные в практику морских геологоразведочных работ новые технические средства, такие как многоканальное высокочастотное профилирование и многолучевое эхолотирование служат надежной базой для проведения таких работ в рамках мониторинга геологической среды шельфа. Но для этого нужно решение Минприроды для фактического, а не придуманного перераспределения целевых задач между ведомствами.

И наконец, конкретное расположение площадей, где в настоящее время проводится МГСШ. В Финском заливе, по крайней мере, в усеченном виде такой мониторинг проводится. Осуществляется он силами «Южморгеологии» в Черном, Азовском и Каспийском морях. Но на Дальнем Востоке, где действительно ведутся добычные и сопутствующие им работы на шельфе, главным образом, на Сахалине, подобный вид мониторинга выполняется только на акватории залива Петра Великого и то, в сильно усеченном виде со всеми недостатками, изложенными выше.

В докладе приводятся конкретные примеры состояния указанных видов работ в настоящее время в Финском заливе и заливе Петра Великого.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫСЛА САЙРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АВГУСТЕ-НОВАБРЕ 2002-2014 ГГ

Е.В. Самко<sup>1</sup>, Ю.В. Новиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, Владивосток, Россия

## FEATURES OF A SAURY FISHERY DEPENDING ON VARIABILITY OF OCEANOLOGIC CONDITIONS IN SOUTH KURIL REGION ACCORDING TO SATELLITE DATA IN AUGUST-NOVEMBER, 2002-2014

E.V. Samko<sup>1</sup>, Yu. V. Novikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pacific Research Fisheries, Vladivostok, Russia

*В представленной работе приведен совместный анализ распределения и эффективности промысла сайры и гидрологических условий в ЮКР за период август-ноябрь 2002-2014 гг. в пределах исключительной экономической зоны России. Выявлены особенности гидрологических условий в ЮКР, влияющие на распределение и эффективность промысла в годы с высокими и низкими значениями общего вылова сайры.*

*In the presented paper the joint analysis of distribution and efficiency of the saury fishery and hydrological conditions in South-Kuril region within an exclusive economic zone of Russia in August-November, 2002-2014 is carried out. Features of hydrological conditions in South-Kuril region, influencing on distribution and efficiency of the saury fishery in years with high and low values of the total saury catch are revealed.*

### **Введение.**

Изучение особенностей океанологических условий в Южно-Курильском районе (ЮКР), их сезонной и межгодовой изменчивости, необходимо как для анализа текущей обстановки, так и для прогнозирования гидрологических условий в период промысла сайры [1, 2]. В предыдущих исследованиях было выявлено влияние положения теплых антициклонических вихрей (рингов Курошио с теплым ядром или южнокурильских антициклонов - ЮКА) на промысел сайры и кальмара [3, 4, 5]. Антициклонические вихри или ринги Курошио с теплым ядром ежегодно появляются в рассматриваемом районе и существуют в течение нескольких лет. Они движутся на север вдоль материкового склона со средней скоростью 0.5 миль/сут [6, 7, 8]. Однако, их движения крайне неравномерны – от квазистационарного положения до 2-3 миль/сут [3]. При оценке и прогнозировании океанологических условий промысла сайры в Южно-Курильском районе на положение антициклонических вихрей обращается внимание в первую очередь. Но сами ринги Курошио несут хотя и трансформированную, но субтропическую малопродуктивную воду. Скопления сайры образуются на периферии антициклонов, в циклонических вихрях между противоположно направленными течениями, в относительно теплых субарктических водах на границах с теплыми рингами [9].

Кроме того, ранее было отмечена зависимость распределения и промысла кальмаров, сайры и других пелагических промысловых видов рыб от типа океанологических условий района, определяющегося положением Северного субарктического фронта [10, 11].

В представленной работе приведен совместный анализ гидрологических условий в ЮКР, распределение и эффективность промысла сайры за период август-ноябрь 2002 -2014 гг. в пределах исключительной экономической зоны (ИЭЗ) России.

Основной задачей является выявление особенностей гидрологических условий в ЮКР, их влияние на распределение и эффективность промысла в августе-ноябре 2002-2014 гг., в годы с высокими и низкими значениями общего вылова сайры.

### **Материал и методы.**

В качестве исходных данных были использованы:

1. Спутниковые ИК-изображения по данным сканера AVHRR (NOAA), позволяющие идентифицировать южнокурильский антициклон и проследить его эволюцию в течение рассматриваемого сезона;

2. Факсимильные карты температуры поверхности океана (ТПО) японского метеорологического агентства, показывающие термическую структуру поверхностных вод района и ее изменение в течение сезона;

3. Карты аномалий ТПО, позволяющие оценить температурный фон района и его изменчивость в течение сезона;

4. Карты распределения фронтов, показывающие положение Северного субарктического фронта в течение сезона;

5. Карты аномалий скоростей течений, рассчитанные по альтиметрическим данным, позволяющие с достаточной степенью точности получить координаты центра южнокурильского антициклона.

6. Данные о промысле сайры.

В качестве исследуемых гидрологических характеристик сезона рассматриваемого ряда лет были взяты положение центра южнокурильского антициклона и тип океанологических условий района.

В отличие от работы Самко, Булатов [5], где определялось положение центра антициклонического вихря по широте, положение южнокурильского антициклона определялось только его удаленностью от о. Шикотан в милях, независимо от занимаемой им широты. Так как в течение сезона вихрь смещался, рассчитывалось его среднее удаление за август-ноябрь. Максимальная удаленность вихря от острова наблюдалась в 2002 г. и составила в среднем 220 миль, наиболее близко к острову вихрь располагался в 2008 г. – 70 миль (среднее расстояние удаленности вихря от острова 145 миль). Соответственно было выбрано две градации положения: близко – когда расстояние центра антициклона от о. Шикотан составляет менее 145 миль; далеко – когда это расстояние более 145 миль.

Тип океанологических условий района определялся положением Северного субарктического фронта [12]: теплый – при северном положении фронта; нормальный – при положении фронта близком среднесезонному; холодный – при южном положении фронта.

#### Результаты и обсуждение.

В результате проведенного анализа океанологических условий выделяются три основные группы лет: 1 – дальнее положение антициклона и холодный тип условий, это 2002, 2003 и 2009 годы; 2 – близкое положение вихря и теплый тип условий, это 2004, 2005, 2007, 2008 и 2014 годы; 3 – близкое положение вихря и нормальный тип условий, это 2006, 2012 и 2013 годы.

При этом в годы с дальним положением южнокурильского антициклона и холодным типом условий общий вылов и эффективность промысла сайры были на низком уровне, а в годы с близким положением и теплым типом условий – на высоком. В остальные годы промысел был близок к среднему за рассматриваемый период лет.

Анализ исходной информации позволил выявить характерные черты океанологических условий выделенных групп лет.

Таблица 1. Среднемесячная эффективность лова сайры (в тоннах) в рассматриваемые группы лет для судов типа СТР с традиционным способом лова

Группы лет	август	сентябрь	октябрь	ноябрь
ЮКА далеко, холодный тип	14	22	23	34
ЮКА близко, теплый тип	31	43	40	39
ЮКА близко, нормальный тип	20	28	36	25

В выделенные группы лет помесечно были построены осредненные схемы распределения промысла сайры на фоне поверхностной гидрологической структуры вод и рассчитана его эффективность для наиболее многочисленной группы российских промысловых судов типа СТР, 420 и 503 модели с традиционным способом лова (таблица 1).

В целом наибольшие отличия в распределении промысла отмечаются в годы с дальним положением вихря – так в августе-сентябре основные промрайоны располагаются возле границы ИЭЗ в зоне первой ветви Ойясио на фронтах Соя и Ойясио. В октябре промысловые участки располагаются на большой акватории и быстро смещаются к югу. В ноябре промысел практически полностью ведется за пределами ИЭЗ.

В годы с близким положением вихря распределение промысла практически одинаково для всех типов океанологических условий. При этом нормальные и холодные годы отличаются от теплых лет более быстрым смещением к югу промысловых участков в октябре и выходом промысла за пределы ИЭЗ в ноябре.

Наибольшая стабильность промысловых районов отмечается во все годы в августе-сентябре.

В годы с далеким положением южнокурильского вихря и холодным типом условий эффективность промысла низкая, с минимумом в августе и максимумом в ноябре. В сентябре-октябре значения эффективности лова практически не отличаются (таблица 1).

В годы с близким положением южнокурильского антициклона и теплым типом условий эффективность промысла высокая, с минимумом в августе и максимумом в сентябре. В сентябре-октябре эффективность лова близка по значениям.

В годы с близким положением вихря и нормальным типом условий эффективность промысла находится на среднем уровне. Минимум наблюдается в августе, максимум – в октябре.

#### **Выводы.**

В результате анализа было выделено три группы лет, для каждой выявлены характерные гидрологические условия и особенности промысла:

1. Годы с дальним положением южнокурильского вихря и холодным типом океанологических условий (2002, 2003 и 2009 гг.). Гидрологические особенности: основной поток Ойясио хорошо развит и занимает мористое положение; хорошо развита первая ветвь течения, вторая ветвь развита слабо; участки Северного субарктического фронта прослеживаются в пределах ИЭЗ в августе-сентябре; фронт Ойясио начинает быстро смещаться к югу в октябре, а в ноябре в пределах ИЭЗ преобладает слабоконтрастное температурное поле без выраженных фронтальных разделов. В пределах ИЭЗ преобладают отрицательные аномалии температуры воды на поверхности. Особенности промысла: устойчивый промысел начинается в третьей декаде августа; основные стабильные промысловые районы в августе-сентябре располагаются в зоне первой ветви Ойясио вблизи границы ИЭЗ, в октябре промысловые участки быстро смещаются к югу, располагаясь на обширной акватории; в ноябре промысел ведется за границей ИЭЗ на Северном субарктическом фронте. Эффективность промысла низкая, в пределах 14-34 т, с максимумом в ноябре.

2. Годы с близким положением вихря и теплым типом условий (2004, 2005, 2007, 2008 и 2014 гг.). Гидрологические особенности: основной поток Ойясио развит слабо, занимает прибрежное положение; хорошо развита вторая ветвь течения, первая ветвь развита слабо или отсутствует; Северный субарктический фронт прослеживается в пределах ИЭЗ практически до конца ноября; фронт Ойясио начинает смещаться к югу в конце октября-ноябре. В пределах ИЭЗ преобладают положительные аномалии температуры воды на поверхности. Особенности промысла: устойчивый промысел начинается в первой половине августа; основные стабильные промысловые районы в августе-сентябре располагаются на северо-западной периферии вихря, в Южно-Курильском проливе и на прибрежном фронте у о.Итуруп, в октябре промысловые участки медленно смещаются к югу вдоль фронтов второй ветви Ойясио; в ноябре промысел в вершине второй ветви Ойясио и вдоль границы ИЭЗ в ее пределах на фронтах Ойясио и Северном субарктическом. Эффективность промысла высокая, в пределах 31-43 т, с максимумом в сентябре.

3. Годы с близким положением вихря, нормальным и холодным типом океанологических условий (2006, 2011, 2012 и 2013 гг.). Гидрологические особенности: основной поток Ойясио развит слабо, занимает прибрежное положение; хорошо развита вторая ветвь течения, первая ветвь развита слабо; Северный субарктический фронт прослеживается в пределах ИЭЗ до третьей декады октября; фронт Ойясио начинает быстро смещаться к югу в начале-середине октября. В августе-сентябре в пределах ИЭЗ преобладают положительные аномалии температуры воды, в октябре-ноябре - отрицательные. Особенности промысла: устойчивый промысел начинается со второй половине августа; основные стабильные промысловые районы в



августе-сентябре располагаются на северо-западной периферии вихря, в Южно-Курильском проливе и на прибрежном фронте у о.Итуруп, в октябре промысловые участки быстро смещаются к югу вдоль фронтов второй ветви Ойясио и достигают границы ИЭЗ в конце месяца; в ноябре промысел в вершине второй ветви Ойясио и на участках фронтов Ойясио и Северного субарктического вдоль границы ИЭЗ в ее пределах и за ней. Эффективность промысла находится на среднем уровне, в пределах 20-36 т, с максимумом в октябре.

### Литература

1. Булатов Н.В., Обухова Н.Г. Выделение районов, благоприятных для концентраций пелагических рыб (сайры) // Сборник материалов семинара «Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана». Владивосток, ТИНРО-центр. 2004. С. 111-123.
2. Самко Е.В., Булатов Н.В. Использование спутниковой информации в рыбохозяйственных исследованиях ФГУП «ТИНРО-центра» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т.2. С. 157-166.
3. Самко Е.В., Булатов Н.В., Капштер А.В. Два типа антициклонических вихрей к востоку от Японии: происхождение, характеристики, влияние на промысел. // Изв. ТИНРО. 2008. Т.154. С. 189-203
4. Старцев А.В. Условия формирования миграционных потоков сайры в тихоокеанских водах южных Курильских островов и биологические основы путинного сайрового прогноза: автореф. дис. канд. биол. наук. - Астрахань. – 2011. – 20 с.
5. Самко Е.В., Булатов Н.В. Исследование связи положения рингов Куроисио с теплым ядром и распределения промысла сайры по спутниковым данным. //Исслед. Земли из космоса. 2014. № 2. С. 18–26.
6. Kitano K. Some properties of the Warm Eddies, Generated in the Confluence Zone of the Kuroshio and Oyashio Current // Journal of Physical oceanography. 1975. Vol. 5., №2. P. 245-252.
7. Лобанов В.Б., Рогачев К.А., Булатов Н.В., Ломакин А.Ф., Толмачев К.П. Долгопериодная эволюция теплого вихря Куроисио // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317, № 4. С. 984-988.
8. Козлов В.Ф., Гурулев А.Ю. О перемещении вихрей вдоль глубоководного желоба // Метеорология и гидрология. 1994. №6. С. 70–78.
9. Булатов Н. В., Самко Е. В., Цыпышева И. В. Океанологические образования, благоприятные для концентрации пелагических рыб по инфракрасным данным ИСЗ NOAA // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5, Т. 2. С. 49–61.
10. Савиных В.Ф., Шевцов Г.А., Карякин К.А. Слободской Е.В., Новиков Ю.В. Межгодовая изменчивость миграций nektonных рыб и кальмаров в тихоокеанские воды южных Курильских островов // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43, № 6. С.759-771.
11. Новиков Ю.В., Слободской Е.В., Шевцов Г.А. Влияние океанологических условий на распределение и биологические особенности массовых видов кальмаров в Южно-Курильском районе // Океанология. 2007. Т.47, № 2. С.259-265.
12. Новиков Ю.В. Типизация океанологических условий в Южно-Курильском районе в летний период // 13 Международная конференция по промысловой океанологии: тез. докл. Калининград, 2005. С.200-201.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ ПО ДАННЫМ ГЛАЙДЕРОВ

Н.В. Сандалюк<sup>1</sup>, Т.В. Белоненко<sup>1</sup>, д-р. геогр. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## CHARACTERISTICS OF MESOSCALE EDDIES IN THE LOFOTEN BASIN FROM THE SEAGLIDERS DATA

N.V. Sandalyuk,<sup>1</sup> T.V. Belonenko<sup>1</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Район Лофотенской котловины является одним из наиболее динамически активных районов Северной Атлантики и представляет собой зону повышенной мезомасштабной вихревой активности. Для подробного изучения основных характеристик мезомасштабных вихрей мы используем данные глайдеров, полученные за период с 07.2012 по 07.2015. Анализируются термохалинные и динамические характеристики мезомасштабных вихрей. Получены радиальные структуры для циклонических и антициклонических вихрей, а также осредненные по глубине 1000 м орбитальные скорости. Для определения границ вихрей и позиционирования профилей глайдеров относительно центра вихря использовались данные альтиметрии AVISO.*

*The Lofotenbasin is one of the most dynamically unstable regions of the North Atlantic and represents a zone of increased mesoscale eddy activity. For detailed study of the main characteristics of mesoscale eddies we use data from Seagliders, collected between July 2012 and July 2015. We analyze thermohaline and dynamic characteristics of mesoscale eddies. We obtained radial structures for cyclonic and anticyclonic eddies and a orbital velocities averaged over depth 1000 m. AVISO altimetry data were used to determine the eddy boundaries and position the glider profiles relative to the eddy center.*

Лофотенская котловина является самым динамически активным регионом Северной Атлантики, характеризующимся локальными максимумами дисперсии уровня океана и высокой кинетической энергии синоптических вихрей. В центре котловины расположен квазипостоянный Лофотенский вихрь, представленный линзой теплой соленой воды на интервале глубин 300-1000 м с горизонтальным масштабом около 100 км [1-3]. Ключевой особенностью мезомасштабной динамики Лофотенского бассейна является отделение вихрей от восточной ветви Норвежского течения и их распространение в западном направлении. За счет данных процессов осуществляется транспорт теплых и соленых атлантических вод в более глубокую часть бассейна. Процесс отделения вихрей от основного потока также способствует постепенному охлаждению Норвежского течения на его пути в Северный ледовитый океан, что в свою очередь оказывает существенное влияние на климат региона и, в более долгосрочной перспективе – на площадь ледового покрова в Баренцевом море, так как она напрямую зависит от объема тепла, переносимого Норвежским течением в Арктику. Кроме того, мезомасштабные вихри обеспечивают богатую кормовую базу для местной биоты [3]. Вот почему изучение мезомасштабных вихрей Лофотенского бассейна играет важнейшую роль в понимании океанологических и биологических региональных процессов.

Глайдеры представляют собой автономные, дистанционно пилотируемые аппараты, сконструированные для многомесячных миссий. Измерения проводятся вдоль пилообразной траектории от поверхности океана до глубины 1000 м. Они измеряют гидрографические параметры: температуру, электропроводность и давление[4].

Используемые нами данные глайдеров включают в себя измерения с шести миссий, покрывающих временной промежуток с июля 2012 по июль 2015 гг. Стандартная траектория перемещения глайдера покрывает порядка 900 км: от 16° в.д. до 8° з.д., зонально перемещаясь вдоль 69° с.ш. (рис. 1). Продолжительность миссий варьируется от 91 до 248 сут. (табл. 1). В стандартном режиме дискретность измерений глайдеров составляет 14-32 сек. Вертикальная скорость изменяется в диапазоне 7-10 м/с, вертикальное разрешение данных составляет 1-3 м. В центре Лофотенской котловины, где расположен Лофотенский вихрь, пространственное разрешение данных увеличивалось за счет погружения глайдеров под более крутым углом, при этом уменьшалось время погружения, которое составляло 9 часов за пределами вихря и 4 часа в самом вихре. Детали 6 анализируемых миссий глайдеров представлены в таблице 1.

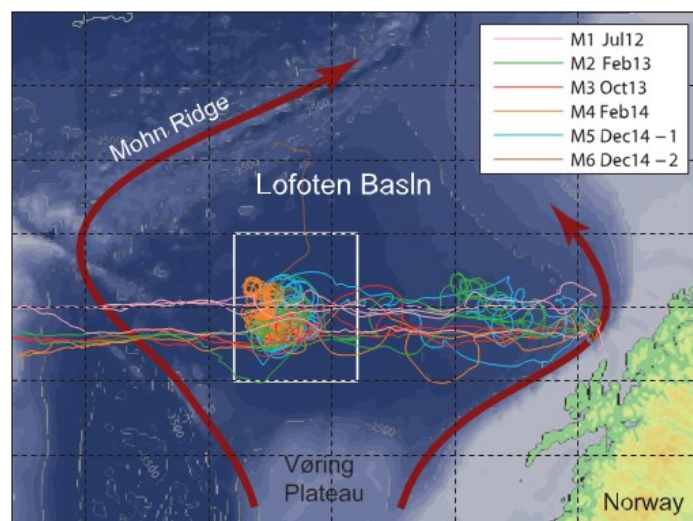


Рис. 1. Траектории глайдеров в Лофотенском бассейне [2].

Таблица 1. Детальная информация о миссиях глайдеров

Номер глайдера	Миссия	Период	Продолжительность (дни)	Кол-во погружений
sg559	M1	04/07/2012 – 25/01/2013	205	617
sg562	M2	14/02/2013 – 16/09/2013	214	680
sg561	M3	11/10/2013 – 17/02/2014	129	457
sg563	M4	26/02/2014 – 01/11/2014	248	831
sg562	M5	18/12/2014 – 19/03/2015	91	340
sg559	M6	18/12/2014 – 18/07/2015	212	699

Для определения границ вихря и позиционирования профилей глайдеров относительно центра вихря использовались данные альтиметрии SLA (Sea Level Anomalies), которые представляют собой аномалии уровня относительно средней динамической топографии MDT, предоставляемые Aviso+ (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/auxiliary-products/mdt.html>).  $SLA = ADT - MDT$ , где ADT – абсолютная динамическая топография. Массив значений SLA доступен на портале «Copernicus Marine environment monitoring service» ([http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_008\\_047](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047)). Пример карты аномалий уровня на период пересечения глайдером антициклонического вихря представлен на рис.2.

Нами анализировались мезомасштабные вихри Лофотенской котловины за исключением квазипостоянного Лофотенского вихря, который ранее многократно исследовался (см. обзор в [2, 3]). Для создания композитной структуры вихрей проанализированы сотни профилей глайдеров, пересекающих вихри, идентифицируемые по данным альтиметрии. Так как масштабы мезомасштабных вихрей могут достигать несколько десятков километров, для каждого из них в период пересечения его глайдером имеется несколько профилей, что позволяет в итоге построить зональные разрезы термохалинных характеристик в вихре.

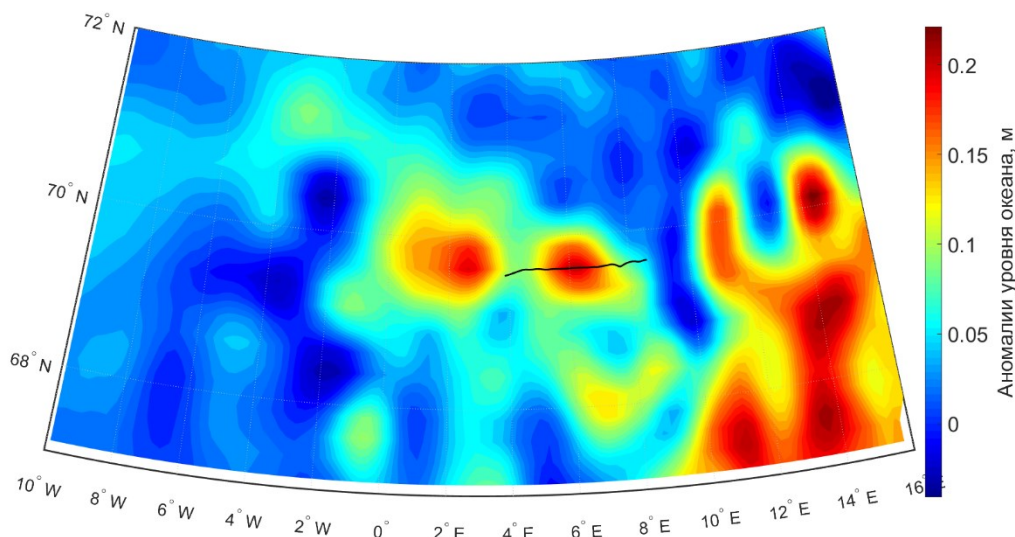


Рис. 2. Карта аномалий уровня на период пересечения глайдером зимнего антициклонического вихря.

В виду того что пересечение вихрей глайдерами происходит на различных расстояниях от центра (оси симметрии) вихрей, это позволяет построить радиальную структуру вихрей. Однако при этом мы делаем предположение, что анализируемый вихрь имеет изотропную структуру. Аналогичный подход применялся при исследовании квазипостоянного Лофотенского вихря, расположенного в центре котловины [2, 3].

Вертикальная структура композитных циклонических (КЦ) и антициклонических (КАЦ) мезомасштабных вихрей в Лофотенской котловине и радиальные зависимости их термохалинных характеристик рассмотрены для зимнего и осеннего сезонов (см. пример на рис. 3). Для весенних и летних месяцев КЦ и КАЦ не исследовались в силу ограниченности данных глайдеров в эти сезоны.

#### **Выводы.**

Совместный анализ синхронных альтиметрических измерений и данных глайдеров в целом является перспективным методом исследования термохалинной структуры мезомасштабных вихрей. На основе трехлетних наблюдений Seaglider с июля 2012 г. по июль 2015 г. в Норвежском море построены вертикальные разрезы КЦ и КАЦ в Лофотенской котловине и проанализирована их радиальная структура для зимнего и осеннего сезонов. Радиус вихрей определялся двумя способами: по максимальным градиентам термохалинных характеристики по максимуму скорости в вихре, рассчитанному по данным глайдеров (динамический радиус). Максимальная скорость в КАЦ достигает 20 см/с. Показано, что зимой отличительной чертой вертикальной термохалинной структуры КАЦ является ядро теплой и соленой воды с радиусом 30-40 км, в то время как динамический радиус составляет 15-20 км. Для осеннего сезона указанные характеристики значительно больше: 60-70 км и 30-40 км, соответственно.

Зимой, как в центре, так и на периферии КАЦ наблюдается вертикальная квазиоднородность гидрологических характеристик от поверхности до значительной глубины. Отличительной чертой зимнего КАЦ является мощный квазиоднородный слой, при этом глубина квазиоднородного слоя в центре КАЦ – примерно 400 м оказывается больше, чем на периферии: около 300 м.

Для осеннего КАЦ квазиоднородный слой не превышает 100 м, а градиенты термохалинных характеристик значительно уступают зимним. На глубинах 150-400 м ядро КАЦ имеет форму двояковыпуклой линзы с радиусом приблизительно 15 км.

Подобный анализ проведен и для мезомасштабных циклонов в зимний и осенний сезоны. Структура КЦ существенно иная, чем в КАЦ, а зональные градиенты термохалинных характеристик имеют противоположный знак.

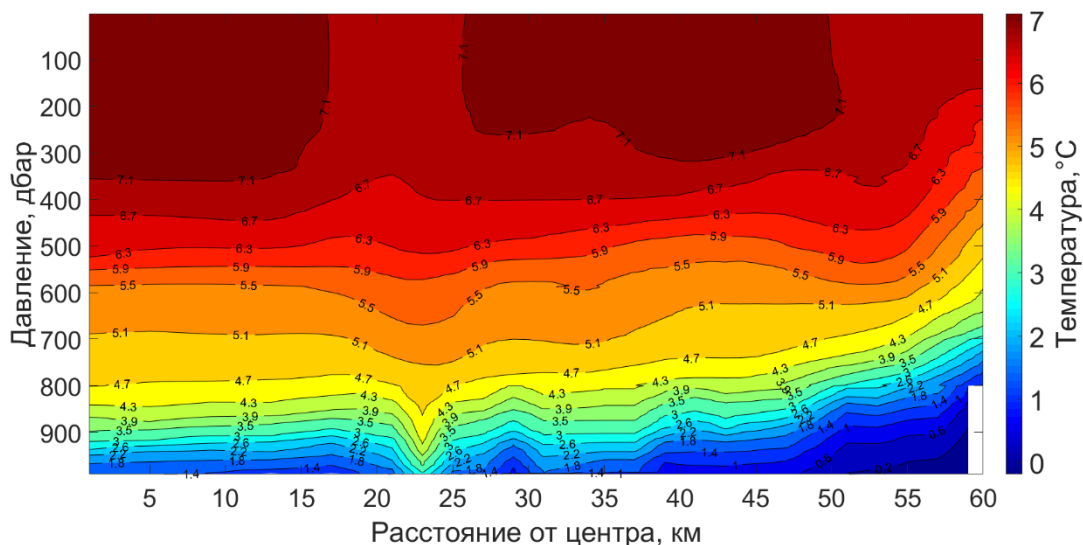


Рис. 3. Вертикальный профиль температуры воды в зависимости от расстояния от центра вихря для зимнего антициклонического композитного вихря

### Литература

1. Белоненко, Т.В., Волков, Д.Л., Ожигин, В.К., Норден, Ю.Е., 2014. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря. Вестн. С.-Петербург. Ун-та, Сер.7 (2), 108-121.
2. Lu-Sha Yu, Anthony Bosse, IlkerFer, Kjell A. Orvik, Erik M. Bruvik, IdarHessevik, KarstenKvalsund. The Lofoten Basin eddy: Three years of evolution as observed by Seagliders// Journal of Geophysical Research. 2017. 122. pp. 6814–6834.
3. Raj, R. P., J. A. Johannessen, T. Eldevik, J. E. Ø. Nilsen, and I. Halo. Quantifying mesoscale eddies in the Lofoten Basin // Journal of Geophysical Research: Oceans.2016. 121. pp. 4503–4521.
4. Charles C. Eriksen, T. James Osse, Russell D. Light, Timothy Wen, Thomas W. Lehman, Peter L. Sabin, John W. Ballard, and Andrew M. Chiodi. Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research // Journal of oceanic engineering. 2001. Vol. 26, No, pp. 424–436.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.*

*This work was financially supported by the Russian Science Foundation, grant No. 18-17-00027.*

## ОСОБЕННОСТИ УСТЬЕВЫХ ПРОЦЕССОВ И ФАКТОРОВ, ИХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ, В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ЭСТУАРНОГО ТИПА

Н.А. Саноцкая<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук, Д.И. Звегинцев<sup>1,2</sup>, М.А. Головатских<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## FEATURES OF PROCESSES AND THEIR DEFINING FACTORS IN THE ESTUARIES OF THE RUSSIAN ARCTIC

N.A. Sanotskaya<sup>1,2</sup>, Cand. Sc., D.I. Zvegintsev<sup>1,2</sup>, M.A. Golovatskikh<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Освещается состояние изученности устьевых процессов и факторов, их определяющих, в устьевых областях крупных рек Российской Арктики эстуарного типа для целей организации мониторинга этих поверхностных водных объектов в свете водного и экологического законодательства.*

*The state of scrutiny of the estuarial processes and their defining factors in the estuarial areas of large rivers of the Russian Arctic for the purpose of monitoring these surface water bodies in the light of water and environmental legislation is highlighted.*

Устьевые области рек Арктической зоны Российской Федерации представляют особый интерес для водообеспечения населения и хозяйственной деятельности. В соответствии с ГОСТ 17.1.1.02-77 «Классификация водных объектов» устьевые области рек относятся к поверхностным водным объектам суши и являются самостоятельными водными объектами, наряду с озерами, водохранилищами, болотами и т.п. Они находятся полностью на территории РФ и являются объектами водного фонда, водные ресурсы которых используются или могут быть использованы.[1,2]

Устьевая область эстуарного типа по своему названию подразумевает, что в устьевой области наблюдаются приливные явления. Соответственно, рассмотрим особенности протекания процессов в таких устьевых областях с учетом приливов.

Приливные волны, входящие в эстуарии, распространяются на значительные расстояния. Например, на р. Мезень прилив распространяется на 96 км вверх по течению [4].

Дальность проникновения приливных волн зависит от величины прилива и от морфометрических характеристик реки (глубины реки, уклона и извилистости русла).

Граница распространения прилива вверх по течению реки в течение года не остается постоянной и перемещается под влиянием изменений величины прилива, сгонно-нагонных явлений, а также речного стока.

Значительное влияние на дальность распространения приливной волны оказывает ледяной покров.

В период прохождения половодья и паводков граница распространения прилива резко сдвигается в сторону моря, поскольку увеличиваются расходы воды в реке и скорости течения.

При создании системы мониторинга в устьевой области эстуарного типа необходимо учитывать, что эстуарий является единой системой и при любом его исследовании нужно охватывать все его части от речной границы распространения приливов до морской границы. К тому же трехмерность протекания процессов в эстуарии имеет огромное значение.

На рис. 1 представлены факторы, определяющие уровенный режим устьевой области реки эстуарного типа, действующие со стороны моря и со стороны реки и меняющиеся во времени и в пространстве.



Рис. 1. Факторы, определяющие уровненный режим устьевой области эстуарного типа.

Под влиянием мелководья, уклона дна и постоянного речного стока уменьшается скорость распространения приливной волны и создается значительная разность в скоростях движения ее гребня и подошвы. По мере распространения вверх по реке волна деформируется, расстояние между гребнем и подошвой постепенно уменьшается, передний склон волны становится круче и время падения уровня значительно увеличивается по сравнению со временем роста.

В качестве примера этого явления можно привести наблюдения на р. Мезени (таблица 1) [4].

Таблица 1. Элементы прилива на р. Мезени

Пункт	Расстояние от устья, км	Продолжительность				Величина прилива, м	
		роста,		падения,		июль	февраль
		ч	мин	ч	мин		
Пыя	10	03	54	08	29	5,68	4,70
Каменка	26	02	54	09	34	3,56	0,68

Наблюдается неравномерность затухания прилива вверх по реке. Существенное влияние на колебания величин прилива оказывает изменение уклонов русла и площади поперечного сечения потока, особенно постепенное сужение эстуария, а также расположение боковых притоков, влияющих на общую мощность речного потока. С увеличением речного стока величина прилива уменьшается при общем подъеме уровня волновой поверхности. Однако взаимосвязь этих явлений чрезвычайно сложна и специфична для каждой реки.

Особенностью эстуариев является также то, что если касательные к фарватеру двух следующих друг за другом участков русла не совпадают, то пути приливных и отливных течений могут быть различными. В результате можно выделить участки, на одной границе которых результирующее движение направлено в сторону моря, а на другой – в сторону суши.

Также значительное влияние на приливные колебания уровня воды в эстуарии оказывают сгонно-нагонные явления. Взаимодействие между приливом и нагоном влияет также на высоту и время наступления пиков. Взаимодействие между приливными и сгонно-нагонными колебаниями в значительной мере зависит от соотношения их амплитуд.

Большое влияние на элементы прилива оказывает ледяной покров. В связи с потерей энергии приливной волны на трение, изгибание и другие деформации ледяного покрова значительно уменьшаются амплитуды прилива и скорости приливных течений. Это явление подтверждается данными наблюдений на р. Мезени (таблица 1). При наблюдениях у Пыи были подвижные льды, у Каменки – неподвижные.

В эстуариях крупных рек Российской Арктики также необходимо учитывать влияние вращения Земли, которое представлено силой Кориолиса [3]. В северном полушарии сила Кориолиса отклоняет течение вправо. Следовательно, во время отлива течение будет

отклоняться вправо, а вот время прилива – влево, если смотреть в сторону моря. Сила Кориолиса имеет существенное значение при исследовании режима наносов.

Соответственно, в пределах устьевой области реки эстуарного типа приходится встречаться со сложным уровенным режимом, обусловленным одновременным воздействием реки и прилегающей к ней части моря, а также вращением Земли, что создает ряд особенностей при организации и ведении системы мониторинга в этих районах.

### **Литература**

1. Иванов В.В., Третьяков М.В. Состояние и проблемы совершенствования государственного мониторинга устьевых областей рек Арктической зоны Российской Федерации // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017. № 1 (94). – С. 26-30.
2. Иванов В.В., Третьяков М.В. Проблемы восстановления и развития системы гидрометеорологических наблюдений в устьевых областях рек Арктической зоны как основы государственного мониторинга этих объектов // Общество. Среда. Развитие. Вып. 4, 2015. СПб.: ЦНИТ «Астерион». – С. 151-160.
3. Мак-Доуэлл Д.М., О'Коннор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
4. Пересыпкин В.И. Аналитические методы учета колебаний уровня воды. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 288 с.



## ТРАДИЦИОННЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

В.Б. Сапунов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт – Петербург, Россия

## TRADITIONAL AND NON-TRADITIONAL METHODS FOR PREDICTION OF NATURAL DISASTERS

V.B. Sapunov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

*С начала 21 века количество стихийных бедствий и катастроф в мире увеличилось приблизительно в 2 раза. Ущерб от катастроф обходится в среднем в 230 млрд. долларов в год. Число погибших в катастрофах достигало 230 000 – миллиона в год. Наряду с землетрясениями, цунами, наводнениями, выросло и число лесных и степных пожаров. Только в России ущерб от них достигал 160 миллиардов рублей в год. Причины этого трагического роста неизвестны. Безусловно, что роль антропогенного фактора здесь невелика. В основе этих процессов лежат не вполне известные глобальные, геофизические и космические причины. Большое значение имеют многолетние не до конца изученные природные циклы. Появились данные, что на состояние поверхности планеты влияют процессы в земном ядре. Понимание причин и предсказание трагических событий требует комплексных усилий на основе синтеза разных естественных наук, а также гуманитарных, располагающих сведениями о катаклизмах прошлого. Могут иметь значение и не традиционные разделы естествознания, изучающие процессы на грани известного и неизвестного. В частности, криптобиология, изучающая редкие и проблематичные биологические объекты и явления.*

*Since the beginning of the 21st century the number of disasters in the world increased approximately two times. Damage from disasters cost an average of 230 billion dollars per year. Recently, the death toll in the disaster has reached 230,000 - a million per year. Along with earthquakes, tsunamis, floods, and increased the number of forest and steppe fires. Only in Russia damage from them has reached 160 billion rubles a year. The reasons for this tragic rostrum are unknown. Of course, the role of human factor here is low. These processes are not fully known global, geophysical and space reasons. Of great importance are perennial not until the end of the study of natural cycles. There is evidence that the state of the planet's surface affect processes in the Earth's core. Understanding the causes and prediction of the tragic events require an integrated effort based on the synthesis of various natural sciences as well as history which has knowledge about the disasters of the past. Non-traditional areas of natural science, to study the process on the brink of the known and the unknown, may become fruitful. In particular, cryptobiology as studying of problematic biological objects and phenomena*

С начала XXI века количество стихийных бедствий и катастроф в мире увеличилось приблизительно в 2 раза [1,2]. Ущерб от катастроф обходится в среднем в 230 млрд. долларов в год. Только в 2013 г. страховые компании выплатили застрахованным жертвам катастроф 40 млрд. долларов. Последнее время число погибших в катастрофах достигало 230 000 – миллиона в год. Наряду с землетрясениями, цунами, наводнениями, выросло и число лесных и степных пожаров. Только в России ущерб от них достигал в 2015 – 2017 гг. 160 миллиардов рублей в год. Причины этого трагического роста неизвестны. Есть предположение, чем лесные пожары активизировались в результате выхода метана из земной коры. Безусловно, что роль антропогенного фактора здесь невелика [3,4]. В основе этих процессов лежат не вполне известные глобальные, геофизические и космические причины [5]. Большое значение имеют многолетние не до конца изученные природные циклы. Появились данные, что на состояние поверхности планеты влияют процессы в земном ядре [6,7].

Понимание причин и предсказание трагических событий требует комплексных усилий на основе синтеза разных естественных наук, а также гуманитарных, располагающих сведениями о катаклизмах прошлого. Могут иметь значение и не традиционные разделы естествознания, изучающие процессы на грани известного и неизвестного. В частности, криптобиология, изучающая редкие и проблематичные биологические объекты и явления [8,9].

Фактором, снижающим риск, является постоянный мониторинг, включающий как дистанционные, так и контактные методы [10]. Вместе с тем его возможности ограничены. Во-первых, в силу дороговизны глобального, особенно, космического мониторинга. Во-вторых, в

силу долгосрочной непрогнозируемости на уровне современных знаний многих процессов, в том числе, метеорологических. Но есть и не вполне традиционные подходы, основанные на процессах, совершенно реальных, но известных современной науке лишь в первом приближении.

В декабре 2004 года на страны Юго-Восточной Азии обрушилось страшное бедствие – цунами (Рис. 1). Число погибших – 250 000 человек. С учетом пропавших без вести это значение достигает миллиона. Животные в этом катаклизме практически не погибли. Почти все они – как дикие, так и домашние – заблаговременно покинули опасную зону.

В мае 2005 года был осуществлен сброс избыточной воды с Кубанского моря. При этом была нарушена техника безопасности. Створы плотины Кубанской ГЭС открывали не несколько часов, как положено по инструкции, а двадцать минут. Образовалась рукотворная цунами, которая смыла несколько поселков. Животные не пострадали – они успели покинуть опасную зону.

Цунами и землетрясения могут иметься физические предшественники – инфразвуки от подвижек земной коры, выходящий из трещин в литосфере радон. Но какие физические факторы, предшествующие людскому головотяпству, могли дать сигнал животным на Кубани?

Еще один пример. Участники ядерных испытаний свидетельствуют – за сутки до взрыва животные убегают с территории полигона [11]. Момент взрыва – военная тайна. Как её узнают бессловесные твари?

Можно добавить, что перед падением Челябинского метеорита 2013 г. в Челябинске фиксировалось аномальное поведение животных [12].



Рис. 1. Последствия цунами.

Значит, животные обладают способностью предсказывать будущее [13]. Касается это только очень значимых, катастрофических событий. Способность к ясновидению и проскопии не абсолютна. В конечном итоге животные, как и люди, погибают от тех или иных причин.

В какой-то степени способность предсказывать катастрофы есть и у людей, хотя выражена слабее, чем у зверей. Известно, что корабли, коим предстоит утонуть и самолеты, должны разбиться, в среднем недозаполнены на 15 %. Число отказов от рейсов в случае будущей катастрофы повышено [3]. Значит, и люди могут предчувствовать будущее. Но способность выражена не у всех и намного слабее, чем у животных. У моряков есть поверье – если крысы покидают перед плаванием корабль, то он, скорее всего, утонет. Недавно были выполнены работы с целью проверить, насколько это соответствует истине [14]. Основной материал – рассекреченные данные о потопленных кораблях северных конвоев периода Великой отечественной войны. В военное время, безусловно, такого сорта выборка более значительна и репрезентативна, чем в мирное. Вывод – это матросское поверье срабатывает с достоверной вероятностью.

Важнейший абиотический фактор, физическая природа которого до сих пор не ясна - время. Биосфера постоянно находится в его потоке. Сущность времени изучалась философией и, в меньшей мере физикой. На сегодняшний день однозначного понимания категории времени нет. Одним из ученых, который смог добиться некоторых успехов в изучении времени, был Николай Александрович Козырев (1908–1983). Он посвятил свою жизнь изучению феномена времени и попытке систематизировать знания о нем как физической субстанции. Вот основные постулаты его теории.

1. Время – суть физическая субстанция, аналогичная полю.
2. Время существует во всей вселенной.
3. Информация в поле времени распространяется с бесконечной скоростью.
4. В известных пределах возможно предсказание будущего и получение информации из прошлого.

5. Детерминация событий носит размытый характер [15].

Общепризнанной и законченной теории времени он не создал. Уровень науки XX века не позволил такой теории появиться на свет. Николай Александрович лишь наметил пути создания обобщающей теории, которая, может, будет создана его последователями в XXI веке. Козырев не имел специальных биологических познаний, однако, обладая широтой мышления истинного ученого, он понял значение биологической науки в изучении и осмысления феномена времени. Он писал "... свойства времени должны иметь особенное значение в биологических процессах... Его течение и свойства связывают весь мир в единое целое и могут осуществлять воздействие друг на друга явлений, между которыми нет прямых материальных связей, что может объяснить факты взаимодействия биологических объектов, находящихся на удалении и изолированных друг от друга." [15, с. 384].

Понимая, что феномен времени не может изучаться в рамках одной физики, Козырев поддерживал долгие и плодотворные контакты с представителями биологических и гуманитарных наук. Ученый и его коллеги не ограничились чистой теорией. Были созданы приборы, реагирующие на энергетические мощные процессы будущего. Простейший – крутильные весы – сверхлегкий рычаг на сверхтонкой нити. Их колебания являются показателем активизации в хроно-информационном поле и происходят перед значительными выбросами энергии.

Традиционная физика признает существование нескольких полей. Это поля (или одно поле) микромира, т. е. ядерных взаимодействий. Это – два поля макромира – электромагнитное и гравитационное. Козырев в своих теоретических выкладках и экспериментах нащупал третье поле – поле времени (хроно-информационное). Через него может мгновенно и точно передаваться информация в пространстве. Может передаваться информация и во времени – из прошлого или будущего, однако, в размытом виде. Чем менее энергетически значимым является событие, чем дальше оно отдалено во времени, тем менее точной становится передаваемая информация.

На уровне науки XXI века можно предположить, что живые системы взаимодействуют с полем времени, приобретая свойства ясновидения, телепатии и способности предсказывать будущее. У людей эта способность выражена слабо. У животных – сильнее.

Несмотря на недоказанность этих предположений, рост климатической нестабильности и числа катастроф требует не пренебрегать никакими возможностями снизить людские, материальные и природные потери от экстремальных ситуаций в системе человек-природы. В связи с этим выдвигаются следующие предложения:

1. Создать в дополнение к традиционному мониторингу систему мониторинга за поведением животных, которые могут предчувствовать катастрофы естественного и антропогенного генезиса на основе свойств проскопии.
2. Провести лабораторные исследования физических свойств времени на основе идей Н. А. Козырева и других российских ученых.
3. Использовать для предсказаний существующие, но мало распространенные приборы, такие, как крутильные весы.
4. Разработать теоретическую основу возможности проскопии, т.е. предсказания отдельных энергетически значимых событий будущего.

## Литература

1. Global catastrophic risks. Ed. N. Bostrom and M. Circvic. Oxford univ press, 2012, 550 p.
2. www.egu2017.
3. Сапунов В.Б. Грядет глобальное похолодание. М., АСТ, 2011, 249 с.
4. Шевчук Ю. Среди вампиров и ежиков. История зеленого движения в нашей стране глазами ее участника. С-Пб, «Инкери», 2016, 120 с.
5. Баренбаум А.А., Галактика, Солнечная система, Земля. М., Геос, 2002, 394 с.
6. Попов А.А., Ядро Земли. Смоленск, Маджента, 2012, 26 с.
7. Sapunov V.B. On the nature of gravity and possible change of Earth mass during geological time // Geophysical Res Abstracts, v. 17, EGU 2015 – 300, 2015.
8. Сапунов В.Б. Таинственные способности контактов человека с окружающей средой // Основы антропоэкологии, С-Пб, Химиздат, 2000, с. 129 – 138.
9. Sapunov V.B. Prediction of natural disasters basing on chrono-and-information field characters // Geophysical Research Abstract, Vol. 15, EGU 2013-53.
10. 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.
11. Шевченко Т. Из эпицентра ядерных испытаний // От Невы до Ангары, Лилия, 2003, с. 223 – 240.
12. Галимов Э. Челябинский метеорит // Наука в России, 2013, №4, с. 21 – 26.
13. Straser V. Some anomalous behaviour of vertebrates and insects preceding M5+ earthquakes in the NorthWestern Apennines (Italy) // Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-1948, 2013.
14. Зарубицкий К.С. Квантово-механическое единство мира: физика и метафизика. Арктический взгляд на устойчивое развитие России и человечества. Т. 3, Кн. 2, С-Пб, ГПА, 2011, с. 424 – 434.
15. Козырев Н.А. Избранные труды, Л., Изд. ЛГУ, 1991, 448 с.

## ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МАЛОВОДЬЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ Р. ВОЛГИ

А.В. Селезнева<sup>1</sup>, канд. техн. наук, К.В. Беспалова<sup>1</sup>, канд. хим. наук, В.А. Селезнев<sup>1</sup>, д-р техн. наук  
<sup>1</sup>Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

## EXTREMELY SMALL WATER AND THEIR INFLUENCE THE ECOLOGICAL CONDITION OF LARGE RESERVOIRS OF THE RIVER VOLGA

A.V. Selezneva<sup>1</sup>, K.V. Bepalova<sup>1</sup>, Cand. Sc, V.A. Seleznev<sup>1</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russia

*На реке Волга в створе Жигулевской плотины выполнен анализ данных многолетних ежемесячных наблюдений за расходами воды. Определены экстремально маловодные и многоводные годы. Дана оценка влияния минимальных расходов воды на экологическое состояние и качество воды Куйбышевского водохранилища.*

*The Volga River at the Zhigulevskoj dam data analyzed the multi-year monthly observations of water costs. Defined extremely dry and humid years. Assess the impact of the minimum expenditures on ecological condition of water and water quality of the Kuibyshev reservoir.*

### **Введение.**

Массовое развитие водорослей на водохранилищах Средней и Нижней Волги усиливается в маловодные годы и оказывает негативное влияние на формирование качества воды, осложняя использование водоемов в качестве источников питьевого водоснабжения. [1, 2, 3]. На водохранилищах Нижней Волги наибольшая биомасса водорослей (2,61 г/м<sup>3</sup>) наблюдалась в августе экстремально маловодного 1975 года [4]. Связь между «цветением» воды и водностью отмечалась на Волге и до создания каскада водохранилищ. До зарегулирования р. Волги к экстремально маловодным годам следует отнести: 1901, 1921, 1937, 1938 [5]. По свидетельству заведующего Волжской биостанцией В.П. Зыкова, 1901 г. оказался крайне маловодным. «К концу июля часть Волги против г. Саратова превратилась в замкнутый бассейн, где в огромном количестве развивались сине-зеленые водоросли. Огромным их количество было и в коренной Волге» [6]. Благодаря аномальным погодным условиям, сложившимся в Волжском бассейне летом 2010 г., представилась возможность количественно оценить влияние экстремального маловодья на увеличение биомассы водорослей и ухудшение качества воды.

### **Объект и методы исследований.**

В качестве объекта исследования выбрано Куйбышевское водохранилище, самое крупное в Волжско-Камском каскаде. Жигулевский (Куйбышевский) гидроузел введен в эксплуатацию в 1958 г. Перекрытие русла р. Волги состоялось 31 октября 1955 г. До отметки нормального подпорного уровня (53,0 м БС) водохранилище впервые было наполнено 10 июля 1957 года. Куйбышевское водохранилище является основным регулятором водного стока на Нижней Волге.

Общая площадь водосбора водохранилища составляет 1187,3 км<sup>2</sup>, а частная площадь - 228,5 км<sup>2</sup>. Протяженность водохранилища по р. Волга составляет 508 км, а по р. Кама - 280 км. Полный объем водохранилища - 57,3 км<sup>3</sup>, полезный - 33,9 км<sup>3</sup>. Водохранилище контролирует 97 % водных ресурсов Волги и дает возможность проводить в современных условиях внутригодовое распределение стока Волги в створе Жигулевского гидроузла. Средний многолетний водный сток в створе плотины составляет 244,0 км<sup>3</sup> [7]. Полезный объем водохранилища позволяет осуществлять неполное годовое (сезонное), недельное и суточное регулирование стока в интересах водопользователей. Для многолетнего регулирования стока емкость Куйбышевского водохранилища недостаточна.

Наблюдения за качеством воды в период 2009–2010 гг. проводились ежемесячно лабораторией мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН. Стационарный пункт наблюдений располагался на 2,5 км ниже по течению от Жигулевской плотины. Отбор проб воды осуществляли по следующим показателям: температура воды, взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), перманганатная окисляемость (ПО), растворенный кислород (O<sub>2</sub>), нитраты (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) и фосфаты (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Для учета биомассы водорослей

определяли хлорофилл-«а». Все показатели качества вод определялись в соответствии с действующими нормативными документами Росгидромета.

#### Результаты исследований.

Выполнен статистический анализ данных многолетних наблюдений за расходами воды р. Волги в створе Жигулевской плотины (замыкающий створ Куйбышевского водохранилища). Приводится расчет обеспеченности средних годовых расходов воды р. Волга (таблица 1). Для расчета использовались данные о средних месячных расходах воды за весь период существования водохранилища с 1958 по 2017 год включительно.

Таблица 1. Средние годовые расходы (м<sup>3</sup>/с) и их эмпирическая обеспеченность (%)

Год	Средний годовой расход	Расход воды и его обеспеченность		Год	Средний годовой расход	Расход воды и его обеспеченность	
		м <sup>3</sup> /с	%			м <sup>3</sup> /с	%
1958	8528	10430	1,67	1988	6813	7654	51,67
1959	7113	10377	3,33	1989	6757	7466	53,33
1960	6526	10100	5,00	1990	10431	7453	55,00
1961	7350	10056	6,67	1991	10056	7354	56,67
1962	7660	9270	8,33	1992	7833	7350	58,33
1963	8112	9190	10,00	1993	8947	7280	60,00
1964	6568	9070	11,67	1994	10376	7190	61,67
1965	6973	9030	13,33	1995	8488	7176	63,33
1966	9274	9020	15,00	1996	5369	7170	65,00
1967	5785	8946	16,67	1997	6766	7110	66,67
1968	7040	8946	18,33	1998	7815	7060	68,33
1969	7060	8890	20,00	1999	7902	7040	70,00
1970	8453	8750	21,67	2000	7354	6970	71,67
1971	7188	8560	23,33	2001	8466	6940	73,33
1972	6824	8500	25,00	2002	8086	6820	75,00
1973	5290	8488	26,67	2003	7673	6812	76,67
1974	8295	8466	28,33	2004	8203	6766	78,33
1975	5270	8450	30,00	2005	9033	6756	80,00
1976	5944	8440	31,67	2006	6469	6570	81,67
1977	5984	8320	33,33	2007	8892	6530	83,33
1978	8753	8300	35,00	2008	7654	6470	85,00
1979	10076	8200	36,67	2009	7448	6236	86,67
1980	7981	8110	38,33	2010	6187	6187	88,33
1981	9193	8086	40,00	2011	6159	6159	90,00
1982	7166	7980	41,67	2012	7466	5980	91,67
1983	7655	7902	43,33	2013	8500	5940	93,33
1984	7283	7833	45,00	2014	6940	5780	95,00
1985	9071	7670	46,67	2015	6236	5290	96,67
1986	9024	7660	48,33	2016	8320	5270	98,33
1987	8443	7660	50,00	2017	8946	4954	100,00

Выполнен статистический анализ данных многолетних наблюдений за расходами воды р. Волги, определены годы и значения экстремально маловодных среднегодовых и среднемесячных расходов воды с момента создания водохранилища по настоящее время.

Для маловодных лет различают слабое, среднее и экстремальное маловодье. «Слабое маловодье» характеризуется небольшими отклонениями стока от его средней многолетней величины (обеспеченность от 50 до 75%). «Среднее маловодье» имеет обеспеченность по стоку от 75 до 90%. Годы обеспеченностью свыше 90% относятся к «экстремальному маловодью».

Анализ результатов показал, что к экстремально маловодным годам следует отнести 1996 (4950 м<sup>3</sup>/с), 1975 (5270 м<sup>3</sup>/с) и 1973 (5290 м<sup>3</sup>/с) (таблица 2). Для экологических исследований

целесообразнее проводить анализ не по средним годовым, а по средним месячным значениям в активный вегетационный период (июль, август). Для июля к экстремально маловодным годам следует отнести 1973 (3550 м<sup>3</sup>/с), 1975 (4560 м<sup>3</sup>/с), 1960 (4260 м<sup>3</sup>/с), для августа - 2010 (2127 м<sup>3</sup>/с), 1973 (3730 м<sup>3</sup>/с) и 1975 (3860 м<sup>3</sup>/с). Для природно-технических водных объектов оценка водности по средним годовым значениям расходов воды не совпадает с оценкой водности по среднемесячным значениям.

Таблица 2. Расходы волжской воды в створе Жигулевской плотины, тыс. м<sup>3</sup>/с

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Экстремально маловодные годы												
1996	4,99	4,37	3,75	5,42	12,1	4,66	5,45	4,91	5,49	4,70	3,60	5,03
1975	5,69	5,74	5,22	6,54	11,0	4,78	4,56	3,86	3,70	4,13	3,85	4,17
1973	4,34	3,41	4,66	8,08	16,4	3,57	3,55	3,73	3,59	4,04	3,05	5,06
Год средней водности												
2009	7,39	6,93	5,52	12,2	16,3	6,74	6,02	6,27	5,63	5,46	5,13	5,80
Аномальный год по погодным условиям												
2010	5,77	5,66	5,08	7,95	17,9	7,35	5,26	2,13	4,36	4,25	4,10	4,46

Несмотря на то, что 2010 г. по средним годовым значениям характеризуется как год среднего маловодья (6187 м<sup>3</sup>/с), в августе этого года наблюдались наименьшие средние месячные расходы воды (2127 м<sup>3</sup>/с) за весь период наблюдений с 1958 по 2017 годы. По сравнению с августом среднего по водности года расход воды катастрофически сократился в 3 раза. Столь маленького среднемесячного расхода воды в августе не наблюдалось даже в экстремальные маловодные годы 1973 (3730 м<sup>3</sup>/с), 1975 (3860 м<sup>3</sup>/с) и 1996 (4954 м<sup>3</sup>/с). Катастрофически низкие расходы воды в августе 2010 г. были вызваны не только аномальными погодными условиями, но и не оптимальным сезонным регулированием водного стока.

По данным Всемирной метеорологической организации 2010 г. стал одним из самых жарких за всю историю метеонаблюдений в бассейне Средней и Нижней Волги. За 120 последних лет не было зафиксировано ни одного случая столь долгого антициклона. Гидродинамические процессы из-за штилевых условий были ослаблены, а регулирование водного стока осуществлялось в критических условиях.

Летом 2010 г. были созданы наиболее благоприятные условия для массового развития сине-зеленых водорослей или «цветения» воды за счет снижения динамики водных масс и повышения температуры воды. В результате биомасса водорослей, в основном, за счет интенсивного развития сине-зеленых водорослей, увеличилась в 2010 г. в несколько раз по сравнению с годом средней водности (2009 г.). В июне концентрация хлорофилла «а» выросла с 2,67 до 4,85 мкг/дм<sup>3</sup>, в июле – с 1,02 до 8,56 мкг/дм<sup>3</sup>, в августе – с 1,68 до 6,62 мкг/дм<sup>3</sup>. Следовательно, в летний период биомасса водорослей увеличилась в 2–8 раз, главным образом за счет развития сине-зеленых водорослей. Возникла угроза токсического загрязнения водохранилища из-за способности отдельных видов сине-зеленых водорослей продуцировать токсины.

Процесс «цветения» воды в аномальный год вызвал ухудшение качества воды по цветности, запаху, органическим веществам и растворенному кислороду. В августе 2009 г. концентрация растворенного кислорода в русловой части Волги составляла 6,5 мгО/дм<sup>3</sup>, а в августе 2010 г. уменьшилась до критического уровня и составила 4,8 мгО/дм<sup>3</sup>. Даже на русловом участке водохранилища с интенсивной аэрацией (2,5 км ниже Жигулевской плотины) наблюдалось не соответствие нормативным требованиям, предъявляемым к водоемам рыбохозяйственного назначения (в летний период концентрация растворенного кислорода в воде не должна опускаться ниже 6,0 мгО/дм<sup>3</sup>).

Концентрация органических веществ в воде водохранилища по БПК<sub>5</sub> и ПО существенно увеличилась в 2010 г. по сравнению с 2009 г. В июле содержание органических веществ выросло с 7,44 до 8,72 мгО/дм<sup>3</sup>, в августе - с 6,60 до 8,06 мгО/дм<sup>3</sup> (таблица 3).

Таблица 3. Концентрация органических веществ в волжской воде в 2009 и 2010 годы, мгО/дм<sup>3</sup>

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	6,80	6,16	8,96	7,04	6,56	6,72	7,44	6,60	7,00	6,70	6,40	6,56
2010	7,12	7,14	9,28	7,92	7,28	7,43	8,72	8,06	7,44	6,48	7,04	7,44

В годы экстремального маловодья процесс «цветения» воды нарушает биогеохимические циклы азота и фосфора и становится определяющим фактором формирования качества воды водохранилищ Средней и Нижней Волги. В период массового развития водорослей концентрация нитратов резко снижается. Чем больше биомасса водорослей, тем меньше концентрация нитратов в воде. В самый пик «цветения» воды концентрация нитратов в волжской воде снизилась в 2009 г. до 0,50 мгN/дм<sup>3</sup>, а в 2010 г - до 0,11 мгN/дм<sup>3</sup>. Важно отметить, что даже в аномальный по погодным условиям 2010 г. (крайне благоприятный для продуктивности фитопланктона) нитраты не становятся лимитирующим фактором развития сине-зеленых водорослей.

Наибольшая концентрация минерального фосфора (фосфаты) наблюдалась в зимний период. Летом концентрация резко падала и в июле наблюдалась минимальное значение 0,040 мгP/дм<sup>3</sup> (2009 г.) и 0,010 мгP/дм<sup>3</sup> (2010 г.). Это объясняется большим потреблением водорослями минерального фосфора в период их массового развития. В отсутствие «цветения» воды осенью и зимой концентрация фосфора увеличивается.

Наиболее отчетливо связь между концентрацией фосфатов и биомассой водорослей (по хлорофиллу «а») проявилась в аномальном 2010 году. Сезонные изменения концентрации минерального фосфора и хлорофилла «а» находятся в противофазе. И когда концентрация минерального фосфора становится менее 0,01 мгP/дм<sup>3</sup> развитие водорослей прекращается. Следовательно, содержание минерального фосфора в воде водохранилища является сдерживающим фактором развития сине-зеленых водорослей в летний период.

Интенсификация массового развития водорослей в условиях маловодья обуславливает общую деградацию водных экосистем и прекращение воспроизводства качественной природной воды на водохранилищах Волги. Ухудшение качества воды водохранилищ лимитирует водохозяйственную деятельность и приводит к возникновению проблем в питьевом и промышленном водоснабжении, рыбном хозяйстве и рекреации.

#### **Заключение.**

Проведенные исследования показывают, что аномальные погодные условия (жара и засуха) и режим регулирования расходов воды в критических условиях маловодья способствуют увеличению продуктивности водорослей. Следовательно, в условиях глобального потепления климата проблема антропогенного эвтрофирования и ухудшения качества воды крупных водохранилищ Волги будет только усиливаться. Особое внимание следует обратить на фосфорную нагрузку, которая формируется точечными и диффузными источниками загрязнения и лимитирует процесс «цветения» воды.

#### **Литература**

1. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 88-96.
2. Беспалова К.В., Селезнева А.В., Селезнев В.А. Устойчивое водоснабжение городского населения в условиях «цветения воды» на водохранилищах Волги (на примере г.о. Тольятти) // Водоочистка. 2016. № 6. С. 16-21.
3. Селезнев В.А., Селезнева А.В., Беспалова К.В. Водоснабжение из эвтрофированных источников (проблемы и пути решения). Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 6 (78). С. 66 -70.
4. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти, 1996.
5. Зайцева И.С. Маловодные годы в бассейне Волги: природные и антропогенные факторы. М.: Наука, 1990.
6. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Динамика фитопланктона Нижней Волги – от реки к каскаду водохранилищ. Тольятти, 2001.
7. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1991.



## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

И.В. Серых<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.Г. Костяной<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## CLIMATE CHANGES OF TEMPERATURE OF THE SOUTH-EAST PART OF THE BALTIC SEA

I.V. Serykh<sup>1</sup>, Cand. Sc., A.G. Kostianoy<sup>1</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Анализ среднемесячных данных температуры юго-восточной части Балтийского моря на поверхности и различных глубинах показал её существенный рост за последние десятилетия. На фоне этого роста обнаружены изменения температуры на периодах близким к 2, 8 и 14 годам. Выдвинуто предположение о связи этих изменений с Эль-Ниньо – Южным колебанием, Северо-Атлантическим колебанием и изменениями Северо-Атлантического течения, соответственно.*

*An analysis of the monthly averages of the temperature of the southeastern part of the Baltic Sea on the surface and various depths has shown its significant growth over the past decades. Against the backdrop of this growth, temperature changes were observed at periods close to 2, 8 and 14 years. It has been suggested that these changes are related to El Niño - Southern Oscillation, North Atlantic Oscillation and changes in the North Atlantic Current, respectively.*

### **Введение.**

Для современного климата Земли характерен положительный тренд изменений глобальной приповерхностной температуры, связанный, как сейчас принято считать, с антропогенным фактором увеличения содержания парниковых газов в атмосфере [1]. Наряду с этим, после удаления сезонного хода, наблюдаются кажущиеся хаотичными изменения температуры, вызванные, по всей видимости, следующими естественными причинами. Во-первых, воздействием на климатическую систему таких внешних квазипериодических сил как: 11-летнее изменение солнечной активности [2], 14-месячное чандлеровское колебание полюсов Земли [3, 4], и 18.6-летнее лунно-солнечная нутация оси вращения Земли [5]. Во-вторых, известными глобальными и региональными модами климатической изменчивости: Эль-Ниньо – Южное колебание [6, 7], Глобальная атмосферная осцилляция [8], Северо-Атлантическое колебание, Тихоокеанское мультидекадное колебание, Арктическое колебание и др. В-третьих, перераспределением тепла между верхним деятельным слоем океанов и атмосферой над континентами [9]. Все эти факторы могут оказывать влияние на региональные климатические изменения температуры юго-восточной части Балтийского моря, исследованию чего и посвящена данная работа.

### **Данные и методика.**

В работе анализировались среднемесячные и среднесуточные данные температуры на поверхности и различных глубинах Мирового океана и Балтийского моря из следующих источников. Среднемесячные данные температуры поверхности океана (ТПО) NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature v5 (ERSSTv5) на сетке  $2^\circ \times 2^\circ$  за период 1854-2017. Среднемесячные данные ТПО NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2 (OISSTv2) на сетке  $1^\circ \times 1^\circ$  за период 1982-2017 и среднесуточные данные аномалий ТПО NOAA OISSTv2 High Resolution Dataset на сетке  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  за период 1982-2017. Среднемесячные данные температуры на 50 различных глубинах от 2 до 700 метров гидрофизического ре-анализа Балтийского моря CMEMS-BAL-PUM-003-008 на сетке  $0.0500^\circ \times 0.08333^\circ$  за период 1989-2014.

Производилось усреднение данных в юго-восточной части Балтийского моря ( $54^\circ$ - $56^\circ$  с.ш.;  $18^\circ$ - $21^\circ$  в.д.) с учетом соответствующих масок суши из анализируемых источников. В каждом узле сетки рассчитывался средний сезонный ход за рассматриваемый период, который затем вычитался из исходных данных для получения аномалий относительно сезонного хода. Линейные тренды рассчитывались методом наименьших квадратов. Поскольку этот метод очень чувствителен к крайним условиям, то производилось варьирование временных интервалов для проверки полученных значений линейного тренда. Для сглаживания и полосовой фильтрации

применялись фильтр Баттерворта и скользящее усреднение. Вейвлетное преобразование производилось с применением вейвлетной функции Морле.

### Результаты.

Анализ линейных трендов показал существенный рост температуры Балтийского моря за последние 30-60 лет, вызванный, по всей видимости, глобальным потеплением климата. Так, например, по данным ERSSTv5 средняя температура поверхности этого региона за 1950-2017 увеличивалась в среднем на  $+0.15^{\circ}\text{C}$  за 10 лет (Рис. 1). В исследуемом регионе на фоне положительного линейного тренда наблюдается сильная межгодовая изменчивость. Имеются anomalно теплые (1973, 1975, 1990, 1997, 2002, 2006, 2008) и холодные (1963, 1965, 1979, 1987) годы. Наблюдались также аномалии температуры продолжительностью более года. Так, например, 1985-1987 годы были anomalно холодными, после чего последовал резкий климатический сдвиг, отмеченный в изменениях глобальной температуры воздуха. Кроме того, целое десятилетие, предшествующее этому сдвигу (начиная с 1976/77 гг.), было anomalно холодным, что также соответствует глобальному климатическому сдвигу, связанному со сменой фаз Тихоокеанского мультideкадного колебания, и изменениями теплосодержания верхнего деятельного слоя океана и потоков тепла из океана в атмосферу в Северной Атлантике [10]. Период отрицательных аномалий 1977-1987 сменился на теплый период. Это свидетельствует о влиянии планетарных и региональных мод климатической изменчивости на межгодовые изменения аномалий температуры Балтийского моря.

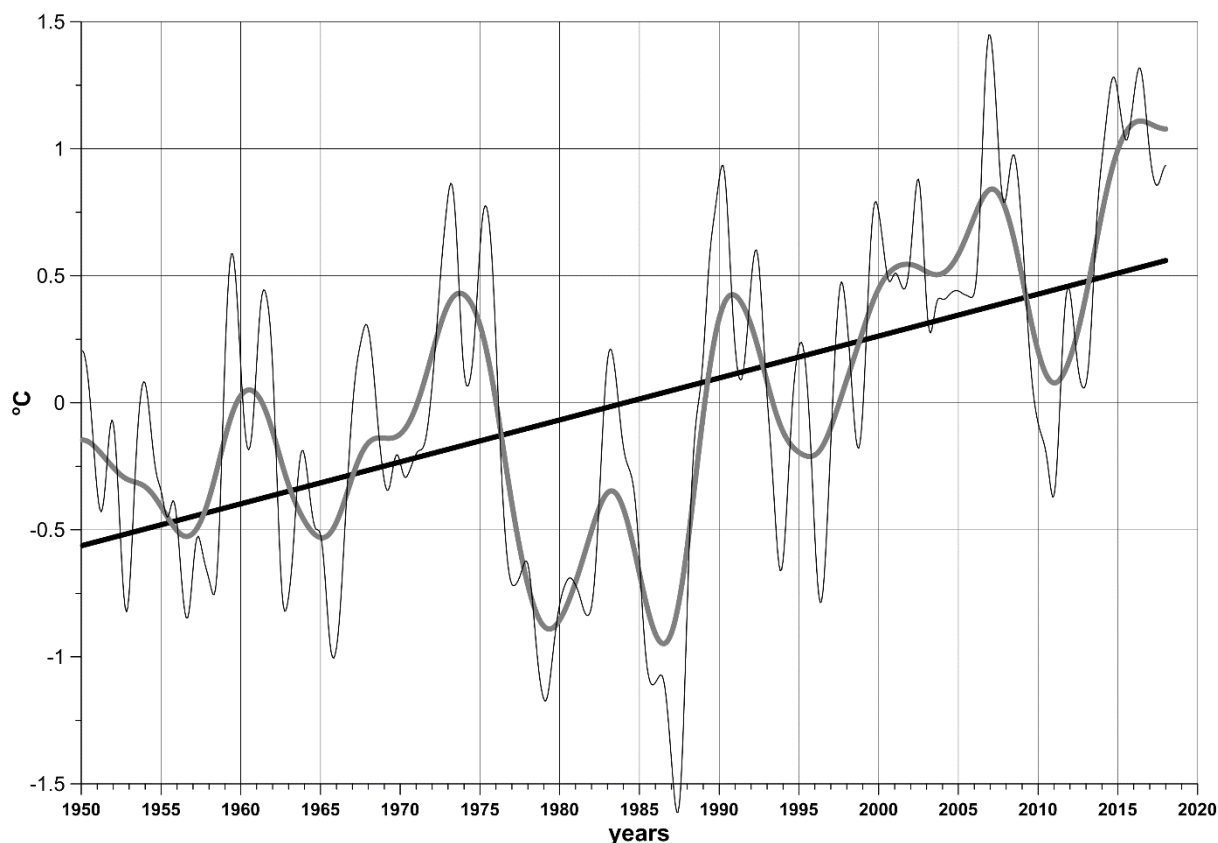


Рис. 1. Изменения средних аномалий (относительно сезонного хода) температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря ( $54^{\circ}$ - $56^{\circ}$  с.ш.;  $18^{\circ}$ - $21^{\circ}$  в.д.) сглаженных 2-летним и 7-летним фильтрами Баттерворта нижних частот и их линейный тренд. Используются среднемесячные данные ERSSTv5 за 1950-2017 гг.

Поскольку ряд средних аномалий температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря является нестационарным, к нему уместно применить технику вейвлетного анализа (Рис. 2). На диаграмме вейвлетного преобразования хорошо видна нестационарность колебания на периоде 2.4 года. Этот период хорошо известен как период квази-2-летнего колебания в тропиках, а также один из пиков на спектрах Эль-Ниньо – Южного колебания [3, 4].

В работах [7, 8] показано, что Эль-Ниньо – Южное колебание является одним из составляющих элементов Глобальной атмосферной осцилляции. Это объясняет связь столь отдаленных регионов, как тропики Тихого океана и Балтийское море. Эта связь также подтверждается присутствием наибольших энергий колебаний в 1997 году, когда наблюдалось сильнейшее событие Эль-Ниньо.

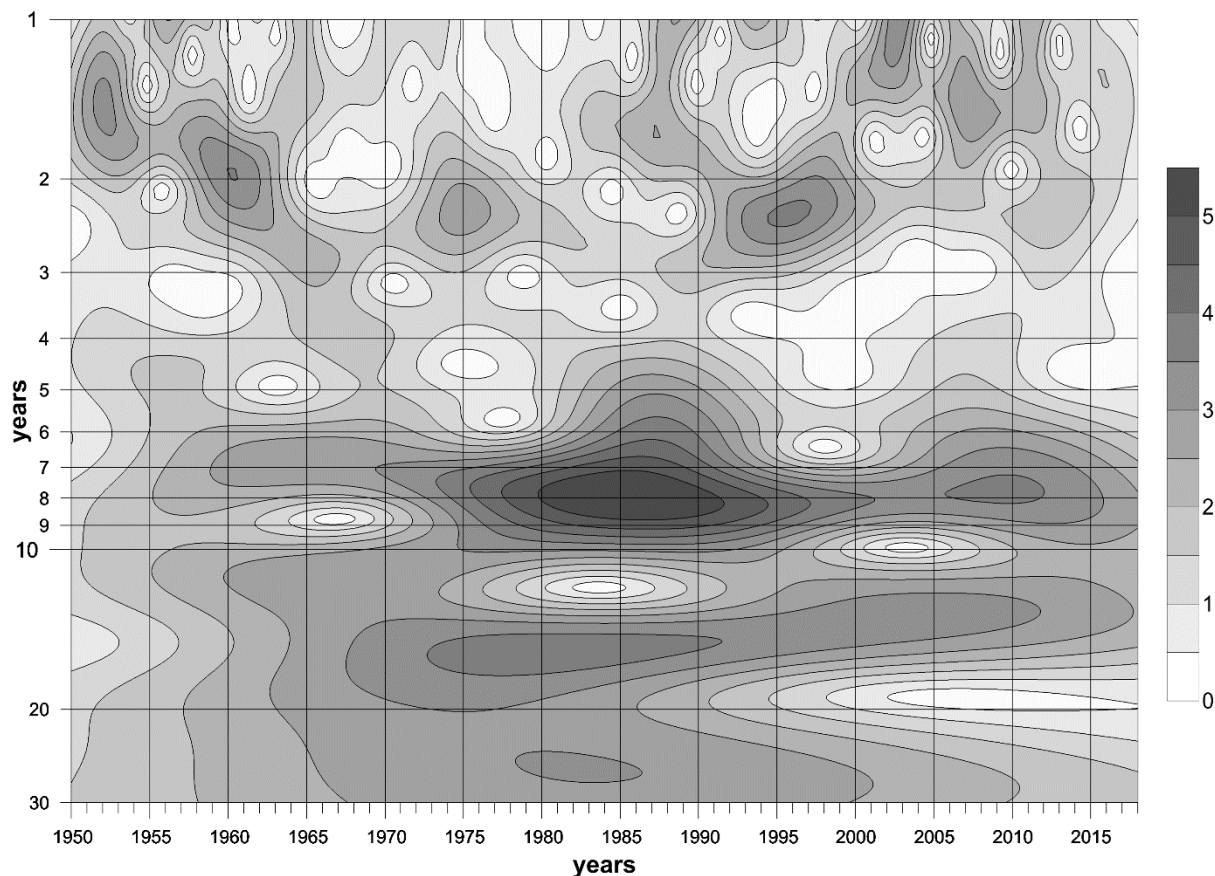


Рис. 2. Картина вейвлетного преобразования ряда средних аномалий (относительно сезонного хода) температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря ( $54^{\circ}$ - $56^{\circ}$  с.ш.;  $18^{\circ}$ - $21^{\circ}$  в.д.) по среднемесячным данным ERSSTv5 за 1950-2017 гг. Произведено предварительное нормирование ряда на его среднеквадратическое отклонение.

На Рис. 2 видно повышение энергий колебаний ТПО в полосе с центром на периоде 8 лет. Этот период характерен для Северо-Атлантического колебания, которое оказывает существенное влияние на температуру поверхности Балтийского моря, во многом определяя направление и интенсивность переноса тепла и влаги из Атлантического океана в исследуемый регион.

Следующая полоса повышения энергий колебаний приходится на период 14 лет, который характерен для колебаний ТПО в регионе Северо-Атлантического течения. Квази-8-летнее и квази-14-летнее колебания более стационарны чем квази-2-летнее, но и для них имеются периоды усиления и затухания. Так в 1950-1960 годах энергии этих колебаний достаточно низкие, что, впрочем, может быть объяснено малым количеством надежных данных наблюдений в этот период.

#### **Выводы.**

Исследование данных температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря показало её рост в среднем на  $+0.15^{\circ}\text{C}/10$  лет за период 1950-2017 гг. На фоне этого роста выделяются периоды с сильными положительными и отрицательными аномалиями. При кажущейся хаотичности межгодовой изменчивости, удалось выделить 3 периода колебаний, присущих температуре исследуемого региона: 2.4 года, связанный с влиянием Эль-Ниньо – Южного колебания, 8 лет, вызванный Северо-Атлантическим колебанием, и 14 лет, характерный

для изменений ТПО в регионе Северо-Атлантического течения. Принятие во внимание вышеперечисленных колебаний может помочь повысить качество прогноза межгодовой климатической изменчивости в регионе Балтийского моря.

### Литература

1. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of WG1 to the V Assessment Report of the IPCC // Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2013. 1535 pp.
2. Серых И.В. О динамике и структуре Глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности // Океанологические исследования. 2018а. Т. 46. № 1. С. 14-28.
3. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 44-52.
4. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О проявлениях движений полюсов Земли в ритмах Эль-Ниньо – Южного колебания // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 6. С. 716-719.
5. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли / СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. - 366 с.
6. Бышев В.И., Иванов Ю.А., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Скляр В.Е., Щербинин А.Д. О проявлении эффекта Эль-Ниньо в Индийском океане // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418. № 3. С. 391-396.
7. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О влиянии событий Эль-Ниньо на климатические характеристики Индоокеанского региона // Океанология. 2012. Т. 52. № 2. С. 165-175.
8. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Сонечкин Д.М. О статистической значимости и климатической роли Глобальной атмосферной осцилляции // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 179-185.
9. Byshev V.I., Neiman V.G., Anisimov M.V., Gusev A.V., Serykh I.V., Sidorova A.N., Figurkin A.L., Anisimov I.M. Multi-decadal oscillations of the ocean active upper-layer heat content // Pure and Applied Geophysics. 2017. Vol. 174. No. 7. P. 2863-2878.
10. Серых И.В. О влиянии Северо-Атлантического диполя на междекадные изменения климата России // Труды Государственного океанографического института. 2018б. № 218. С. 269-285.  
*Исследование поддержано грантом РФФ №14-50-00095.*

*The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 14-50-00095.*

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЁМКИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Д.И. Соболюк<sup>1</sup>, Г.А. Замарин<sup>1</sup>, Д.В. Драбенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## PERSPECTIVE METHODS OF CARRYING OUT AIR PHOTOGRAPHY WITH UNLIMITED AIRCRAFT

D.I. Sobotuk<sup>1</sup>, G.A. Zamarin<sup>1</sup>, D.V. Drabenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*В работе приведено сравнение существующих методов аэрофотосъёмки, использующихся в практической деятельности ФГБУ ААНИИ, вносятся предложения по усовершенствованию существующих методик.*

*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 микроавтобуса (согласно официальным заявлениям компании Geoscan). 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 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, Гидрометеоиздат, 1981.
2. Valenta C. Bathymetric Lidar, Atlanta, Georgia Tech Research Institute, 2015.

## СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА ГЛУБОКОГО

Д.И.Соколов<sup>1</sup>, О.Н.Ерина<sup>1</sup>, М.А.Терёшина<sup>1</sup>, Е.Н. Вилимович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

## PRESENTHYDROECOLOGICALREGIMEOFLAKE GLUBOKOE

D.I. Sokolov<sup>1</sup>, O.N. Erina<sup>1</sup>, M.A. Tereshina<sup>1</sup>, E.N. Vilimovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*Работа посвящена мониторингу озера Глубокое (Московская область) в 2017-2018 гг., включавшему исследование термического режима, содержания кислорода, хлорофилла, биогенных и органических веществ.*

*The work focuses on the monitoring of Lake Glubokoe (Moscow region) in 2017-2018 including study of temperature regime, content of oxygen, chlorophyll, biogenic and organic substances.*

### **Введение.**

Озеро Глубокое расположена на территории одноименного государственного природного заказника в Рузском районе Московской области. Водосбор озера отличается малой антропогенной нарушенностью, что для Московского региона в настоящее время является большой редкостью.

Максимальная длина озера составляет 1200 м, ширина – 850 м, максимальная глубина достигает 32 метров, средняя глубина – 9,3 м. Площадь зеркала составляет 593 тыс. м<sup>2</sup>, объем – около 5,5 млн м<sup>3</sup>, длина береговой линии – 3414 м. Вода в озеро поступает преимущественно из болот и канав, осадки составляют 74% от общего питания [1].

По термодинамическому режиму оз. Глубокое можно отнести к димиктическому типу. Озеро не имеет притоков, характеризуется малой минерализацией воды и невысокой биологической продуктивностью [2]. Берега Глубокое озера покрыты лесом, сильно заболочены. По происхождению озеро относят к ледниковому [3] или карстовому [4] типу.

Исследования озера начались в конце XIX в. и неразрывно связаны с деятельностью расположенной на его берегу гидробиологической станции имени Н.Ю. Зографа – первой в России, одной из первых и старейшей из действующих в мире. Первые наблюдения за температурой воды озера и гидрохимическими показателями датируются началом XX в. Результаты проводимых на озере исследований публикуются в сборниках «Трудов гидробиологической станции на Глубоком озере», в 2017 г. выпущен их одиннадцатый том [5].

В настоящее время станция является подразделением Института экологии и эволюции имени А.Н. Северцова и под руководством Н.М. Коровчинского продолжает наблюдения за температурным и кислородным режимом озера. Однако подавляющая часть работ на озере Глубоком посвящена всестороннему исследованию его гидробиологического режима; главным объектом для изучения всегда были планктон и прибрежная растительность. Между тем комплексных и систематических гидрологических и гидрохимических наблюдений до последнего времени не проводилось, поэтому гидроэкологический режим озера изучен несоизмеримо хуже по сравнению с его биотой.

### **Материалы и методы.**

Летом 2017 г. авторы организовали на озере Глубоком и осуществляют по сей день мониторинговые наблюдения за динамикой гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик. Столь подробные и регулярные наблюдения на озере реализованы впервые.

Мониторинг проводится с середины июня 2017 г. на рейдовой вертикали в центральной, самой глубоководной (около 30 м) части озера. Летом 2017 г. (июнь-август) наблюдения осуществляли 2 раза в месяц, осенью (сентябрь-октябрь) – 1 раз в месяц; в 2018 г. первый рейд выполнен в период ледостава в конце марта, последующие – с мая по настоящее время в среднем каждые 2 недели. Всего в 2017 г. выполнено 13 рейдов (включая ежесуточные рейды в первую неделю наблюдений), в 2018 г. (по октябрь включительно) – 15 рейдов, отобрано и проанализировано 140 проб воды.

Полевые работы включают измерение температуры и электропроводности воды портативным термокондуктометром YSI Pro 30, содержания растворенного в воде кислорода ( $O_2$ ) портативным оксиметром YSI Pro ODO с оптическим датчиком, величины рН портативным рН-метром YSI Pro 10, прозрачности воды по диску Секки, а также отбор проб для последующего гидрохимического анализа (из поверхностного, придонного слоя и на трех промежуточных характерных горизонтах в соответствии со стратификацией водной толщи).

В химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ в отобранных пробах определяли содержание взвешенных веществ и оптическую мутность воды (NTU), содержание биогенных элементов (минерального  $R_{мин}$  и валового  $R_{вал}$  фосфора, нитратов, минерального кремния; с 2018 г. также общего азота), косвенные показатели содержания органических веществ ОВ (химическое потребление кислорода ХПК, цветность ЦВ и перманганатную окисляемость ПО воды), концентрацию сульфатов, хлоридов, фторидов, гидрокарбонатов и карбонатов, а также содержание хлорофилла «а». Дополнительно определяли содержание растворенных форм фосфора в пробах, фильтрованных через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Содержание взвесей измеряли гравиметрическим методом, NTU – нефелометрическим. Содержание форм фосфора определяли фотометрическим методом Морфи-Райли, нитратов – методом ионной хроматографии, кремния – фотометрическим методом в виде желтой формы молибдодокремниевой кислоты. Величину ХПК определяли титриметрическим методом бихроматного окисления, ПО – методом Кубеля в кислой среде, ЦВ и общее содержание азота – фотометрическим методом. Концентрацию сульфатов, хлоридов, фторидов определяли методом ионной хроматографии, гидрокарбонатов и карбонатов – титриметрическим методом, содержание хлорофилла – спектрофотометрическим методом с экстрагированием в ацетоне.

Кроме того, в мае 2018 г. на 9 горизонтах рейдовой вертикали (0,5, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, и 26 м) были установлены логгеры температуры воды НОВО 64К Pendant (два верхних из них снабжены датчиками освещенности), а в августе 2018 г. – логгер PME Cyclops-7 для измерения содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое (по интенсивности его флуоресценции).

#### **Обсуждение результатов.**

По данным рейда 24 марта 2018 г. (в конце периода ледостава) в озере наблюдалась обратная стратификация: температура возрастала с глубиной от 0 °С у нижней границы льда до 2 °С на глубине 2 м и затем плавно до 3,4 °С у дна (рис. 1, а). В летний период водная масса в озере четко разделялась на три термические зоны, сохранившиеся до начала осени. Эпилимнион прогревался от 16-17 °С в мае – начале июня до 25 °С и более в начале августа, его интенсивное охлаждение начиналось в сентябре. Верхняя граница металимниона постепенно заглублялась от 2-3 м в середине мая до 7-8 м в начале осени и 10 м в конце октября. Нижняя граница металимниона заглублялась от 7-9 м в мае – начале июня до 12-14 м в октябре. Гиполимнион характеризовался практически неизменной температурой, составлявшей в 2017-18 гг. 4,7-4,9 °С (рис. 1, а).

Озеро Глубокое характеризуется низкой минерализацией, что обусловлено незначительной долей грунтового питания и отсутствием русловых притоков. В 2017-18 гг. электропроводность воды изменялась от 86 до 99 мкСм/см в основной толще воды и до 121 мкСм/см у дна (рис. 1, б). Минимальная электропроводность в эпилимнионе (86-89 мкСм/см) зафиксирована в мае – начале июня, что связано с опресняющим влиянием талых и дождевых вод, максимальная (92-93 мкСм/см) – в августе при интенсивном испарении и отсутствии атмосферных осадков. В гиполимнионе оба года отмечалось постепенное увеличение электропроводности к концу лета – началу осени до 100 мкСм/см и более (у дна в октябре она достигала 110-120 мкСм/см), что может быть связано с накоплением в глубоководной части озера грунтовых вод.

Содержание  $O_2$  в конце периода ледостава (24 марта 2018 г.) снижалось от 8,9 мг/л (62% насыщения) подо льдом и 5,0-6,5 мг/л (менее 50% нас.) в основной толще воды практически до аналитического нуля у дна (рис. 1, в). Летом концентрация  $O_2$  в эпилимнионе составляла 9,5-11,5 мг/л и более, определяясь прежде всего сочетанием двух основных факторов – температуры воды, влияющей на растворимость газов, и интенсивности продукционных процессов. Все лето (с мая по начало сентября) наблюдалось пересыщение эпилимниона кислородом, в периоды активного «цветения» в августе достигавшее 120-130% и более, причем максимальные концентрации  $O_2$  отмечены на глубине до 4 м, где, очевидно, условия развития



фитопланктонанаиболее благоприятны. К октябрю содержание  $O_2$  в эпилимнионе снижалось до 80-85%.

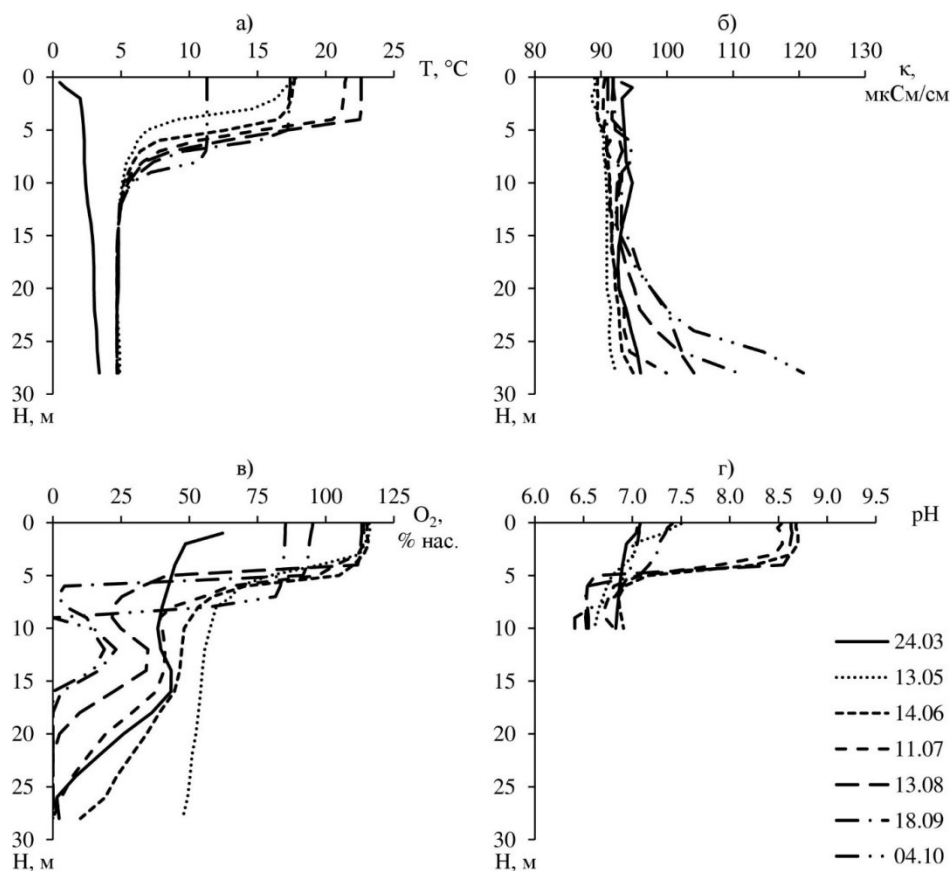


Рис. 1. Изменение температуры воды Т(а), удельной электропроводности  $\kappa$  (б), насыщения воды растворенным кислородом  $O_2$ (в) и величины рН (г) в озере Глубоком в 2018 г.

На верхней границе металимниона, где плотностной скачок служит «жидким дном» для оседающих органических и органоминеральных частичек, на окисление которых расходуется кислород, стабильно наблюдался локальный минимум содержания  $O_2$  (вплоть до полного истощения в октябре 2018 г.). В верхнем слое гипolimниона, куда эпизодическое поступление  $O_2$  возможно при нарушении стратификации (например, в результате интенсивного ветроволнового воздействия) и где темпы его расходования ниже, чем в более глубоких слоях, напротив, отмечался локальный максимум содержания  $O_2$ .

В гипolimнионе происходило постепенное истощение запасов  $O_2$  на протяжении летне-осеннего периода от 6,5-7,5 мг/л (50-60% нас.) в мае до нуля. Формирование анаксидной зоны начиналось в придонных слоях в середине июля – начале августа; к октябрю ее верхняя граница оба года поднималась до горизонта 16 м.

Для озера Глубокого характерна реакция среды от нейтральной до слабощелочной (рис. 1, г). В эпилимнионе по мере интенсификации фотосинтеза происходило увеличение рН от 7,0-7,5 в мае-июне до 8,8-9,2 в июле-августе; осенью величина рН вновь снижалась до 7,0-7,5 в условиях снижения активности фитопланктона и подкисляющего влияния атмосферных осадков. В толще гипolimниона вертикальное распределение рН весьма однородно; в конце зимы 2018 г. величина рН составляла 6,8-6,9, в мае снизилась до 6,5-6,7, в июне возросла до 6,9, затем постепенно снижалась и с августа до октября составляла 6,4-6,7.

Прозрачность воды изменялась в 2017 г. от 2,4 до 4,0 м, в 2018 г. – от 2,5 до 4,9 м. В середине мая 2018 г., когда обычно происходит развитие холодолюбивых видов фитопланктона, прозрачность составила 3,3 м. Максимальная прозрачность оба года зафиксирована в июне, в так называемую фазу «чистой воды», минимальная – в середине августа 2017 г. и в конце июля 2018 г., во время вспышек «цветения» летних групп водорослей (что подтверждается

максимальным за период наблюдений пересыщением воды кислородом и концентрациями хлорофилла «а» в пробах воды из эпилимниона в соответствующие даты).

Величины ПО и ХПК в эпилимнионе составляли соответственно от 9 и 18 мг О/л весной до 10-11 и 24-28 мг О/л летом; повышение ПО и ХПК может быть связано как со смывом аллохтонных ОВ с водосбора дождевым стоком, так и с продуцированием автохтонного ОВ биотой. В гипolimнионе ПО составляло в среднем 8-9 мг О/л, ХПК – 15-20 мг О/л. Вода озера характеризуется низкой цветностью (в среднем 15-20 град), за исключением придонного слоя, где ЦВ возрастала от 18-19 град в начале лета до 40 град и более осенью, что может быть связано с образованием темноокрашенной закиси железа в аноксидной зоне. Мутность воды в эпилимнионе изменялась от 1,5 NTU и менее в мае-июне до 5-10 NTU и более в июле-августе при активном развитии планктона. Основная толща гипolimниона характеризовалась минимальной мутностью (1,0-1,5 NTU), в придонном слое NTU возрастала от 2,0-2,5 в начале лета до 10-15 осенью (что, как и в случае ЦВ, вероятно, связано с развитием аноксии).

Количество  $P_{\text{вал}}$  и  $P_{\text{мин}}$  (преимущественно в растворенной форме) в эпилимнионе достигало соответственно 20-25 и 3-6 мкг/л весной, в фазу «чистой воды» и осенью, снижаясь при вспышках «цветения» до 15-20 и 1-2 мкг/л и менее вследствие потребления фосфора фитопланктоном (при увеличении доли органического фосфора преимущественно во взвешенном состоянии). В гипolimнионе концентрации  $P_{\text{вал}}$  составляли 15-25 мкг/л,  $P_{\text{мин}}$  – 2-4 мкг/л, у дна повышаясь к концу лета соответственно до 45 и 25 мкг/л и более, что связано, очевидно, с восстановлением из донных отложений в бескислородных условиях. Содержание кремния в эпилимнионе составляло 0,4-0,7 мг/л, в гипolimнионе – от 0,7-0,9 до 1,1 мг/л у дна. Концентрации общего азота в эпилимнионе возрастали от 0,5-0,6 мг/л в начале лета до 0,6-0,7 мг/л в августе-сентябре, в гипolimнионе увеличиваясь до 1,0 мг/л в придонном слое.

Содержание хлорофилла «а» в эпилимнионе колебалось от 1,5-2,0 мкг/л при неблагоприятных условиях развития фитопланктона (как правило, у поверхности) до 10-15 мкг/л и более в периоды интенсивного «цветения» (как правило, над слоем скачка); в гипolimнионе в среднем составляло 1,5-3,0 мкг/л, временами достигая 3-5 мкг/л и снижаясь у дна до 1 мкг/л и менее летом в фазу «чистой воды» и осенью.

#### **Заключение.**

Материалы мониторинга были использованы авторами для калибровки гидроэкологической модели озера Глубокого [6]. Продолжение мониторинга, и прежде всего сбор и анализ уникального массива данных с установленных логгеров, позволит детальнее изучить особенности современного гидрологического и гидрохимического режима озера при формировании, развитии и разрушении стратификации водной толщи в вегетационный период.

#### **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 Московский, Владимирской и Тверской губерний // Землеведение, 1922. Т. 25, Вып. 3-4.
5. Гидробиологическая станция на Глубоком озере: Труды / Под ред. д.б.н. Н.М. Коровчинского. Т. 11. (Надзаг.: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академия наук). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 206 с.
6. Вилимович Е.А., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И., Коровчинский Н.М. Оценка современного гидроэкологического состояния озера Глубокое (Московская область) // Избранные труды Междунар. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2018. Томск, 2018. С. 201-204.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-35-00691 мол а).*

*The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-35-00691 mol a).*

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В РЯДАХ ГОДОВОГО СТОКА РЕК

И.В. Соломонова<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

## STATISTICAL HETEROGENEITIES IN THE TIME SERIES OF THE ANNUAL RIVER RUNOFF

I.V. Solomonova<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Рассматриваются вопросы неоднородности в многолетних колебаниях речного стока. Показано, что возможны ситуации, когда при практически неизменном математическом ожидании имеют место значительные изменения дисперсий.*

*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.*

### **Введение.**

Одним из инструментов оценки влияния климата на речные гидрологические системы является исследование изменений статистических характеристик многолетних колебаний речного стока. Обычно, при этих исследованиях, ограничиваются попытками выявления трендов в стоковых рядах, либо, что бывает реже, в выявлении неоднородности математических ожиданий для различных временных интервалов наблюдений за стоком (см., например, [1–3] и другие).

Однако нестационарность гидроклиматических процессов может проявляться и в моментах распределения более высокого порядка, нежели математическое ожидание – в дисперсии и коэффициенте автокорреляции. При этом возможны ситуации, когда при практически неизменном математическом ожидании имеют место значительные изменения дисперсий и коэффициентов автокорреляций. Поэтому, для более полной характеристики неоднородности стоковых рядов, анализ только средней величины представляется недостаточным. В исследованиях различных авторов отмечены несколько типов изменений в процессах по первым (математическое ожидание) и по вторым (дисперсия, коэффициенте автокорреляции) моментам распределения (см., например, [3–8]): среднее меняется, дисперсия не меняется; меняется и среднее и дисперсия; и самый редкий случай, меняется дисперсия при неизменном среднем.

Ситуация, когда *не* происходит изменение средних значений стока рек, но происходит изменение дисперсии (размаха колебаний) может оказывать негативное влияние на качество жизни человека, например, создавая проблемы, связанные с наводнениями, или, наоборот, с дефицитом воды. Поэтому, выявление неоднородностей не только по первым, но и по вторым моментам, позволит получить более обоснованное представление о реакции многолетних колебаний речного стока на климатические изменения в речном бассейне.

### **Материалы и методы.**

Проанализированы многолетние ряды годовых величин речного стока Австралии (1), Венгрии (2), Великобритании (1), Германии (17), Канады (3), Китая (2), Нидерландов (1), Норвегии (2), России (12), Румынии (3), США (14), Финляндии (1), Франции (2), Чехии (2), Швеции (1), с продолжительностью наблюдений более 100 лет. Всего 64 поста наблюдений.

Реакция стока на изменения климата на водосборе выражается в неоднородности соответствующих рядов наблюдений. Такая зависимость может быть выявлена только для достаточно длительных интервалов времени, необходимых 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 стока, нами были разделены ряды наблюдений на две примерно равные части, с продолжительностью наблюдения в каждом интервале не менее 50 лет. Для этих интервалов получены средние значения, дисперсии и коэффициенты автокорреляции. Для оценки статистической значимости

различия в средних значениях и дисперсии использовались тесты Манна-Уитни и Фишера соответственно с уровнем значимости  $p=0.05$ . Нормальность распределения данных по стоку оценивалась в соответствии с тестом Шапиро-Уилка.

### Результаты.

Проведенный нами анализ данных многолетнего стока на 64 створах рек мира (Европы, России, Северной Америки и Австралии) показал, что почти в половине рассмотренных случаев (29 случаев из 64) обнаружены относительно длительные интервалы времени (в основном 50 и более лет), характеризующиеся существенным различием дисперсий многолетнего стока (на 30-60%) (рис. 1). При этом математические ожидания (средние значения) стока практически не менялись. В некоторых случаях заметно отличается и автокорреляция.

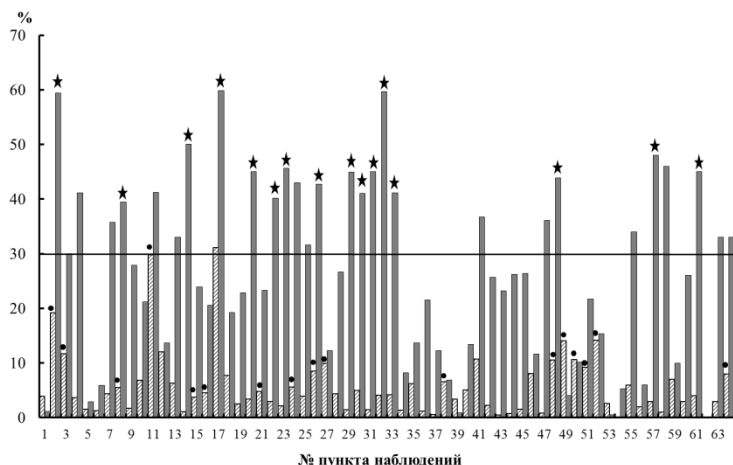


Рис. 1. Изменение средних значений (заштрихованный столбец) и дисперсий (серый) в рядах годового стока рек от одного интервала к другому. Линия – отметка порога в 30%, звездочка – дисперсии отличаются с вероятностью 95% (Фишер), точки – средние отличаются с вероятностью 95% (Манн-Уитни).

Более чем в половине случаев (в 17 из 29) тест Фишера показал, что различия в дисперсиях двух отрезков ряда реальны (рис. 2), при этом только в 4 случаях из 29 средние двух отрезков ряда отличаются (по Манну-Уитни). Различия в дисперсиях не зависят от близости распределения стока к нормальному распределению (рис. 2).

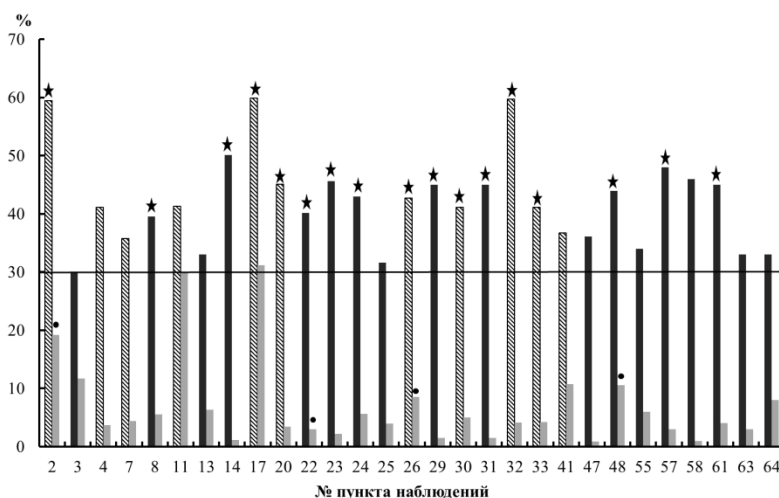


Рис. 2. Изменение средних значений (серый столбец) и дисперсий (черный) в рядах годового стока рек от одного интервала к другому (только пункты с изменениями дисперсий  $\geq 30\%$ ). Линия – отметка порога в 30%, звездочка – дисперсии отличаются с вероятностью 95% (Фишер),

точки – средние отличаются с вероятностью 95% (Манн-Уитни), штриховка – нарушена нормальность распределения с вероятностью 95% (Шапиро-Уилк).

Следует отметить, что чаще наблюдается обратная ситуация, т.е. когда имеет место неоднородность по математическому ожиданию при равенстве дисперсий (по Манну-Уитни и Фишеру соответственно) (рис. 1).

Такое же поведение, неизменность среднего и существенное изменение дисперсии, выявлено и в рядах осадков, например, в пунктах Anchorage (США), Stornoway и Lerwick (Великобритания).

Таким образом, ряды стока и осадков могут оказываться однородными по отношению к средним (математическим ожиданиям), но неоднородными по отношению к дисперсии и коэффициенту автокорреляции. Чтобы подтвердить отмеченную изменчивость дисперсии стока и осадков, и неизменность средних значений, необходимо провести совместное исследование неоднородности этих процессов. Если дисперсия процесса будет меняться не только в рядах стока, но и в рядах осадков, тогда можно считать реальность изменения дисперсии стока достаточно обоснованной.

Такое исследование проведено для бассейна р. Северная Двина [9, 10]. Оно подтвердило, что в многолетних колебаниях, как стока, так и осадков есть два относительно длительных интервала времени (1891–1949 гг. и 1950–2008 гг.), характеризующиеся существенным различием по вторым моментам – дисперсии и автокорреляции – при неизменном математическом ожидании. Во всех исходных рядах (стока, осадков) статистически значимого различия между средними величинами и дисперсиями с вероятностью 95% (по критериям Манна-Уитни и Фишера соответственно) для обоих интервалов не выявлено. Критерий Манна-Кендалла, примененный к скользящим 50-летним средним осадков и стока, также не выявил трендов в средних, но показал возможность с вероятностью 90% наличие трендов в рядах соответствующих дисперсий. Применение динамико-стохастической модели многолетних колебаний стока [11, 12] для С. Двины показало соответствие изменений статистических характеристик стока и осадков. Изменение режима стока и осадков могло произойти из-за смещения центров действия атмосферы во времени и пространстве.

Таким образом, можно констатировать, что есть случаи, когда внутри стационарного процесса по первому моменту (неизменное среднее от одного периода к другому) может наблюдаться нестационарность по второму моменту – дисперсии, а в некоторых случаях и коэффициенту автокорреляции.

Изменения стока рек, атмосферных осадков, температуры воздуха, многими авторами также связываются с климатическими изменениями: перестройкой атмосферной циркуляции; с изменениями в основных океанских течениях, например, Эль-Ниньо (ENSO); общим количеством облачности (см., например, [5, 6, 8, 13, 14, 16] и др.). Эти глобальные климатические изменения в XX веке начали проявлять с конца 1960-х–начала 1970-х гг. В докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [15] такие изменения отмечены даже раньше, с 1950-х годов. В наших исследованиях, в большинстве случаев, переломными между двумя интервалами как раз и оказывались 40-е–50-е годы.

#### **Выводы.**

В многолетних колебаниях стока рек Европы, России, Северной Америки и Австралии обнаружены относительно длительные интервалы времени (в основном 50 и более лет), характеризующиеся существенным различием дисперсий между ними. В некоторых случаях различается и автокорреляция. Таким образом, ряды наблюдений стока рек оказались неоднородными по вторым моментам. Особенностью выявленной неоднородности оказалось практическая неизменность средних величин стока для рассмотренных интервалов.

Такое же поведение, неизменность среднего и существенное изменение дисперсии, выявлено и в рядах осадков, например, в пунктах Anchorage (США), Stornoway и Lerwick (Великобритания).

Возможно, наблюдаемые тенденции связаны как с тенденциями в метеорологических переменных, так и с крупномасштабным океаническим и атмосферным процессом.

Для дальнейшего исследования, необходимо привлечь данные не только по стоку рек, но и по осадкам в бассейнах тех рек, где обнаружено отличие по вторым моментам. Если

подтвердится изменение характеристик и в рядах осадков, то можно с большей уверенностью говорить о влиянии климатического воздействия на сток рек и осадки в этих бассейнах. Подобное исследование, проведенное нами для бассейна реки Северная Двина, показало, что в многолетних колебаниях, как стока, так и осадков есть два относительно длительных интервала времени, характеризующиеся существенным различием по вторым моментам – дисперсии и автокорреляции при неизменном математическом ожидании.

Представляется, что выявление неоднородностей не только по первым, но и по вторым моментам, позволит получить более обоснованное представление о реакции многолетних колебаний речного стока на климатические изменения в речном бассейне.

### Литература

1. Burn D.H., Elnur M.A.H. Detection of hydrologic trends and variability//Journ. ofHydrol. 2002. V.255.P.107-122.
2. Hannaford J., Buys G., Stahl K., Tallaksen L.M. The influence of decadal-scale variability on trends in long European streamflow records//Hydrol. Earth System Sci.2013.V.17.P.2717-2733.
3. Sayemuzzaman M., Manoj M.K. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States//Atmospheric Research. 2014.V.137. P.183-194.
4. Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера». М.:ГЕОС, 2002. 231 с.
5. Голицын Г.С., Ефимова Л.К., Мохов И.И., Тихонов В.А., Хон В.Ч. Долгопериодные изменения режима температуры и осадков в Санкт – Петербурге по эмпирическим данным и модельные оценки региональных изменений в прошлом и будущем // Метеорология и гидрология. 2004. №8. С.5-17.
6. Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Анализ многолетних колебаний стока рек бассейна Северного ледовитого океана // Водные ресурсы.2005. Т.32, №6. С.645-652.
7. 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.С. 53-86.
8. 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.
9. 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.
10. 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. Санкт-Петербург: Научное издание, 2018. С.646-650.[Электронный ресурс]
11. Фролов А.В. Дискретная динамико-стохастическая модель многолетних колебаний речного стока//Водные ресурсы. 2011. Т.38, №5. С.538-547.
12. Фролов А.В. Оценка статистических характеристик многолетних колебаний испарения с крупных речных водосборов//Доклады академии наук. 2014. Т.458, №3. С.345-348.
13. Burn D.H. Hydrologic effects of climatic change in west-central Canada//Journal of Hydrology. 1994. V.160. P.53-70.
14. Pekarova P., Miklanek P., PekarJa. Long-term trends and runoff fluctuations of European rivers. 2006. Climate Variability and Change–Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308. P.520-525.
15. 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.
16. Tian Q., Prange M., Merkel U. Precipitation and temperature changes in the major Chinese river basins during 1957–2013 and links to sea surface temperature// Journal of Hydrology. 2016. V.536. P.208-221.

## МЕЛКОМАСШТАБНОЕ ЦУНАМИРАЙОНИРОВАНИЕ В РАЙОНЕ ПГТ. ЮЖНО-КУРИЛЬСК (О. КУНАШИР)

А.К. Стокоз<sup>1</sup>, Н.Л. Плинк<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## SMALL SCALE TSUNAMI ZONING OF YUZHNO-KURILSK (KUNASHIR ISLAND)

A.K. Stokoz<sup>1</sup>, N.L. Plink<sup>1</sup>, Cand.Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Выполнено цунамирайонирование в районе пгт. Южно-Курильск (о. Кунашир) при подходе волн южного и восточного направлений. Оценка максимальных значений вертикального заплеска произведено посредством двухмерной линейной модели наката длинной волны на сухой берег с применением условия подвижной твердой стенки.*

*Tsunami zoning of Yuzhno-Kurilsk (Kunashir Island) has been done for waves of southern and eastern directions. The maximum values of the vertical runup were estimated via two-dimensional linear long wave runup model using conditions of the moving boundary.*

От полуострова Камчатка через Курильские острова протягивается вулканическая цепь, известная как Тихоокеанское вулканическое огненное кольцо. В Тихоокеанском огненном кольце происходит большая часть мировых землетрясений, приводящих к образованию цунами. Главной задачей, созданной в России после катастрофического цунами 1952 года службы цунами является раннее обнаружение цунами и оповещение населения о возможной угрозе, направленное, прежде всего, на предотвращение человеческих жертв. Одним из инструментов, направленных на уменьшение ущерба от воздействия цунами, связанного с разрушением прибрежной инфраструктуры, капитальных строений и т.п., является процедура цунамирайонирования. Широко используемая в мировой практике процедура цунамирайонирования является основой для разработки программ комплексного развития прибрежных зон, планов территориального развития, правил застройки береговой полосы и других инструментов комплексного управления прибрежными зонами в контексте общего подхода к управлению рисками экстремальных подъемов уровня. Данные о высотах подходящих волн цунами или величинах зоны затопления, используемые для составления схем цунамирайонирования, характеризуют потенциальную угрозу и должны соответствовать наиболее неблагоприятным условиям образования и трансформации цунами. Окончательная схема цунамирайонирования должна давать оценку сверху и учитывать различные варианты подхода волны и вероятностную оценку параметров цунами (высоты, длины периода).

### **Исходные данные.**

Цунамирайонирование области пгт. Южно-Курильск производилось с использованием данных Шикотанского землетрясения 1994 года, характеризующегося магнитудой  $M=8.3$  балла и являющегося одним из сильнейших землетрясений, случившихся в исследуемой области, что позволяет рассматривать полученные результаты как оценку, близкую к оценке сверху. Землетрясение вызвало волну цунами, приведшую к затоплению значительных участков тихоокеанского побережья Курильских островов. Данные возмущения уровня свободной поверхности в эпицентре землетрясения доступны на официальном сайте Геологической службы США в разделе Землетрясения [1].

Данные о морфометрии дна и берега с разрешением 100 м находятся в открытом доступе на сайте Open Topography [2].

### **Методология.**

Для вычисления максимально возможных величин дальности заплеска расчет характеристик наката волны на берег был выполнен посредством двухмерной линейной модели с подвижной береговой границей. Численный расчет основан на решении системы линеаризованных уравнений теории мелкой воды, с использованием «шахматной» конечно-разностной сетки и аппроксимации явного вида. В качестве начальных условий задается мгновенное статическое возмущение уровня. В качестве граничных условий на жидкой границе применяется условие полного излучения, на твердой границе условие непротекания.

Решение задачи наката реализуется путем задания подвижной твердой (береговой) границы, положение которой определяется на основе вариационного принципа. Численная реализация процесса наката волны на сухой берег с использованием граничного условия вариационного типа была предварительно верифицирована на одномерной численной модели, а также двумерной численной модели с использованием простой модельной морфометрии.

#### Результаты.

Были произведены расчеты характеристик наката при подходе волны южного направления. Подобное распространение соответствует случаю зарождения цунами на юге Курило-Камчатского желоба.

Непосредственно при приближении к берегу под воздействием эффекта рефракции фронт волны принимает очертания близкие к форме береговой линии, что приводит к развороту фронта волны и нормальному подходу волны к берегу. Волна начинает взаимодействие с берегом на периферии и концентрируется в центральной части бухты.

В результате расчета наката волны были получены значения дальности зоны затопления сухого берега и величина вертикального заплеска для каждой точки побережья в разные моменты времени. На рисунке 1 графически изображено положение уреза спустя 15 минут после начала наката цунами на сухой берег. Данное положение уреза определяет зону максимального заплеска. В связи с особенностями рельефа берега и кривизны береговой линии откат происходит неравномерно по времени. Как видно из рисунка, при заданном направлении подхода волны цунами фаза отката сначала начинается в южной части бухты, а затем в северной.

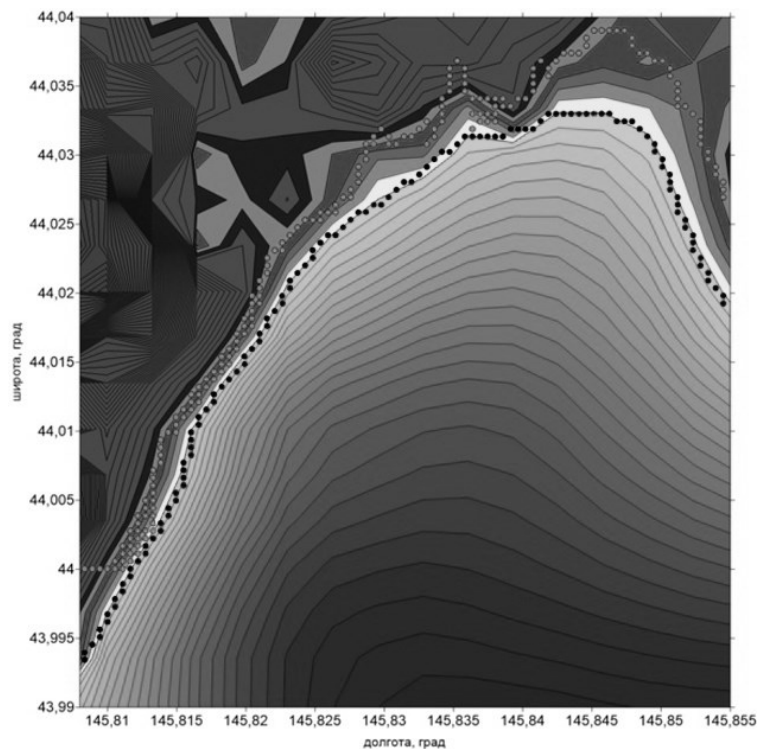


Рис. 1. Перемещение уреза при накате волны на побережье Южно-Курильской бухты. Точками схематично обозначено положение уреза: темными – в начальный момент времени, светлыми – спустя 15 минут.

Использованная двухмерная модель позволяет учитывать распространение волны в продольном и поперечном направлениях относительно подхода волны, особенности рельефа береговой линии, а также возможность интерференции падающих и отраженных волн в условиях сложной береговой линии, что приводит в некоторых случаях к уменьшению или увеличению критических значений.

В среднем по бухте критическое значение высоты вертикального заплеска колеблется от 4 до 6 м. При этом дальность заплеска в южной части бухты составляет 200 – 400 м, в центральной



части 500 – 800 м, а в северной достигает 1100 м. Наибольшая дальность заплеска достигается в северной части бухты, образованной Южно-Курильским перешейком.

При южном подходе пгт. Южно-Курильск в меньшей степени подвержен воздействию цунами в силу морфологии берега. Поэтому была смоделирована ситуация подхода волны цунами восточного направления.

При подходе волны восточного направления сильнее всего страдает мыс Заводской, на котором расположен пгт. Южно-Курильск. Северная часть Южно-Курильской бухты экранируется выступающим мысом.

На рисунке 2 приведена схема перемещения уреза при накате волны на берег мыса Заводской. При данном направлении подхода волны больше всего воздействию цунами подвергается оконечность выступающего мыса Заводской. На восточной оконечности мыса, высота вертикального заплеска достигает 8 м, но из-за сильного уклона рельефа берега волна не продвигается дальше 200 м. В северо-западном направлении величина уклона уменьшается, а воздействие волны ослабевает, в результате высота вертикального заплеска изменяется в северо-западном направлении от 5 до 3 м, а дальность заплеска от 400 до 300 м соответственно.

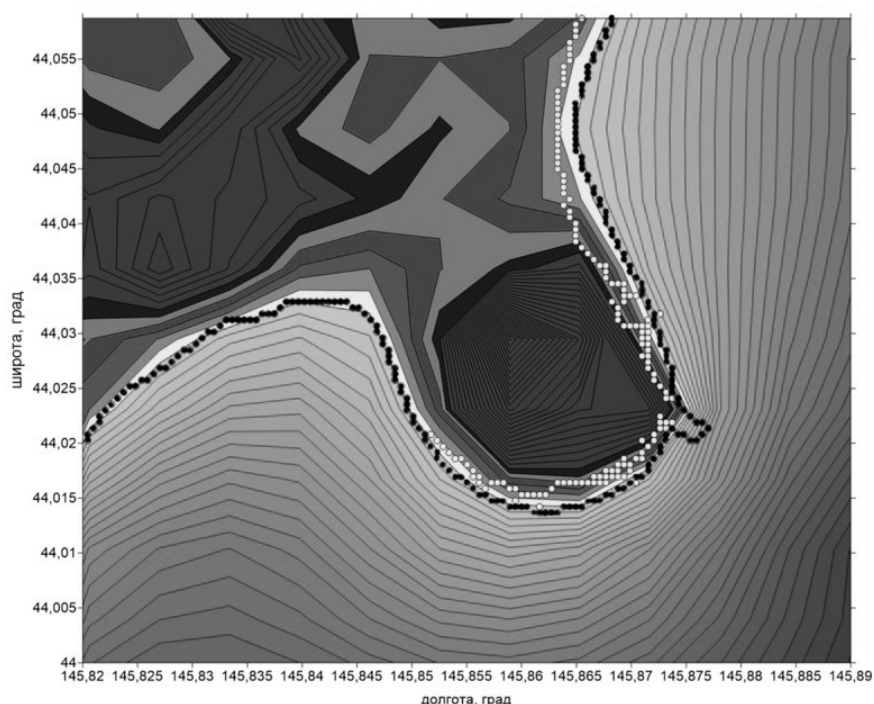


Рис. 2. Перемещение уреза при накате волны на побережье мыса Заводской пг. Южно-Курильск. Точками схематично обозначено положение уреза: темными – в начальный момент времени, светлыми – спустя 15 минут.

Полученные в ходе моделирования карты мелкомасштабного цунамирайонирования сопоставимы с приведенными в работе [3] картами цунамирайонирования южных Курильских островов на основе данных повторяемости раз в сто лет. Полученные в ходе моделирования карты распределения максимальных значений дальности заплеска демонстрируют более высокую степень детализации в условиях сложного рельефа.

### Литература

1. Significant Earthquakes [электронный ресурс] / U.S. Geological Survey. – Режим доступа: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>
2. Global Multi-Resolution Topography Data Synthesis острова [электронный ресурс] / Open Topography. – Режим доступа: <http://opentopo.sdsc.edu/>
3. Кайстренко В.М. Количественная оценка цунамиопасности и карты цунамирайонирования [текст] // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2017. Том 10. – № 3. – с. 39-55.

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ВЛАДИВОСТОКА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА

В. Р. Стрежалковская<sup>1</sup>, Е. Ю. Поталова<sup>2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия

## ANALYSIS OF VLADIVOSTOK MICROCLIMATE CHANGE IN VIEW OF THE INTENSIVE CITY DEVELOPMENT

V. R. Strezhalkovskaya<sup>1</sup>, E. Y. Potalova<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Pacific Oceanological Institute. V.I. Il'ichev of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

*Цель доклада изменения микроклимата в г. Владивосток на основе данных стационарных постов мониторинга загрязнения за 1970-1980 и 2013-2017 года, и произвести сравнение: как изменился климат за данное время.*

*The main goal of this study is to examine the process of microclimate change in Vladivostok using the data from stationary pollution monitoring stations for the periods 1970-1980 and 2013-2017 and then compare it to see how the climate has changed over time.*

Исследование микроклиматических особенностей городов в условиях, во-первых, изменения глобального климата, а во-вторых, непрерывно нарастающего антропогенного влияния на районы проживания и деятельности человека (рост численности населения городов, разрастание индустриального комплекса, функционирование теплоэлектростанций и т.д.) в настоящее время приобретает особую важность. Уже имеется ряд отечественных исследований метеорологических особенностей ряда городов Российской Федерации [3, 4, 5] в которых показано, например, что перепад температуры между городом и окружающими его пригородными районами может достигать 10 °С, а скорости ветра напротив – уменьшаться, что не может не оказывать влияние, в свою очередь, на экологическое состояние города.

Изучение микроклимата во Владивостоке со времени выхода монографии [1] не проводилось более чем 30 лет. Между тем за этот период времени город сильно преобразился, став развивающимся крупным промышленным и торговым центром. Полуостровное географическое положение города, сложный рельеф, интенсивная городская застройка, наличие уникально большого количества транспорта, появление новых промышленных предприятий оказывают существенное влияние на формирование климата города. Владивосток считается, самым крупным городом России по числу машин на население: на 1000 человек – 566 машин [2]. Все перечисленные факторы сказываются прежде всего на температурном режиме.

Для анализа микроклиматических особенностей Владивостока использовались данные семи постов наблюдения загрязнения (ПНЗ), предоставленные Приморским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2013, 2014 и 2017 годы. Данные ПНЗ содержат в себе ежедневные 3-срочные (7, 13, 19 часов) измерения приземной температуры воздуха, скорости и направления ветра, а также атмосферных явлений. Поскольку в пригороде Владивостока нет метеорологических станций, для вычисления разниц температуры воздуха у поверхности земли привлекались ежедневные данные по температуре воздуха у земли Европейского реанализа ERA-Interim с шагом в 0,125° [5] (рис. 1). Значения температуры интерполировались на время, соответствующее срокам наблюдения ПНЗ и затем вычислялись разницы температур ПНЗ-пригород:  $\Delta t = t_{\text{ПНЗ}} - t_{\text{пригород}}$ , после чего проводился статистический анализ.

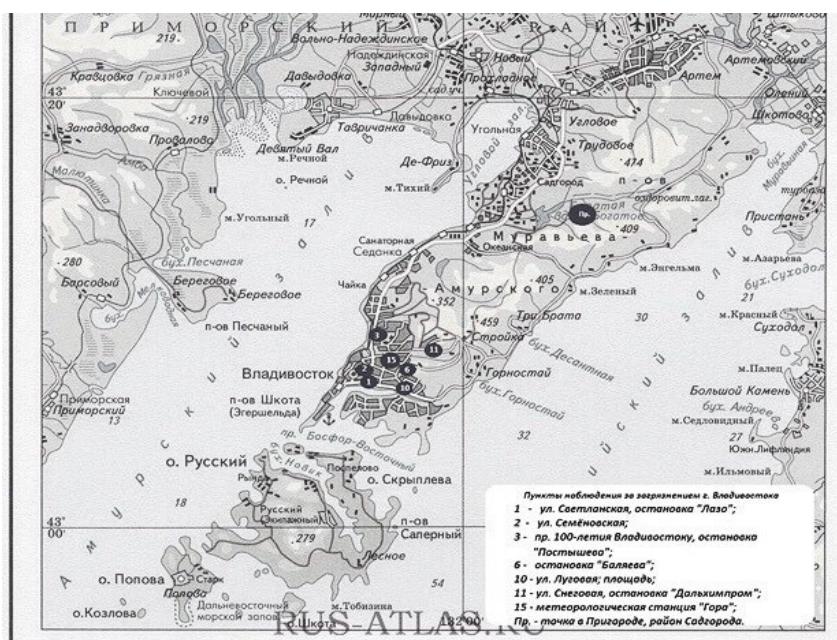


Рис. 1. Схема расположения ПМЗ Владивостока и точки пригорода

Как видно из рис.1, практически все станции, кроме 11, располагаются в зоне плотной застройки, но на различных высоте и удалённости от моря.

На рис. 2 показан годовой ход среднемесячных значений температуры за многолетний период по данным [1] и по ПМЗ № 15. Заметно, что различия в годовом ходе температуры в Владивостоке проявились в большей степени в экстремальных значениях (рис.2а,б): по сравнению с прошлым веком минимальные температуры стали ниже, а максимальные - выше. При этом средние значения незначительно отклоняются от климатических (рис.2в), составляя в среднем за год 5°С по данным [1], и 4,5°С, 5,6°С и 5,8°С в 2013, 2014 и 2017 г соответственно. Примечательно, что за последние годы примерно в три раза выросла изменчивость (рис.2г) - с 2 до более чем 6 °С.

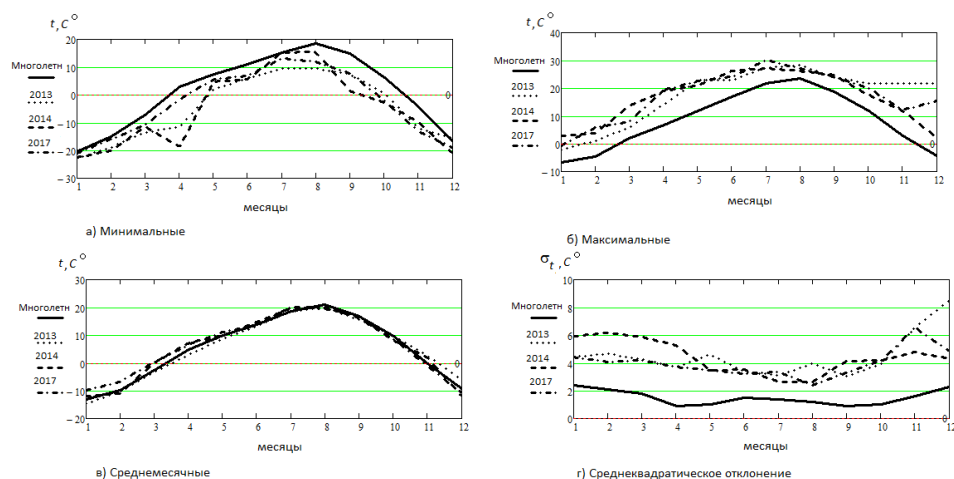


Рис. 2. Изменение среднегодовой температуры за 1886-1981, а также по ПМЗ №15 за 2013, 2014, 2017 годы

Разницы температуры город-пригород показали значительные различия в межгодовом и внутригодовом ходе. На рис. 3 представлены среднемесячные значения  $\Delta t$  за 2013 и 2017 годы по всем ПМЗ. Как видно из рисунка, в 2013 году положительные значения на большинстве станций наблюдались в период с весны до середины осени, и отрицательные – зимой (рис 3а), в то время как в 2017 году ход меняется на противоположный с отрицательными разностями в тёплое время года примерно до августа и положительными – начиная с августа до конца года на

большинстве станций. Следует заметить, что смена знака  $\Delta t$  нередко наблюдается в городах [Матвеев, 2007; Танский, Мазуров, 2010], и, вероятно, связана с погодными условиями, которые следует рассматривать одновременно с изменениями в микроклимате. При этом наибольший размах колебаний наблюдался на ПНЗ №1. Как видно из рисунка, в 2013 году (аналогично 2014 г) остров тепла был отчётливо выражен на ПНЗ № 1 - центр города, в то время как в 2017 положительные разности наблюдаются уже на серии постов включая ПНЗ №11 –зелёную зону Снеговой пади, что связано с интенсивным строительством и вырубкой городского леса. Менялся также ход  $\Delta t$  по времени суток. На рис. 4 показан пример изменения  $\Delta t$  на ПНЗ № 1. Видно, что в 2013 году минимальные разности температуры между городом и пригородом наблюдались утром, в то время как в 2017 году различия в суточном ходе сглаживаются. Из рис. 4, также можно видеть, что различия между городом и пригородом могут быть в среднем более 5 °С.

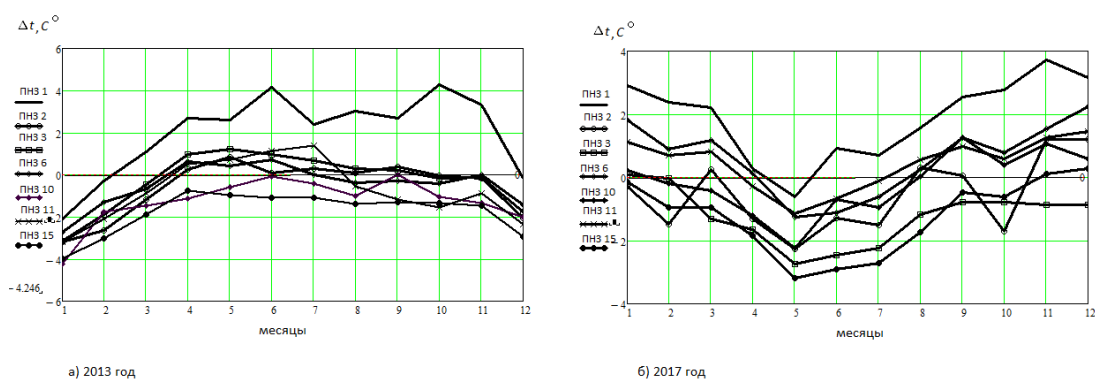


Рис. 3. Годовой ход среднемесячных  $\Delta t$  по пунктам наблюдения загрязнения за 2013 и 2017 годы

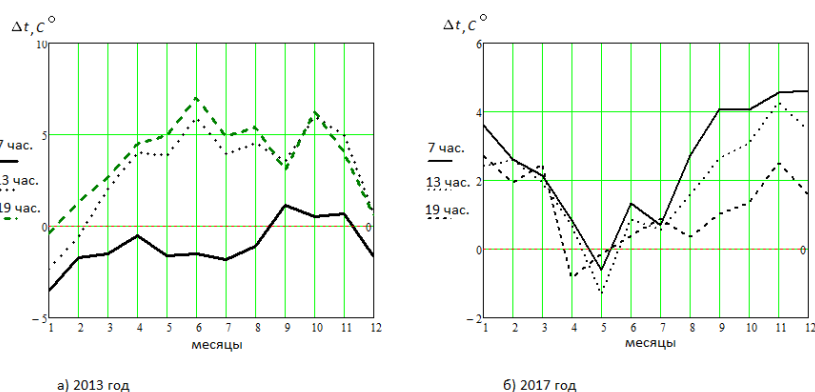


Рис. 4. Ход среднемесячных значений  $\Delta t$  на ПНЗ №1 в 7, 13 и 19 часов

Рост температуры на ПНЗ можно увидеть из сравнения результатов исследований прошлого века и 2017 года (Таблица 1). В книге есть не все ПНЗ, но в качестве примера можно сравнить данные по ПНЗ №3. Как видно из таблицы, увеличение температуры на этом пункте наблюдалось зимой и летом и уменьшение - весной и осенью.

Таблица 1. Средняя температура воздуха по сезонам в пункте наблюдения Владивостока

	Пункт наблюдения	Зима	Весна	Лето	Осень
1975 <sup>[1]</sup>	Ул.Постышева (ПНЗ №3)	-11,9	8,1	17,9	10,1
2017 год		-8,6	6,1	18,1	6,8

ПНЗ города показали также уменьшение скорости ветра в городе (не показано) в среднем на 0,3 м/с. Например, по ПНЗ №3 средняя скорость составила в 2013 г. - 1,3 м/с, в 2014 - 1,1 м/с и в 2017 г. - 0,6 м/с. При этом развитие острова тепла в зависимости от направления ветра показало сложную связь, требующую более тщательного исследования.

Проведённый анализ показал:

- наличие острова тепла во Владивостоке, увеличение контрастов температуры между городом и пригородом, меняющееся во времени, составляющих в отдельных случаях более 5°С;
- достаточно сложную межгодовую смену хода знака разницы температур город-пригород
- температурные различия в различных районах города, наиболее выраженные положительные различия в центральной части, появление положительных различий в пунктах, для которых разности были отрицательными и т.д.
- уменьшение средней скорости ветра примерно на 0,3 м/с.

Однако сделанные выводы можно считать только оценочными; полученные результаты требуют уточнения на большем статистическом материале.

### Литература

1. Свиныхова Г.В. Климат Владивостока. //Гидрометеоздат, 1981. С. 149-151.
2. РБК [Электронный ресурс]/ Под редак. Е. Костякова – Электрон. дан. – М: Самые автомобильные города России – в Сибире, 2008. – Режим доступа: <https://www.autonews.ru/news/58259c589a7947474311eb9b?ruid=NaN>
3. Кораблёва Е.Г., Ленская О.Ю. Исследования острова тепла города Челябинска в зимний период //Вестник Челябинского Государственного Университета. Экология. Природопользование. - 2010. - №8 (189). - Вып. 4 - С. 15-23.
4. Матвеев Л.Т. Влияние большого города на метеорологический режим // Известия РАН. Серия географическая. – 2007.- №4.- С. 97-102.
5. Танский А.О., Мазуров Г.И. Анализ острова тепла над некоторыми городами Российской Федерации // Метеорологический вестник. – 2010.- №3(8). – С.80-122.
6. Европейский реанализ ERA-Interim. Доступно: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim>

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ВОЛН К ПАРАМЕТРИЗАЦИЯМ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Я. В. Стригунова<sup>1</sup>, К. Ю. Булгаков<sup>2</sup>, А. В. Еремина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## SENSITIVITY OF WAVE FORECAST MODEL TO PARAMETRIZATIONS OF PLANETARY BOUNDARY LAYER

Ya. V. Strigunova<sup>1</sup>, K. Yu. Bulgakov<sup>2</sup>, A. V. Eremina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Рассматривается влияние параметризаций планетарного пограничного слоя на прогноз волн в Балтийском море. Выявлено, что наименьшую ошибку воспроизведения высоты доминантной волны обеспечивают 2 схемы ППС.*

*The influence of PBL parametrizations on wave forecast in the Baltic Sea is considered. It was found out that minimal error of reproduction significant wave height is provided by 2 schemes of PBL.*

Ветровые волны – феномен, оказывающий существенное влияние на человеческую деятельность в океане. Предупреждение техногенных катастроф, которые могут быть вызваны ветровыми волнами, является одной из важных задач геофизической гидромеханики.

В настоящий момент прогноз морских волн осуществляется на основе спектральных моделей, которые рассчитывают эволюцию спектра волнения. Входными данными для них являются поля скорости и направление ветра, температуры воздуха и его влажности над поверхностью. Данные поля являются результатами работы прогностических моделей атмосферной циркуляции. Качество воспроизведения структуры вышеуказанных характеристик в приводном слое определяется параметризациями планетарного пограничного слоя, используемые данными моделями. Выбор оптимального алгоритма для описания процессов обмена в пограничном слое атмосферы определяется в общем поставленной задачей (например, определенным пространственным разрешением). При осуществлении прогноза ветровых волн задача выбора оптимальной параметризации пограничного слоя усложняется, так как кроме реалистичного описания структуры пограничного слоя такие параметризации должны обеспечивать качественное воспроизведение процессов передачи энергии волнам. Более детальное описание этого взаимодействия указано в [1-2].

Оценка чувствительности прогностической системы атмосфера/волны к выбору параметризации пограничного слоя проводилась с помощью модельной системы, состоящей из компонент WRF [3] и WAVEWATCH [4].

В модели WRF заложена возможность выбора следующих схем планетарного пограничного слоя:

-алгоритмы, основанные на уравнении кинетической энергии турбулентности: Mellor-Yamada-Janjic (MYJ), Mellor-Yamada-Nakanishi Niino (MYNN), Quasi-normal Scale Elimination (QNSE). Mellor-Yamada-Janjic основана на модели Mellor-Yamada с 1.5 порядком замыкания с использованием масштаба турбулентных образований. Mellor-Yamada-Nakanishi Niino отличается от первой тем, что в нее внедрены данные, полученные в ходе LES-моделирования. Последняя схема похожа на первую, но в нее встроены учет флуктуаций в устойчивых слоях.

-алгоритмы нелокального замыкания. Основное различие в них заключается в описании К – профиля. В случае схемы Yonsei University (YSU) он определяется как функция числа Ричардсона для свободной атмосферы, в AsymmetricConvectionModelV.2 (ACM2) восходящие потоки взаимодействуют между поверхностным слоем и каждым слоем выше, тогда как потоки вниз распространяются от одного слоя до другого непосредственно нижележащего слоя.

TotalEnergy-MassFlux (TEMF) отличается от схем локального замыкания, тем что использует помимо кинетической энергии турбулентности еще и потенциальную, то есть в уравнении для полной энергии в правую часть добавляется поток массы, который рассматриваются как разница между искомой величиной на исходном уровне и ее значением на вышележащем.

С различными комбинациями параметризаций атмосферной компоненты была проведена серия запусков совместной модели с целью оценки чувствительности системы атмосфера/морские волны к способу параметризации пограничного слоя атмосферы, а также последующим выбором оптимальной параметризации. Была рассчитана среднеквадратическая ошибка (СКО) воспроизведения высоты доминантной волны по данным буев, принадлежащих FMI (Finnish Meteorological Institute). Их координаты указаны в таблице 1.

Таблица 1. Используемые буи для верификации

№	1	2	3	4
Область, в которой находится буй	Центральная часть Балтийского моря	Финский залив	Ботнический залив, юг	Ботнический залив, север
Код буя	134220	134221	134246	137228
Координаты	59°15' с.ш. 21°00' в.д.	59°58' с.ш. 25°14' в.д.	61°48' с.ш. 20°14' в.д.	64°41' с.ш. 23°14' в.д.

Были выбраны два наиболее показательных случая сильного волнения. Первый случай – шторм в Балтийском море, наблюдающийся с 18 по 21 августа 2014 года (рис. 1).

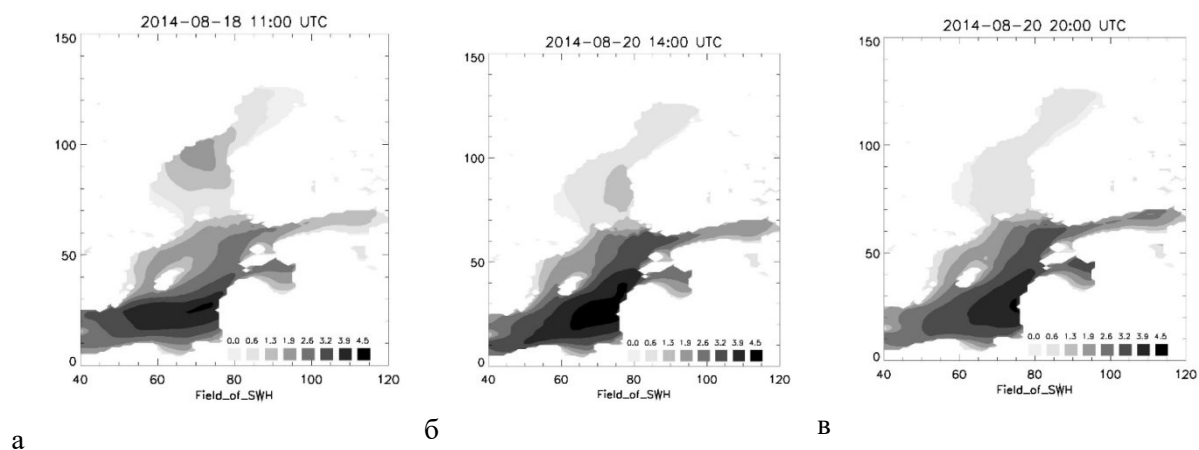


Рис. 1. Поле высоты доминантной волны. а – появление волн более 4.5 м, б - пик, в – последнее отображение волн более 4.5 м.

С 18 по 21 августа в Балтийском море фиксируется высота доминантной волны более 4 м. Рассматриваемое волнение имеет несколько пиков, которые сосредоточены, в основном, в южной части. В Ботническом заливе волны не превышают 3 м, однако, на всем рассматриваемом временном интервале такое волнение наблюдается лишь несколько часов, в то время как в Финском заливе эта высота волн отмечается гораздо чаще. В таблице 2 представлены минимальная и максимальная СКО.

Таблица 2. Среднеквадратическое отклонение высоты доминантной волны для Балтийского моря в период 11-20.08.2014

134220		134221	
Варианты	СКО	Варианты	СКО
ACM2+PX	<b>0,43</b>	ACM2+PX	0,45
MYJ+ETA	<b>0,43</b>	MYJ+ETA	<b>0,3</b>
MYNN_2.5+MYNN	0,54	MYNN_2.5+MYNN	0,43
QNSE	0,47	QNSE	0,46
TEMF	0,7	TEMF	0,44
YSU+MM5	0,55	YSU+MM5	0,35
134246		137228	
ACM2+PX	0,52	ACM2+PX	0,39
MYJ+ETA	0,39	MYJ+ETA	0,36
MYNN_2.5+MYNN	0,44	MYNN_2.5+MYNN	0,35
QNSE	0,48	QNSE	0,57
TEMF	0,39	TEMF	0,41
YSU+MM5	<b>0,38</b>	YSU+MM5	<b>0,33</b>

Во втором эксперименте (рис. 2) рассматривается эволюция волн с 4 по 10 октября 2014 года.

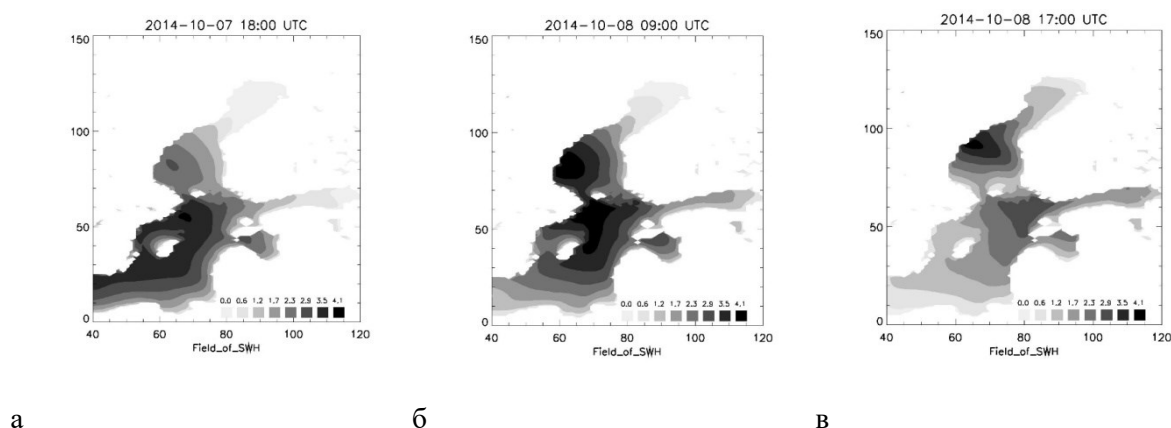


Рис. 2. Поле высоты доминантной волны. а – появление волн более 4.5 м, б - пик, в – последнее отображение волн более 4.5 м.

При формировании шторма было замечено 2 области формирования волнения: Ботнический залив и юг Балтики. В первом случае возникали очаги разной интенсивности волнения, часть из которых даже проникала в центр, где и происходила наибольшая интенсификация волн до высоты более 4 м. Для Финского залива, с учетом его конфигурации, ситуация иная – после длительного периода относительно спокойного волнения, ослабленная часть волн, развившихся в центре, наконец прошла по всему заливу. Расчётные значения СКО приведены в таблице 3.



Таблица 3. Среднеквадратическое отклонение высоты доминантной волны для Балтийского моря в период 4-10.10.2014

134220		134221	
Варианты	СКО	Варианты	СКО
ACM2+PX	<b>0,33</b>	ACM2+PX	0,35
MYJ+ETA	0,38	MYJ+ETA	0,38
MYNN_2.5+MYNN	0,41	MYNN_2.5+MYNN	<b>0,34</b>
QNSE	0,45	QNSE	0,37
TEMF	0,68	TEMF	0,49
YSU+MM5	0,4	YSU+MM5	0,36
134246		137228	
ACM2+PX	<b>0,45</b>	ACM2+PX	0,43
MYJ+ETA	0,48	MYJ+ETA	0,39
MYNN_2.5+MYNN	0,55	MYNN_2.5+MYNN	0,41
QNSE	0,55	QNSE	<b>0,35</b>
TEMF	0,7	TEMF	0,37
YSU+MM5	0,47	YSU+MM5	0,38

**Заключение.**

Из таблиц видно, что наибольшая разница между СКО достигает 0.4 м. Таким образом можно говорить о том, что существует чувствительность модельной системы атмосфера/океан к выбору параметризации, описывающей пограничный слой. Можно выделить 2 схемы ППС, при использовании которых воспроизведение высоты доминантной волны имело наименьшую СКО (Mellor-Yamada-Janjic и Yonsei University).

**Литература**

1. Чаликов Д.В., Булгаков К.Ю. Ветровые волны как элемент гидродинамической системы океан–атмосфера // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 3. С. 386–391.
2. Chalikov D., Rainchik S. Coupled numerical modelling of wind and waves and the theory of the wave boundary layer // Boundary.LayerMeteorol. 2010. V. 138. Issue 1. P. 1–41.
3. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance // Proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of HighPerformance Computing In Meteorology, 25—29 October 2004, Reading U.K. Ed. George Mozdzynski.
4. Tolman H. L. A third generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents // J. Phys. Oceanogr. 1991. V. 21. P. 782—797.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00124).*

*The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 16-17-00124).*

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

А.Э. Сумачев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON THE HYDROLOGICAL MODE OF NORTHERN DVINA

A.E. Sumachev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Доклад посвящен актуальной проблеме изменения климата и его влияния на гидрологические характеристики. Научная новизна работы заключается в использовании возможностей искусственного интеллекта для прогнозирования речного стока. Для решения поставленной задачи автор использовал данные наблюдений по 14 гидрологическим постам, и 2 метеорологическим станциям за 1950-2015 год.*

*The report is devoted to the actual problem of climate change and its impact on hydrological characteristics. The scientific novelty of the work is to use the possibilities of artificial intelligence for predicting river flow. To solve the problem, the author used observation data for 14 hydrological stations, and 2 meteorological stations for 1950-2015.*

### **Введение.**

Настоящая работа посвящена комплексному описанию реки Северная Двина и ее притоков в современных условиях. Северная Двина является одной из важнейших водных артерий Северного Края, имея федеральное значение. Для подобного описания, требуется проанализировать как имеющуюся информацию по метеорологии и гидрологии, так и данные ежегодных наблюдений за весь период. Но описать район географически или даже гидрологически слишком мало. В условиях меняющегося климата особую актуальность и остроту получили вопросы прогнозирования речного стока. Существует огромное количество методик прогнозирования, в основу которых положены регрессионные уравнения. Возможности традиционных методов, по мнению Ю. Б. Виноградова, были доведены до предела еще 30 лет назад. Однако он отмечает, что и моделирование речного стока не смогло предложить ничего надежного и простого. В связи с этим были разработаны методики прогнозирования элементов речного стока, опирающиеся на возможности искусственного интеллекта и машинного обучения.

База использованных данных включает в себя наблюдения на 14 гидрологических постах за период с 1950 по 2015 гг. Данные взяты с 1950 г, а не с начала наблюдений, так как база данных предназначалась для обеспечения методик прогноза заторных наводнений. Одним из основных аргументов в прогнозных методиках является толщина льда, наблюдения за которой начались только с 1950[1].

В данной работе используются методы математической статистики и искусственного интеллекта. Для оценки однородности рядов, использованы критерии Стьюдента и Фишера. Для выявления тенденций в изменении водности реки применялось 3 метода: построение линейного тренда и полиномиальное сглаживание. Значимость линейных трендов оценена при помощи коэффициента корреляции. В целях долгосрочного прогнозирования основных характеристик стока построены линейные и множественные регрессионные модели, обучены нейронные сети типа MLP и RBF [2].

### **Современное состояние климата.**

Для оценки изменчивости основных характеристик климата следует проанализировать разномасштабные колебания в значениях температуры и осадков, выделить и оценить значимость линейных трендов.

Для решения поставленной задачи следует отобрать соответствующую метеорологическую информацию и построить хронологические графики рассматриваемых величин. В бассейне Северной Двины рассмотрены метеостанции в г. Великий Устюг, Вологда за период 1950 по 2015 год. На данных станциях наблюдается тренд на повышение среднегодовой температуры воздуха (рисунок 1).

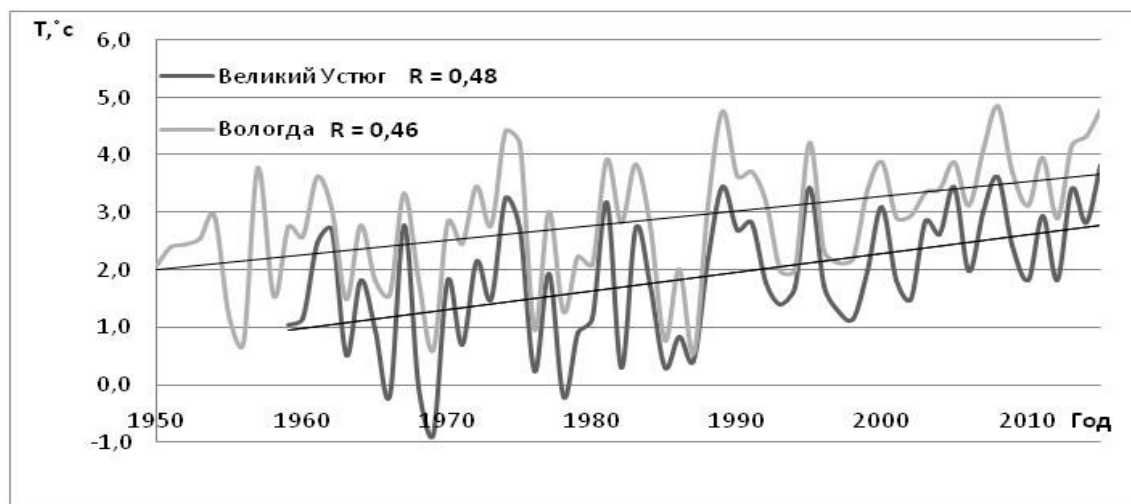


Рис. 1. Хронологический график хода температуры воздуха

Положительная тенденция обусловлена, как наличием положительных трендов среднезимней температуры воздуха, так и значимыми трендами летнего периода.

Количество осадков увеличивается внутри года неравномерно (таблица 1). Сумма осадков, выпавших за зимний период, увеличивается и приводит к увеличению годовых сумм осадков.

Таблица 1. Оценка значимости линейных трендов сумм осадков

Значимость линейных трендов			
Пункт	KR	$\delta r^2$	Значимость
Великий Устюг (Год)	00,37	0,12	Значим
Великий Устюг (Холодного периода)	00,46	0,11	Значим
Великий Устюг (Теплого периода)	,0,11	0,14	Не значим

Из данных приведенных в таблице 1, следует, что годовая сумма осадков значительно увеличивается за счет роста суммы осадков, выпавших в зимний период. Увеличение суммы осадков за теплый период не является статистически значимым, учитывая существенный рост температуры в летний период, можно предположить, что в районе за счет увеличения испарения можно ожидать дефицит стока рек в летне-осенний период. Увеличение количества твердых осадков, безусловно, должно увеличить общие снегозапасы, однако наличие зимних оттепелей нивелирует данный процесс и даже приводит к снижению содержания воды в снеге на начало снеготаяния в последние годы. Выполнив комплексный анализ основных метеорологических характеристик, можно прийти к следующему выводу: климат становится мягче и более влажным. Среднегодовая температура воздуха увеличилась на 0,8-0,9 градуса Цельсия и данный рост является статистически значимым.

Отмечено, что изменение температурного режима современности сходно с изменениями в оптимум голоцена около 5500 л.н. и с потеплением в суббореальном периоде около 3500 л.н., только имеет меньшую амплитуду [3]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что данные изменения не носят антропогенного характера и связаны с естественными колебаниями в активности Солнца, океана и космоса [3,4].

**Гидрологический режим рек.**

Естественно, изменения, произошедшие в климате, сказались на гидрологическом режиме рек. Данные изменения, как и в случае с климатом, не носят какой-либо определенный характер. И связаны с перераспределением стока внутри года (таблица 2). Так, в связи с более затяжной осенью и более мягкой зимой повышаются уровни зимней и осенней межени. Но потепление климата, также оказывают свое влияние и на вскрытие, и на половодье, которое происходит более дружно и в короткие сроки [5]. Что так же вносит свой вклад в падение уровней летней межени, что, в целом, носит негативный характер.

Таблица 2. Перераспределение стока внутри года

Период	W, км <sup>3</sup>			ГГод
	Окт-февраль	Март-май	Июнь-сентябрь	
1950-2015	19,4	45,6	32,0	97
1950-1980	19,4	43,7	34,0	97
1981-2015	19,4	46,6	31,0	97
Δ%	0	6,4	9,4	00

**Прогнозирование гидрологических характеристик стока.**

В целях прогнозирования основных гидрологических характеристик стока были обучены нейросетевые модели. Критериями оценки полученных зависимостей послужили производительность, коэффициент Нэша-Сатклифа и оценка ГМЦ (таблица 3)

Таблица 3. Результаты оценки производительности нейросетевых зависимостей

Предиктант	Архитектура	Производительность	Коэф. Нэша-Сатклифа	Оценка ГМЦ
Hmax.лдж	MLP 6-10-1	0,52	0,35	Удовлетворительно
Qср.мес.	RBF 12-30-1	0,84	0,81	Отлично
Qmax.год	MLP 6-5-1	0,89	0,86	Отлично

Приведенные данные свидетельствуют о высокой точности и надежности полученных зависимостей. Прогнозы, данные MLP 6-10-1, по оценке ГМЦ относятся к категории удовлетворительных, но данная сеть обладает большим коэффициентом Нэша-Сатклифа на 5%, по сравнению с регрессионными зависимостями. Учитывая большую заблаговременность – более 4 месяцев, данную модель можно использовать для фонового прогнозирования максимального уровня при ледоходе.

**Заключение.**

В рамках данной работы была поставлена цель комплексного описания водного режима Северной Двины и ее притоков в современных условиях.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Создана база данных, включающая как гидрологическую, так и метеорологическую информацию по бассейну Северной Двины и Северного края в целом.
- 2) На основе базы данных и информации, полученной из ресурсов поверхностных вод, климатических справочников и других источников, было выполнено физико-географическое описание изучаемой территории
- 3) По данным различной дискретности были оценены тренды и современное состояние климата
- 4) Оценены разномасштабные колебания водности рек бассейна Северной Двины в условиях изменяющегося климата

5) Составлены прогностические зависимости, опирающиеся на современные методы, которые подверглись критическому анализу, после данного испытания был составлен прогноз водности Северной Двины на ближайшее время.

Для климата региона характерно статистически значимое увеличение среднегодовой температуры воздуха до 1°C в первую очередь за счет увеличения температуры воздуха летнего периода с последующим увеличением испарения на 20%. Увеличение количества осадков, выпадающих за зимний период привело к увеличению годовой суммы осадков на 100 мм. Так как осадки, выпадающие за летний период, не имеют статистически значимых трендов, наблюдается падение уровней летней межени на 30-40 см и стока за данный период на 9,4%, что негативно сказывается на судоходстве. Увеличение стока за период март-май составляет 6,4%. Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что климат района становится мягче, а в водном режиме, не смотря на стационарность, наблюдается перераспределение стока, равное 3% от годового.

Метод обучения искусственных нейронных сетей в гидрологии распространен плохо, не смотря на очевидные его преимущества. Уже сейчас вполне очевидно, что возможности этого метода не ограничиваются лишь прогнозированием. Нейронные сети прекрасно справляются с вопросами классификации и распознавания образов. Таким образом, они могут быть использованы при выделении половодий и паводков, возможность же распознавания образов может быть использована при определении русловых процессов, выделении пойм и т.д.

### **Литература**

1. Горошкова Н.И., Сумачёв А.Э., Георгиевский М.В., Георгиевский Д.В., Негуляев А.Ю., Горяинова В.А. Отчет о научно – исследовательской работе 555-НИР «Разработать геоинформационную систему мониторинга гидрологического режима р. Северная Двина в зимне-весенний период для оценки вероятности возникновения опасных заторных наводнений». СПб. ГГИ 2017. 58с
2. StatSoft, Inc. (2012). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
3. Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии Москва. ГЕОС.М. 2010. 220с
4. Е.А. Леонов Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз. СПб. РИК. 2010
5. Бузин В.А. Зажоры и Заторы льда на реках России. СПб. ГГИ, ГГИ, 2015. 240с.

## ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В СИСТЕМЕ БАЛТИЙСКОГО И СЕВЕРНОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.Н. Сухачев<sup>1,2</sup>, Е.А. Захарчук<sup>1,2</sup>, Н.А. Тихонова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Санкт-Петербург, Россия

## FEATURES OF THE DYNAMICS OF LOW-FREQUENCY LEVEL OSCILLATIONS IN THE SYSTEM OF THE BALTIC AND NORTH SEAS ACCORDING TO SATELLITE ALTIMETRY AND MATHEMATICAL MODELING

V.N. Sukhachev<sup>1,2</sup>, E.A. Zakharchuk<sup>1,2</sup>, N.A. Tikhonova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Oceanographic Institute. N.N. Zubova, St. Petersburg, Russia

*На основе совместного статистического анализа спутниковой альтиметрической информации, численного моделирования, а также реанализа гидрометеорологических полей оцениваются особенности генерации и динамики низкочастотных возмущений в системе Балтийского и Северного морей.*

*Based on the joint statistical analysis of satellite altimeter information, numerical modeling and meteorological reanalysis data the features of generation and propagation of low-frequency level perturbations in the system of the Baltic and North Seas are estimated.*

### **Введение.**

В настоящее время плохо изученным остаётся вопрос об особенностях возбуждения в системе Балтийского и Северного морей, выделенных в альтиметрических полях уровня низкочастотных волновых возмущений под действием анемобарических сил. Согласно теоретическим исследованиям считается, что касательное трение ветра обладает наибольшей эффективностью при генерации возмущений синоптического масштаба в термодинамических полях открытого океана по сравнению с горизонтальным градиентом атмосферного давления [1, 2, 3]. Спутниковая альтиметрия открыла возможность на эмпирическом уровне исследовать эту проблему для открытых районов морей и океанов. В данной работе на примере Балтийского и Северного морей исследуются особенности генерации колебаний уровня моря синоптического масштаба ( $\zeta$ ) под действием касательного трения ветра и с помощью численных экспериментов на гидродинамической модели INMOM оцениваются особенности распространения низкочастотных колебаний уровня в Северном и Балтийском морях и их пространственно-временная структура.

### **Данные и методы.**

Для исследования колебаний уровня Балтийского моря использовался массив комбинированных альтиметрических данных нескольких спутников: Jason-3, Sentinel-3A, HY-2A, Saral/AltiKa, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, T/P, ENVISAT, GFO, ERS1/2, включающий поля аномалий уровня моря (SLA) с пространственным разрешением  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  и дискретностью 1 сутки [4], полученные методом оптимальной интерполяции [5, 6]. Для исследования особенностей генерации колебаний уровня моря синоптического масштаба ( $\zeta$ ) под действием касательного трения ветра использовалась срочная (4 раза в сутки) информация о ветре ( $W$ ) с пространственным разрешением  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , полученная по данным реанализа метеорологических полей [7].

Для оценки взаимосвязи между касательным трением ветра ( $\tau$ ) и уровнем моря ( $\zeta$ ) проводился взаимный корреляционный анализ по методике, изложенной в работе [8]. Следуя этой методике, в начале, оценивались матрицы коэффициентов взаимных корреляций следующего вида:

$$K_{\zeta\tau} = \begin{vmatrix} r_{\zeta\zeta} & r_{\zeta u} & r_{\zeta v} \\ r_{u\zeta} & r_{uu} & r_{uv} \\ r_{v\zeta} & r_{\zeta u} & r_{vv} \end{vmatrix}, \quad K_{uv} = \begin{vmatrix} r_{uu} & r_{uv} \\ r_{vu} & r_{vv} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где  $K_{\zeta\tau}$  и  $K_{uv}$  – определители матриц,  $\zeta$  – скалярный процесс (в нашем случае – уровень моря),  $\tau$  – касательное трение ветра,  $u, v$  – составляющие  $\tau$  на параллель и меридиан, соответственно,  $r_{\zeta\zeta}$ ,  $r_{\zeta u}$ ,  $r_{uv}$ ,  $r_{vv}$  – коэффициенты взаимной корреляции. Затем, рассчитывался множественный коэффициент корреляции между скалярным ( $\zeta$ ) и векторным процессами ( $\tau$ ):

$$R_{\zeta\tau}(\theta) = \sqrt{1 - \frac{K_{\zeta v}}{K_{uv}}}, \quad (2)$$

где  $\theta$  - временной сдвиг.

Оценки взаимной корреляции между рядами  $\tau(t)$  и  $\zeta(t)$  в узлах сеточной области спутниковых альтиметрических данных производились в стационарном приближении ( $R_{\zeta\tau}(\theta)$ ) и с учетом нестационарности процессов ( $R_{\zeta\tau}(\theta, t)$ ). Период квазистационарности для расчетов  $R_{\zeta\tau}(\theta, t)$  принимался равным 2-м месяцам. Таким образом, за рассматриваемый здесь временной период непрерывных спутниковых альтиметрических измерений (18 лет), для каждой точки сеточной области получалось 108 оценок  $R_{\zeta\tau}(\theta, t)$ . Столь большое количество результирующих полей  $R_{\zeta\tau}(\theta, t)$  требует применения какого-либо метода сжатия этой информации для её дальнейшего обобщения и визуализации с целью физической интерпретации. Для этого в данной работе предлагается следующий подход: в каждой точке сеточной области, из 108 полученных оценок  $R_{\zeta\tau}(\theta, t)$ , выбирается количество случаев (в процентах), когда значения  $R_{\zeta\tau}(\theta, t) > 0,60$ . Такой подход позволяет выявить районы Балтийского моря и Северного морей, которые являются наиболее благоприятными для передачи энергии касательного трения ветра движениям водных масс в исследуемом диапазоне пространственно-временных масштабов.

Для оценки особенностей распространения низкочастотных колебаний уровня в Северном и Балтийском морях и их пространственно-временной структуры использовалась трехмерная бароклинная гидродинамическая модель Балтийского моря, разработанная на базе известной модели INMOM, с помощью которой было проведено несколько численных экспериментов. Численные эксперименты строились следующим образом: на жидкой границе расположенной на севере пролива Каттегат задавались колебания уровня в виде тестовых гармоник с периодами 1.5, 3, 6, 13.5, 40 и 121.5 суток. В результате были получены поля уровня в каждой точке сеточной области Балтийского моря. Затем сравнивались спектры рассчитанных по модели рядов уровня, полученных в различных районах Балтийского моря со спектром тестового ряда уровня, задаваемого на жидкой границе.

#### **Результаты.**

Результаты взаимного корреляционного анализа между низкочастотными волнообразными колебаниями уровня моря и касательным трением ветра показывают (рис. 1а), что в Балтийском море отсутствует стационарная связь между этими гидрометеорологическими характеристиками. Учет нестационарности процессов при проведении взаимного корреляционного анализа показывает, что на большей части Балтики частота повторения периодов высокой корреляции между касательным трением ветра и низкочастотными колебаниями уровня моря синоптического диапазона изменчивости близка к нулю и лишь в локализованных районах юго-западной и юго-восточной части моря эта частота может достигать 20 – 50% (рис. 1в). В отличие от Балтийского моря, отдельных районах Северного моря в диапазоне периодов от недель до месяцев происходит квазипостоянная передача энергии от анемобарических сил к низкочастотным движениям водных масс (рис. 1б и рис. 1в). В этом море складываются более благоприятные, чем в Балтийском море, гидрометеорологические условия для генерации низкочастотных волнообразных колебаний уровня под действием касательного трения ветра, которые затем проникают в Балтику в виде свободных волн.

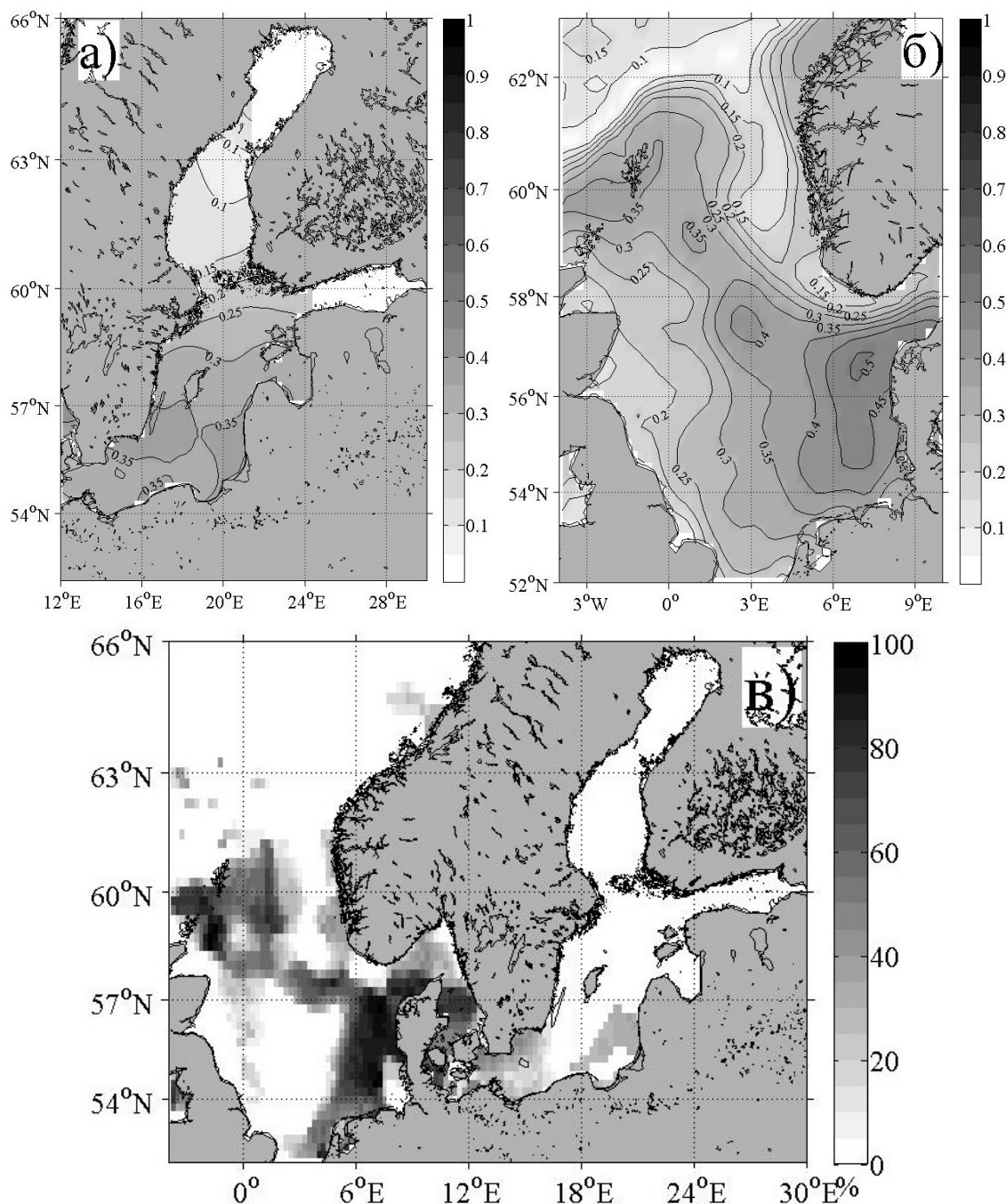


Рис. 1. Коэффициенты взаимной корреляции  $R\zeta\tau(\theta)$  между колебаниями уровня, полученными по альтиметрическим данным и касательным трением ветра, оцененные в стационарном приближении для Балтийского моря (а), Северного моря (б) и результаты нестационарного взаимного корреляционного анализа, показывающего количество случаев (в процентах), когда значения  $R\zeta\tau(\theta,t) > 0,60$  для Северного и Балтийского моря (в)

Результаты сравнительного спектрального анализа модельных рядов (рис. 2), свидетельствуют, что колебания на частоте тестовых гармоник наблюдаются и в открытой части Балтийского моря, а также в его основных заливах с различной степенью изменения их амплитуды: в диапазоне периодов более 40 и менее 2 суток их амплитуда почти не меняется, а в диапазоне периодов от 3 до 15 суток амплитуды колебаний на частоте тестовых гармоник значительно уменьшаются.



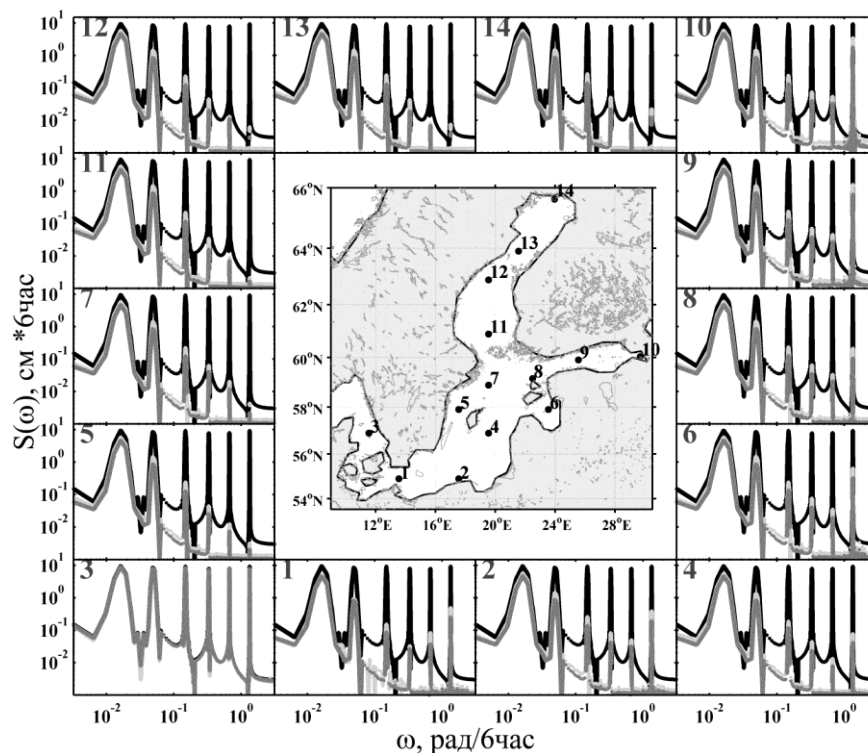


Рис. 2. Спектральный анализ тестового ряда (черная линия) и рядов уровня, рассчитанных по гидродинамической бароклинной модели (эксперимент №2, светло-серая линия) и баротропной модели (эксперимент №1, темно-серая линия).

Сравнительный статистический анализ результатов численных экспериментов приводит нас к гипотезе, что существенный вклад в дисперсию суммарных возмущений уровня Балтийского моря оказывают колебания, распространяющиеся в Балтику из Северного моря, а не только возмущения уровня, которые генерируются под действием анемобарических сил в самом Балтийском море.

Результаты статистического анализа спутниковых альтиметрических данных и численных экспериментов на гидродинамической модели позволяют предположить, что основным регионом генерации волнообразных возмущений уровня с периодами от недель до месяцев под действием анемобарических сил может быть Северное море.

### Литература

1. Frankignoul C., Muller P. On the generation of geostrophic eddies by surface buoyancy flux anomalies // J. Phys. Oceanogr. 1979. V.9, No. 6. P.1207-1213.
2. Frankignoul C., Muller P. Quasi-geostrophic response of an infinite  $\beta$ -plane ocean to stochastic forcing by the atmosphere // J. Phys. Oceanogr. 1979. V.9. No.6. P.104-127.
3. Коротаев Г.К. Теоретическое моделирование синоптической изменчивости океана. Киев: Наукова Думка, 1988. 160 с.
4. E.U. Copernicus Marine Service Information, <http://marine.copernicus.eu>
5. Bretherton F., Davis R., Fandry C. A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73// Deep-Sea Res. 1976. No. 23, P.559-582.
6. Pujol M.-I., Faugère Y., Taburet G., Dupuy S., Pelloquin C., Ablain M., and Picot N., // DUACS DT2014: the new multi-mission altimeter data set reprocessed over 20 years, Ocean Sci., 12, 1067-1090, doi:10.5194/os-12-1067-2016, 2016.
7. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (Reanalysis-2). NOAA's National Centers for Environmental Prediction. <http://nomads.nccdc.noaa.gov/modeldata/>
8. Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристикам случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Книга II. СПб., Гидрометеиздат, 2002, 780 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ ВОДНОГО КАДАСТРА ПО УСТЬЕВЫМ ОБЛАСТЯМ РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Р. А. Терехова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF WATER CADASTR STRUCTURE FOR THE RUSSIAN ARCTIC RIVERS ESTUARINE AREAS

R. A. Terekhova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic research institute, St. Petersburg, Russia

*Рассмотрены научные основы и необходимость совершенствования правовой системы государственного мониторинга поверхностных водных объектов на примере устьевых областей рек Российской Арктики.*

*The scientific basis and the need to improve the legal system of surface water bodies state monitoring on the example of estuarine areas of the Russian Arctic rivers are considered.*

Система государственного мониторинга поверхностных водных объектов Российской Арктики осуществляется в соответствии с правовыми и нормативными актами федерального и ведомственного уровня.

На федеральном уровне научные основы организации и функционирования системы государственного мониторинга поверхностных водных объектов Арктической зоны Российской Федерации (далее АЗРФ), включая устьевые области рек, базируются на правовых документах [1], Постановлениях Правительства, вытекающих из норм Земельного и Водного кодексов [2-3]. Вместе с тем, ряд принятых документов федерального уровня вступают в противоречие с положениями Земельного и Водного кодексов Российской Федерации и иными нормативными актами федерального уровня.

На ведомственном уровне научные основы организации и функционирования системы государственного мониторинга поверхностных водных объектов АЗРФ, включая устьевые области рек, базируются на нормативно-правовых документах Минприроды РФ [4], руководящих документах Росгидромета, а также публикациях сотрудников Отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ, опубликованных в порядке внедрения результатов работ по темам НИОКР Росгидромета [5- 6].

Научные и научно-методические основы Концепции об устьевых областях крупных рек АЗРФ, как самостоятельных поверхностных водных объектах, разработаны ААНИИ в 2012–2014 гг. в рамках НИР ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 гг.» [7] и в рамках темы 1.2.1.2 по Плану НИОКР на 2014-16 гг. Росгидромета [8]. Представление об устьевой области реки, впадающей в море, как о самостоятельном объекте соответствует действующему ГОСТу 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов (с Изменением №1, утверждённым в 26 января 1988 года (ИУС 4-88)). В Классификации водных объектов, изложенной в этом ГОСТе, однозначно указано, что «устьевая область реки, впадающая в море, является самостоятельным водным объектом». Устьевые области рек, впадающих в море, классифицируются по характеру и длине устьевого участка, по характеру устьевого взморья, по преобладающему режиму (речному, смешанному, морскому). Классификации подлежат также водотоки и водоёмы, водоемы на местных водосборах устьевых областей рек [9]. ГОСТ 17.1.1.02-77 введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 04 февраля 1977 года № 299 и распространяется на водные объекты единого государственного водного фонда [1-3].

Концепция также полностью соответствует Конституции РФ в части положения о том, что на внутренние воды (к которым относятся устьевые области рек, впадающие в море), распространяется юрисдикция Российской Федерации (п.1. гл.3. ст. 67 Конституции РФ) [10]. В соответствии с положениями Земельного и Водного кодексов [2, 3] устьевые области рек относятся к Водному фонду, как водноресурсные поверхностные водные объекты. При этом управление этими объектами определяется водными отношениями.

Однако в ФЗ-155 «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» (1998, с изменениями на 2017 г.) [11] введено понятие «внутренние

морские воды», как самостоятельных поверхностных водных объектов, что не соответствует Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. [12], Конституции РФ [10], а также иным нормативным актам федерального уровня. Закон был принят с целью обеспечения благоприятных условий для деятельности морского транспорта.

Внутренние морские воды – фактически часть внутренних вод Российской Федерации, так как они расположены в сторону от границы территориального моря и являются частью Водного фонда как водноресурсные объекты. В данном законе не дано точного определения понятия «внутренние морские воды», кроме того, некорректно определены границы морских вод со стороны суши. К внутренним морским водам по этому закону неправомерно отнесены губы, лиманы, лагуны и устьевые взморья устьевых областей рек АЗРФ. Все эти объекты относятся к внутренним водам. Вся хозяйственная деятельность на этих объектах подчиняется положениям и требованиям Водного и Земельного кодексов РФ [2, 3], а не законодательству по морскому праву.

Практическое следствие противоречий выражается в несостоятельности нормативных документов по устьевым областям рек, впадающим в море. Терминологическая и понятийная «разногласица» в устьевой тематике препятствует информационному обмену и снижает качество и эффективность межведомственных проектов.

Совершенствование правовой системы государственного мониторинга поверхностных водных объектов Российской Арктики требует обсуждения и принятия решений по устранению противоречий на соответствующем уровне. А междисциплинарной задачей устьевой гидрологии является разработка свода стандартизованных терминов и определений основных понятий гидрологии устьевых областей рек, впадающих в море. В противном случае отношение ко многим пресноводным объектам аква-территориальных комплексов, и, в первую очередь, – к устьевым областям рек, как к части моря, обернется утратой уникальных экосистем и источников пресной воды так необходимой в арктической пустыне.

На ведомственном уровне научные основы организации и функционирования системы государственного мониторинга поверхностных водных объектов АЗРФ, включая устьевые области рек, базируются на нормативно-правовых документах Минприроды РФ [13-15], руководящих документах Росгидромета, а также публикациях сотрудников Отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов АНИИ в рамках внедрения результатов работ по темам НИОКР Росгидромета [16-17].

Проблемы подготовки изданий Водного кадастра в основном сводятся к организационным вопросам. В результате неоднократной реорганизации сетевых и методических подразделений УГМС в Арктической зоне деятельности (смена территориальной принадлежности, сокращение и ликвидация) утрачена организационная система методического руководства гидрологической сетью и нарушен бассейновый принцип анализа гидрометеорологических данных на устьевых объектах.

В соответствии с распределением ответственности в настоящее время подготовку изданий Водного кадастра Российской Федерации подраздела «Моря и морские устья рек» (тома 2-8) по каждому бассейну моря осуществляет несколько УГМС: по Белому морю – Мурманское, Северо-Западное и Северное УГМС, по Баренцеву морю – Мурманское и Северное, УГМС по Карскому морю - Северное, Обь-Иртышское и Среднесибирское УГМС, по морю Лаптевых – Северное и Якутское УГМС, по Восточно-Сибирскому и Чукотскому – Якутское и Чукотское УГМС, по Берингову морю – Чукотское и Камчатское УГМС. По бассейну Карского моря проблема усугубляется ликвидацией Амдерминского и Диксонского УГМС с передачей их функций Северному УГМС. При этом были ликвидированы оперативно-методические подразделения этих УГМС без расширения штата методических подразделений Северного УГМС, что привело к увеличению многолетней задолженности по подготовке изданий.

Результаты инспекций и экспертизы материалов Водного кадастра по устьевым областям рек Арктической зоны РФ выявили существенные недостатки по состоянию материалов и надежности результатов наблюдений на стадии их подготовки к изданию. Это связано с ослаблением оперативно-методической роли УГМС по руководству сетью и значительному снижению полноты и качества гидрологических наблюдений, а также устаревшими научно-методическими документами, не отвечающими современным требованиям.

Кроме того, назрела необходимость разработки нормативных документов по координации работ УГМС на устьевых объектах бассейнов арктических морей применительно к современным условиям. В первую очередь, должны быть определены порядок взаимодействия между УГМС и их функциональные обязанности на бассейновом и территориальном уровнях с учетом особенностей режима устьевых объектов бассейнов арктических морей. Роль и функциональные обязанности ААНИИ должны соответствовать современным правовым и нормативным актам, базирующимся на Водном Кодексе РФ № 74-ФЗ от 03.06.2006 2006 года.

### Литература

1. Водная стратегия Российской Федерации до 2020 года. Введена Распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р.
2. Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 29.07.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.11.2017).
3. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 29.07.2017).
4. Приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 111 «Об утверждении Методики водохозяйственного районирования территории Российской Федерации».
5. 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.
6. Иванов В.В., Третьяков М.В. Состояние и проблемы совершенствования государственного мониторинга устьевых областей рек Арктической зоны Российской Федерации // Научный вестник ЯНАО. – 2017. – № 1 (94) – С. 26-30.
7. Постановление Правительства РФ от 30.11.2013 г. №1104 О федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах». 196 с.
8. Обеспечить научное и научно-методическое сопровождение функционирования гидрологической сети в условиях ее модернизации (заключительный). Отчет ААНИИ в рамках темы 1.2.1.2 Плана НИОКР Росгидромета на 2016 год, науч. рук. Иванов В.В., Фонды ААНИИ инв. № Р-6316, 2016. – 130 с.
9. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. Утвержден 04.02.1977, введен 01.07.1978. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005823> (дата обращения: 01.11.2017).
10. Конституция РФ// Российская газета от 25 декабря 1993 года.
11. Федеральный закон «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» от 31.07.1998 № 155-ФЗ (ред. от 18.07.2017).
12. Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. Ратифицирована Федеральным законом РФ от 26 февраля 1997 года № 30-ФЗ.
13. Приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 111 «Об утверждении Методики водохозяйственного районирования территории Российской Федерации».
14. Приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 112 «Об утверждении методики гидрографического районирования территории Российской Федерации».
15. Приказ МПР РФ от 11 октября 2007 года № 265 «Об утверждении границ бассейновых округов».
16. Иванов В.В., Терехова Р.А. Организационно-методическое взаимодействие ААНИИ и УГМС по подготовке к изданию материалов Водного кадастра по морским устьям рек Арктической зоны РФ // Труды ГОИН. – 2013. – Выпуск 214. – С. 213–222. УДК 556.54(98). Табл. 1, библи. 5.
17. Отчет по теме 1.2.1.2 Плана НИОКР Росгидромета на 2017-2019 годы «Обеспечить научное и научно-методическое сопровождение функционирования гидрологической сети в условиях ее модернизации в Арктической зоне РФ» (промежуточный). Отв. исполнитель темы Иванов В. В. С. 12–19.

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ОЗЕРА

М.А. Терешина<sup>1</sup>, О.Н. Ерина<sup>1</sup>, Е.А. Вилимович<sup>1</sup>, Д.И. Соколов<sup>1</sup>, Н.М. Коровчинский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

## COMPARISON OF DIFFERENT MODELS EFFICIENCY IN STUDYING THERMAL REGIME OF A STRATIFIED LAKE

M.A. Tereshina<sup>1</sup>, O.N. Erina<sup>1</sup>, E.A. Vilimovich<sup>1</sup>, D.I. Sokolov<sup>1</sup>, N.M. Korovchinskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

*Термический режим озера Глубокого, расположенного в Московской области, был воспроизведен с помощью двух одномерных моделей – GLM и MyLake. Сопоставлены результаты калибровки моделей, анализируются их сильные и слабые стороны.*

*Two one-dimensional lake models – GLM and MyLake – were used to simulate thermodynamics of Lake Glubokoye in Moscow Region. Calibration results for two models are compared, their strengths and weaknesses are analyzed.*

Температурный и динамический режим озер является неотъемлемым фактором функционирования водных экосистем, так как абсолютно все биологические процессы так или иначе подвержены влиянию абиотических факторов. Устойчивая температурная стратификация, возникающая летом в озерах умеренной зоны, является ярким примером того, как гидрофизика озер влияет на динамику их экологического состояния. Параметры вертикального плотностного распределения влияют на перенос питательных веществ и растворенных газов между различными слоями водоема, определяют возможности для развития тех или иных живых организмов.

Использование методов математического моделирования помогает получить развернутое представление о термическом режиме озер даже при ограниченном объеме данных натурных наблюдений за вертикальным распределением температуры воды. Однако, из-за большого разнообразия подходов и их реализаций, в настоящее время существует проблема выбора модели для решения конкретных задач. Для большинства малых и средних озер, как правило, достаточным оказывается одномерное представление водоема.

В настоящей работе были рассмотрены две одномерных динамических модели водоемов: MyLake и GLM. Эти модели появились сравнительно недавно, но уже доказали свою успешность на примере множества водоемов по всему миру. Обе они воспроизводят вертикальный профиль температуры воды с шагом в 1 сутки, позволяя проследивать сезонную динамику термической структуры озера.

Модель MyLake была разработана сотрудниками Норвежского института водных исследований (NIVA) в 2004 году. Моделирование температурного профиля в модели MyLake основано на комплексе, объединяющем 2 подхода: первый основан на уравнении диффузии, второй – на энергетическом балансе. Расчет ведется по равномерной сетке, шаг модели по глубине – 1 метр [1].

Модель GLM (General Lake Model) разрабатывается в Университете Западной Австралии (UWA) и основывается на принципах, ранее реализованных в модели DYRESM, впервые она была представлена в 2012 году. Расчет тепло- и массообмена в модели производится исключительно по энергетическому принципу (сопоставление доступной для перемешивания кинетической энергии и устойчивости водной толщи), при этом вертикальная структура озера не разделяется по равномерной сетке, а разбивается на однородные по плотности слои с переменной толщиной [2].

В качестве объекта исследования выбрано озеро Глубокое, расположенное в Рузском районе Московской области, на территории одноименного государственного заказника (рис. 1). Выбор объекта обусловлен наличием данных по температуре поверхности воды за период с 1991 года, а также данных учащенных наблюдений за вертикальным распределением температуры воды за

теплый период 2017 года. Максимальная длина озера составляет 1200 м, ширина – 850 м, максимальная глубина достигает 32 метров, средняя глубина – 9,3 м. Площадь зеркала составляет 593 тыс. м<sup>2</sup>, объем – около 5,5 млн м<sup>3</sup>, длина береговой линии – 3414 м. Вода в озеро поступает преимущественно из болот и канав, осадки составляют 74% от общего питания [3].

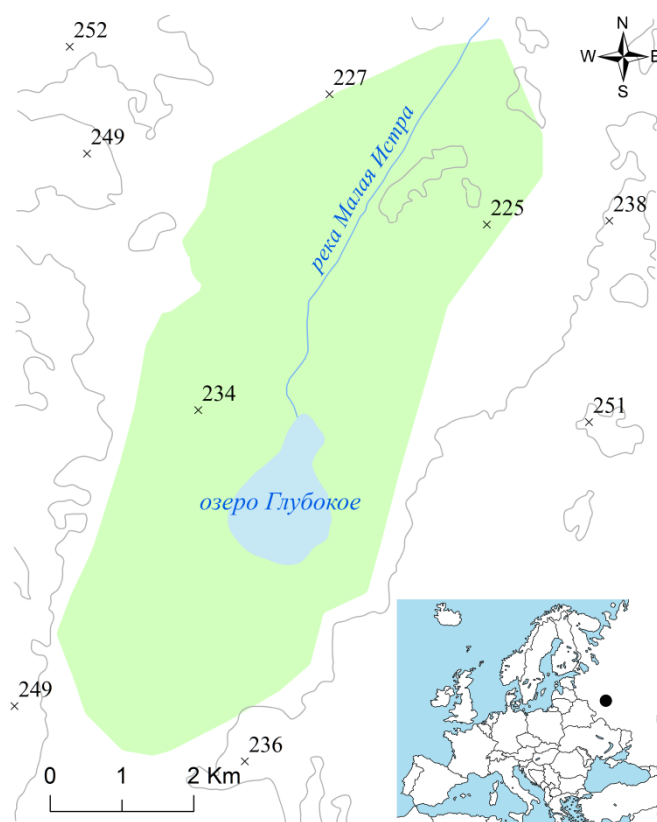


Рис. 1. Географическое положение оз. Глубокое

По термодинамическому режиму оз. Глубокое можно отнести к димиктическому типу. Озеро не имеет притоков, характеризуется малой минерализацией воды и невысокой биологической продуктивностью [4].

В качестве входных данных использовались: батиграфическая кривая озера, ряды среднесуточных значений метеорологических характеристик (для обеих моделей: температура воздуха, относительная влажность, скорость ветра, количество осадков, облачность; только для модели MyLake – атмосферное давление), вертикальный профиль температуры воды в начальный период времени. В качестве метеорологических характеристик использовались данные наблюдений метеостанции Можайск.

Оптимизация параметров модели велась с использованием данных учащенных наблюдений за вертикальным распределением температуры воды в оз. Глубоком за вегетационный период 2017 года. Оптимизация параметров модели проводилась автоматически с помощью функции `modFit`, реализованной в пакете FME [5] в программной среде R. Основой выбранной функции является алгоритм Нелдера-Мида по поиску локального экстремума (минимума) функции. В качестве критерия оптимизации использовалось значение среднеквадратической ошибки расчета температуры воды (RMSE). Для оценки качества модели также использовались другие показатели: средняя абсолютная ошибка (MAE), и индекс Тейла [6], который широко применяется в экологическом моделировании (качество моделирования считается удовлетворительным при значении индекса менее 0,4).

В результате калибровки моделей была достигнута значительная сходимость рассчитанных характеристик с фактическими данными. Статистические характеристики качества полученных модельных оценок представлены в таблице 1. Значения выбранных характеристик позволяют сделать вывод о хорошем воспроизведении термического режима озера обеими моделями:

среднеквадратическая ошибка расчета температуры воды RMSE не превышает в обоих случаях  $1^{\circ}\text{C}$ , значения индекса Тейла находятся значительно ниже критического значения (0,4).

Таблица 1. Статистические критерии качества модельного расчета температуры воды оз. Глубокое в 2017 году

Модель	MyLake			GLM		
Параметр	RMSE	MAE	T	RMSE	MAE	T
Значение	1,00	-0,34	0,02	0,90	0,14	0,05
Длина ряда, n	403					

При подробном рассмотрении результатов моделирования был выделен ряд особенностей, связанных с точностью воспроизведения моделями отдельных черт термического режима. Так, вертикальные профили распределения температуры воды по результатам расчета в модели MyLake оказались крайне близки к фактическим во все расчетные даты (рис. 2). Однако, можно заметить, что слой термоклина в модели оказывается более растянутым по вертикали, чем это наблюдалось в реальности, а слой эпилимниона из-за этого оказывается менее мощным.

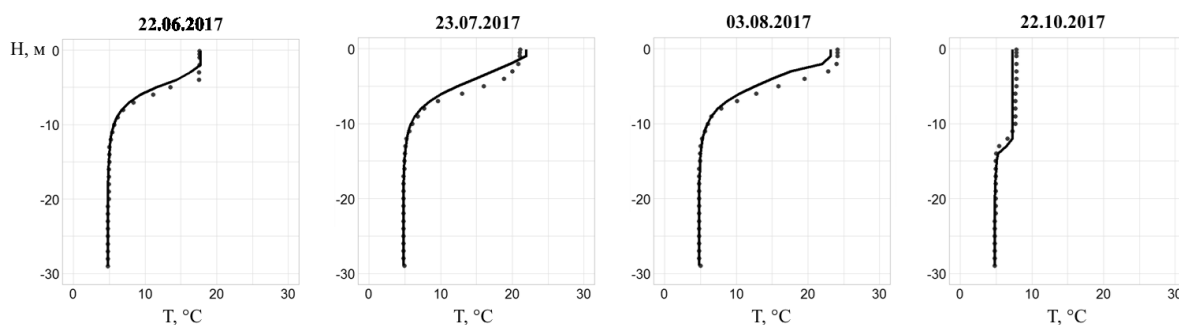


Рис. 2. Сравнение модельных (линия) и фактических (точки) вертикальных распределений температуры воды в оз. Глубокое по результатам расчета в модели MyLake

Результаты расчетов в модели GLM показывают другие отклонения модельных оценок от действительности. В большинстве случаев GLM удается хорошо повторить реальное распределение температуры воды, хотя может наблюдаться чрезмерное перемешивание слоя эпилимниона, в результате чего температура воды в поверхностных слоях может значительно отличаться от данных наблюдений (рис. 3). При этом границы термоклина, как правило, воспроизводятся достаточно точно. Другой проблемой модели GLM оказалось слишком раннее наступление периода осеннего перемешивания, в результате которого вертикальный профиль температур начинает выравниваться, и эпилимнион значительно заглубляется раньше того, чем это наблюдается в действительности. Слишком раннее осеннее перемешивание обнаруживалось при почти любом наборе значений калибровочных параметров, полученных на различных этапах оптимизации модели.

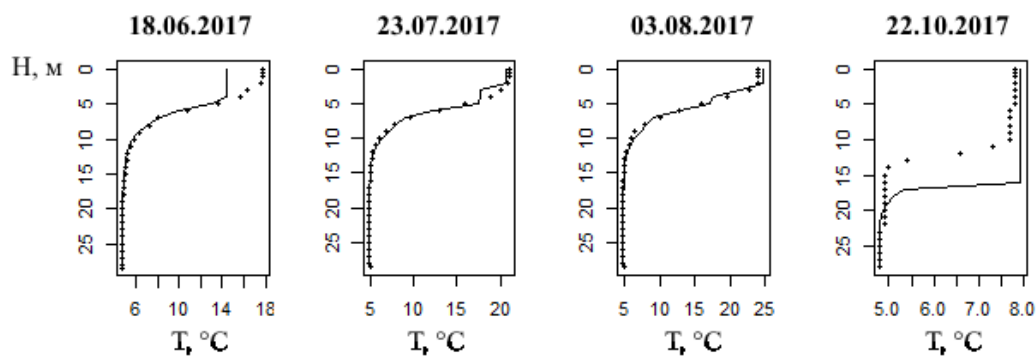


Рис. 3. Сравнение модельных (линия) и фактических (точки) вертикальных распределений температуры воды в оз. Глубокое по результатам расчета в модели GLM

Для более качественного воспроизведения температурного режима оз. Глубокое с помощью моделей MyLake и GLM необходим более тщательный подход к выбору калибровочных параметров, а также расширение объема данных для калибровки и верификации.

В целом оптимизация параметров моделей позволила добиться достаточно высокой точности воспроизведения термического режима оз. Глубокое, хотя для отдельных характеристик наблюдается расхождение модельных оценок с фактическими значениями. Дальнейшее совершенствование подходов к калибровке моделей и расширение базы данных учтенных наблюдений за температурой воды в озере должны позволить добиться полного соответствия модельных расчетов действительности, что даст возможность перейти к использованию выбранных моделей для получения более точных характеристик термического режима озера и их прогностических оценок.

### Литература

1. Saloranta, T.M., Andersen, T MyLake (v.1.1): Technical model documentation and user's guide for version 1.1. Norwegian Institute for Water Research, 2004. 44 p.
2. Hipsey, M.R., Bruce, L.C., Hamilton, D.P. GLM - General Lake Model: Model overview and user information. AED Report #26, The University of Western Australia, Perth, Australia, 2014. 42pp.
3. Муравейский С.Д. Морфометрия Глубокое озера // Труды Лимнол. Станции в Косине. Вып. 13-14, 1931. С. 29-46.
4. Щербаков А.П. Озеро Глубокое. М.: Издательство "Наука", 1967. 380 с.
5. Soetaert, K., Petzoldt, T. Inverse Modelling, Sensitivity and Monte Carlo Analysis in R Using Package FME // Journal of Statistical Software, №33(3), 2010. Pp. 1-28.
6. Гидрологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М.: Издательство "Перо", 2015. 286 с.  
*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-35-00691 мол а.*

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project 18-35-00691.*



## КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛИЧЕСТВА СПЛОЧЕННЫХ ЛЬДОВ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В ПЕРИОД НАВИГАЦИИ

А.Б. Тимофеева<sup>1</sup>, С.В. Хотченков<sup>1</sup>, А.В. Юлин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## CLIMATE VARIABILITY OF THE LAPTEV SEA ICE MASSIVE DURING NAVIGATION PERIOD

A.B. Timofeeva<sup>1</sup>, S.V. Khotchenkov<sup>1</sup>, A.V. Yulin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic research institute, St. Petersburg, Russia

*Проанализированы особенности сезонной изменчивости ледяных массивов моря Лаптевых, в том числе осредненные по типам ледовых условий (тяжелые, средние, легкие) в близкие к 30-летним климатические периоды относительного «похолодания» (1954-1985гг) и «потепления» (1986-2017гг).*

*Season variability peculiarities of the Laptev Sea ice massive, including peculiarities averaged by types of ice conditions (hard, medium, light), were analyzed for close to 30-year climate periods of «cooling»(1954-1985yy) and «warming»(1986-2017yy).*

В летний период в море Лаптевых выделяют 2 квазистационарных ледяных образования [1, 2]: Таймырский и Янский ледяные массивы, различающиеся и происхождением образующих их льдов, и режимными характеристиками. Таймырский ледяной массив, образуется узким припаем и дрейфующими льдами в западной части моря, в летний период подпитывается льдами, поступающими из Арктического бассейна. К концу периода таяния Таймырский ледяной массив редко исчезает полностью. Янский ледяной массив образуется припайными льдами в восточной части моря. Как правило массив долго сохраняется в начале летнего периода и быстро разрушается после вскрытия припая. Полностью массив исчезает с очень большой повторяемостью – в 83% случаев.

В качестве исходного материала для анализа были использованы данные по площадям ледяных массивов моря Лаптевых, полученные из карт распределения льда архива ААНИИ.

Климатические колебания в Арктике характеризуются сменой периодов похолодания и потепления [3, 4, 5]. Продолжительность такого цикла близка к 60 годам, с выделяющимися приблизительно 30-летними периодами относительного «похолодания» и «потепления». При анализе изменчивости аномалий среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70-85 с.ш. установлено, что переход к относительному «похолоданию» наблюдается в середине 50-х, а начало периода относительного «потепления» в середине 80-х. На основе этого в рассматриваемом 64-летнем периоде с 1954 по 2017 гг. можно выделить условно «холодный» период – 1954-1985 гг. (далее «холодный»), и условно «теплый» – 1986-2017гг. (далее «теплый»). В настоящей работе были проанализированы особенности сезонной изменчивости ледяных массивов, в том числе осредненные по типам ледовых условий (тяжелые, средние, легкие), указанные климатические периоды «похолодания» и «потепления».

В ходе анализа данных по Таймырскому ледяному массиву выявлено, что процессы таяния в «теплый» период идут быстрее, достижение минимальных величин площади ледяного массива при разрушении наступает раньше, приблизительно к началу сентября (рисунок 1). В течение всего сезона средние значения площади Таймырского массива в «теплый» период в среднем на 8% меньше, чем значения в «холодный» период.

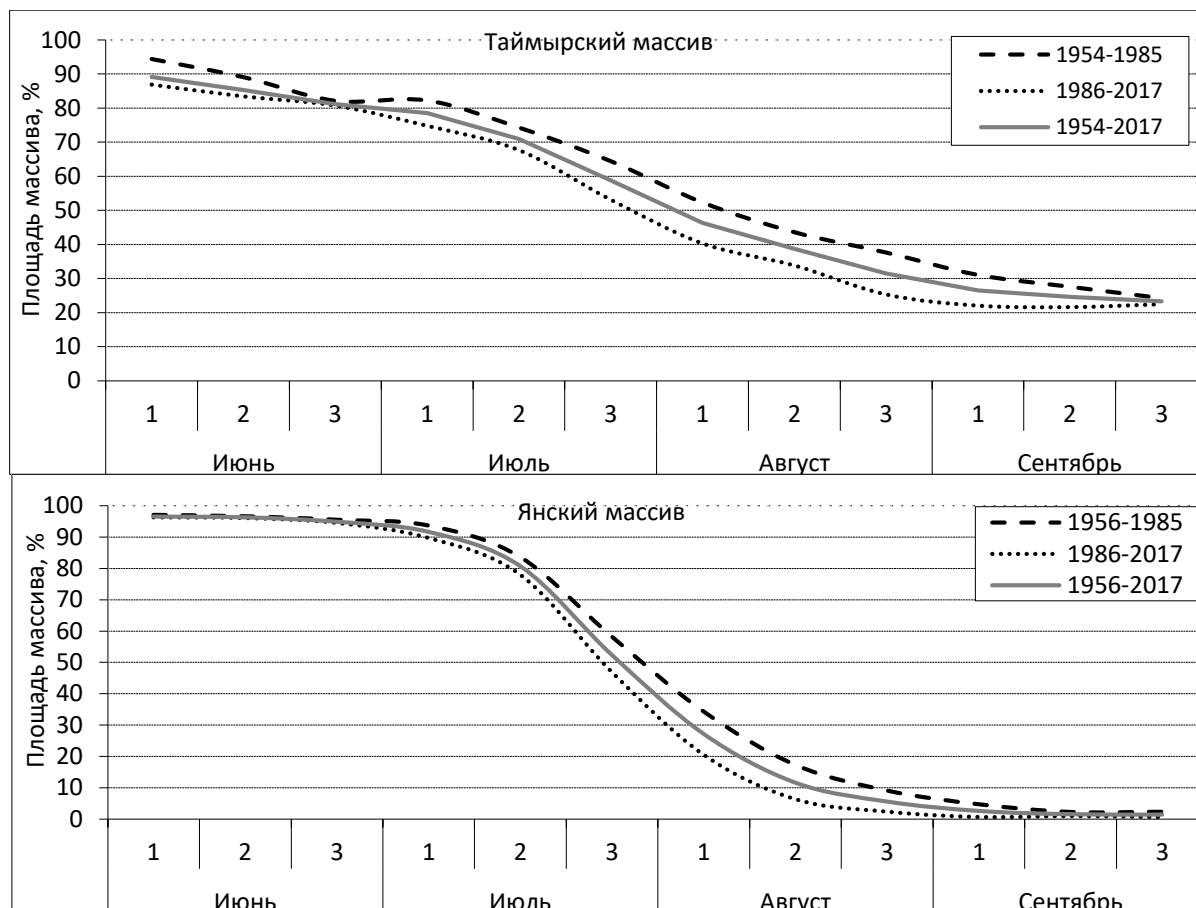


Рис. 1. Среднемноголетний сезонный ход площади Таймырского и Янского массивов в «теплый» и «холодный» периоды

Характерной режимной особенностью Янского ледяного массива является его длительное, практически неизменяемое, сохранение в первой половине лета, в среднем до середины июля. После вскрытия припая наблюдается быстрое лавинообразное разрушение до полного очищения акватории в подавляющем большинстве случаев (83%). Сезонный ход в условно «теплый» и «холодный» периоды существенно не различаются (рисунок 1), однако заметно, что процесс интенсивного таяния в «теплый» период начинается приблизительно на декаду раньше, и полное исчезновение массива чаще происходит уже в конце августа – начале сентября, а не во второй декаде сентября, как в «холодный» период.

Чтобы качественно оценить сложность ледовых условий обычно используют простую типизацию, в которой выделяют 3 типа: тяжелые, средние и легкие. Для удобства оценки отклонения от нормы используется нормирование ряда наблюдений по среднеквадратичному отклонению ( $\sigma$ ) и критерию значимости аномалий [6].

За период наблюдений с 1954 по 2017 гг. на годы со средними ледовыми условиями приходится более половины всех случаев в августе (характерно для обоих, Таймырского и Янского массивов) и в сентябре (для Таймырского). На остальные годы, определяемые как тяжелые и легкие по ледовым условиям, приходится вторая половина случаев, которые распределены между собой почти поровну, как в августе, так и в сентябре, при этом количество лет с легкими условиями незначительно, всего на 1-2 года, больше количества лет, в которых наблюдались тяжелые условия (таблица 1). Особенностью отличается распределение лет по типам ледовых условий Янского массива в сентябре: поскольку в подавляющем большинстве случаев Янский массив полностью исчезает, отсутствуют годы, которые можно было бы классифицировать как годы с легкими ледовыми условиями. В 92% случаев тип развития ледовых условий определяется как средние, и лишь 8% относятся к тяжелым.

Таблица 1. Количество и повторяемость (%) лет с различными типами развития ледовых условий Таймырского и Янского ледяных массивов в море Лаптевых в августе-сентябре за период 1954-2017гг

Тип условий	Критерий типизации	август		сентябрь	
		Количество лет	Повторяемость, %	Количество лет	Повторяемость, %
<b>Таймырский массив</b>					
тяжелые	$\geq 0,8\sigma$	12	19	16	25
средние	$\pm 0,8\sigma$	38	59	33	52
легкие	$\leq -0,8\sigma$	14	22	15	23
<b>Янский массив</b>					
тяжелые	$\geq 0,8\sigma$	12	19	5	8
средние	$\pm 0,8\sigma$	37	58	59	92
легкие	$\leq -0,8\sigma$	15	23	0	0

В ходе анализа количественного распределения лет по типам условий для каждого из климатических периодов выявлено, что в «холодный» период чаще наблюдались годы с тяжелым типом развития ледовых процессов, которые почти в половину реже встречались в «теплый» период. И, наоборот, в «теплый» период, количество лет с легким типом развития ледовых процессов почти в половину преобладает над таковым в течение «холодного» периода. Количество лет, в которые наблюдались ледовые условия среднего типа приблизительно одинаковое для «холодного» и «теплого» периодов. Это характерно для обоих массивов. Результаты представлены на рисунке 2.

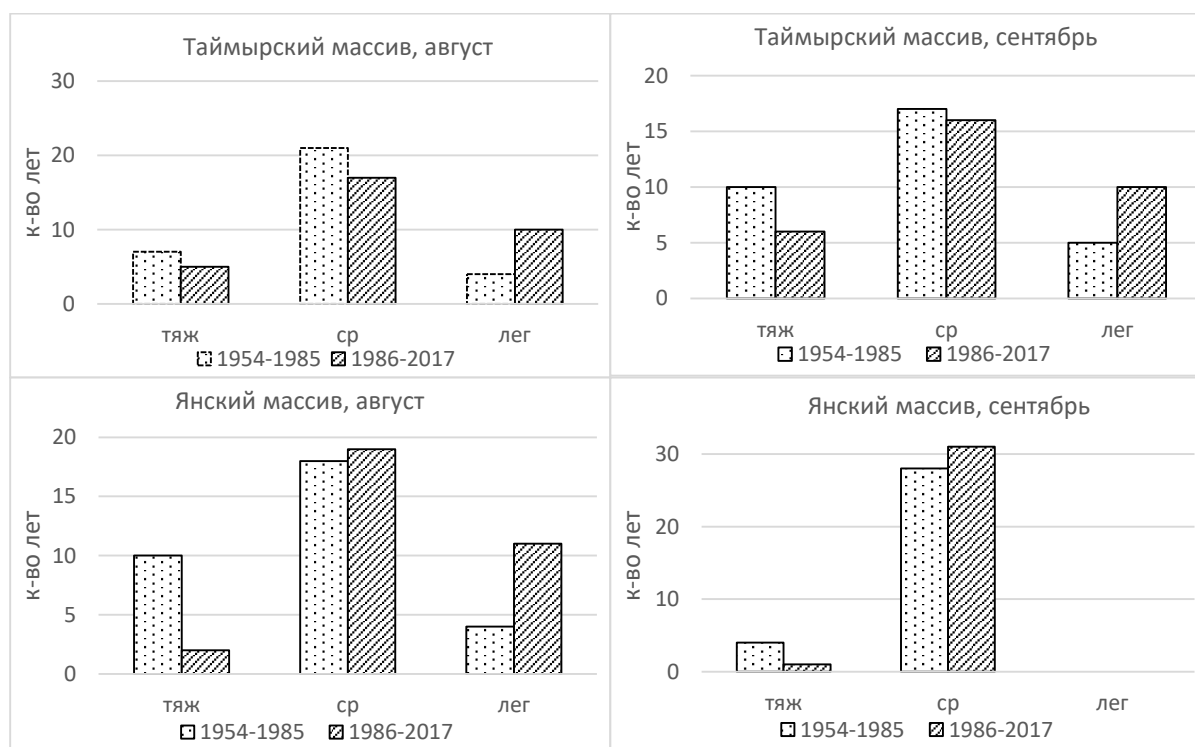


Рис. 2. Повторяемость лет с различными типами развития ледовых условий Таймырского и Янского ледяных массивов в августе, сентябре в «холодный» и «теплый» периоды

Поскольку климатические колебания отражаются на сезонных процессах разрушения ледяных массивов, интерес представляет собой сравнительный анализ сезонного развития каждого из типов ледовых условий (тяжелые, средние, легкие) в исследуемых периодах относительного «похолодания» и «потепления». Сравнительный анализ сезонных изменений,

идущих по трем типам ледовых условий отдельно для «теплого» и «холодного» климатических периодов представлен на рисунке 3.

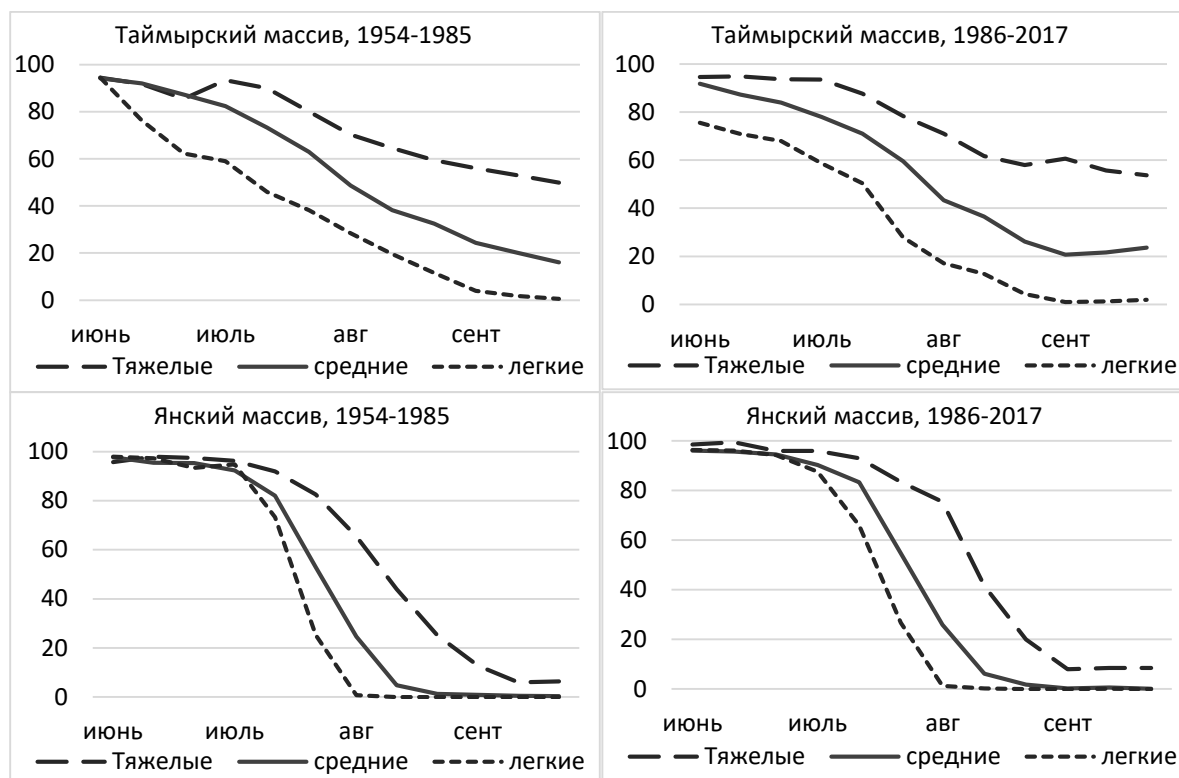


Рис. 3. Сезонные изменения ледовых условий Таймырского и Янского массивов тяжелого, среднего и легкого типа в «холодный» и «теплый» климатические периоды

При общей схожести типовых сезонных изменений Таймырского массива в разные климатические периоды, можно выделить существенное различие, касающееся легкого типа условий. В легкие годы «теплого» периода площадь массива в начале таяния меньше на 19% по сравнению с «холодным» периодом, а достижение значений, близких к полному разрушению массива, наблюдается на декаду раньше, чем в «холодный» период. То есть процессы разрушения сплоченных льдов массива в последний «теплый» период начали проходить значительно интенсивнее и раньше по срокам, чем в предыдущий «холодный». Значительных различий типовых сезонных изменений Янского массива между климатическими периодами не выявлено.

### Литература

1. Гордиенко П.А. О ледовых массивах Арктических морей // Проблемы Арктики, 1945. №1. С. 94-97.
2. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. Ред. Миронов Е.У. С-Пб.: Изд-во ААНИИ, 2010. 320 с.
3. 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.
4. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т. 2, Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 136 с.
5. Frolov I., Gudkovich Z., Karklin V., Kovalev E. Smolyanitsky V. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Centennial Ice Cover Observations. Praxis Publishing Ltd. UK, Chichester. 2009. 164 p.
6. Юлин А.В., Бровин А.И. К вопросу о выделении градаций аномальности в рядах гидрометеорологических элементов // Труды ААНИИ. Т. 423. 1990. С.84-88

## УЧЁТ ГЕНЕЗИСА СТОКА ВОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СТОКА РАСТВОРЁННЫХ ВЕЩЕСТВ

Л.А. Тимофеева<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, О.А. Янковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ASSESSMENT OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS BASED ON STREAM FLOW ORIGIN

L.A. Timofeeva<sup>1</sup>, Cand. Sc., O.A. Yankovskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Предложен метод оценки стока растворённых веществ малых рек с учётом генезиса их питания. Результаты, полученные различными методами, интерпретированы в рамках ландшафтно-гидрологического подхода.*

*A method for assessment of annual total dissolved solids in small-sized rivers is presented, which considers stream flow origin. Results obtained with different methods are discussed within the framework of landscape-hydrological approach.*

### **Введение.**

Сток растворенных веществ (СРВ) – один из компонентов речного стока. Традиционно СРВ оценивается на основе среднегодового значения общей минерализации. При этом не всегда учитываются особенности гидрохимического режима рек, который, в свою очередь, определяется гидрологическим режимом и ландшафтными особенностями водосборов.

Гидрохимический режим малых рек отражает процесс смены в русловой сети вод различного происхождения. Подробно формирование химического состава речных вод в различные фазы водного режима рассмотрено в [1, 2] и др. На реках Восточно-Европейского типа весеннее половодье и дождевые паводки формируются поверхностно-склоновым и почвенно-поверхностным маломинерализованным стоком, а сток во время межени обеспечивают высоко минерализованные почвенно-грунтовые и грунтовые вод.

Предложенный авторами способ оценки СРВ основан на выделении генетически однородных частей стока в его общем объёме за год. Анализ результатов определения СРВ, полученных различными методами, раскрывает некоторые причины, затрудняющие надёжную оценку стока растворённых веществ при существующей системе гидрохимического мониторинга.

### **Материалы и методы.**

Изучены шесть малых рек юго-восточной части бассейна Балтийского моря: Тигода, Кереть, Полисть, Желча, Исса, Резекне. Территория климатически и геологически однородна, но ландшафты водосборов и характер питания рек разнообразны, что обуславливает определённые гидрохимические различия.

Для понимания ландшафтно-гидрологических особенностей объектов на основе данных Водного кадастра РФ за несколько лет периода 1946–2014 гг. были оценены:

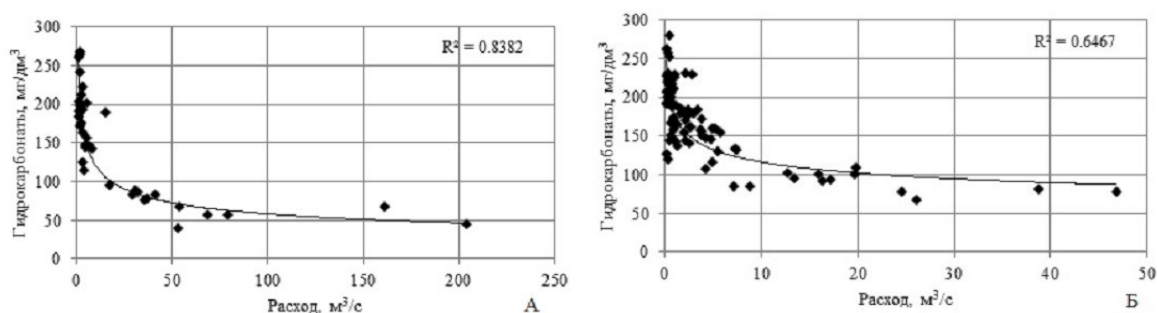
– *степень естественной зарегулированности стока.* Показатель естественной зарегулированности ( $\varphi$ ) численно равен отношению площади гидрографа, расположенной ниже ординаты среднегодового расхода (базисный сток), к общей площади этого гидрографа (годовой сток). Базисная часть стока характеризует естественную зарегулированность водосбора и его аккумулирующую способность [3];

– *доли генетически однородных составляющих стока за год.* Расчленение гидрографов по видам питания выполнено по методу Б.И. Куделина – О.В. Попова. Дождевые паводки выделялись со срезкой подземного стока. Для контроля использованы данные о температуре воздуха и осадках, доступные на сайте Мирового центра данных meteo.ru. Суммарный сток половодья и значительных паводков будем называть преимущественно поверхностным стоком ( $\beta$ ), а остальную часть стока за год – преимущественно подземным ( $\alpha$ ). Всего в AutoCAD построено и проанализировано 65 гидрографов, от 8 до 14 для отдельных рек. В таблице 1 представлены результаты графо-аналитического анализа и гидрографические характеристики водосборов.

Таблица 1. Характеристики гидрологического режима рек и ландшафтов их водосборов

Река – Пункт	F, км <sup>2</sup>	f <sub>оз</sub> , %	f <sub>бол</sub> , %	f <sub>лес</sub> , %	Средние доли видов питания		Средний коэффициент естественной зарегулированности стока, φ
					подземное, α	поверхностное, β	
Кереть–Сябренцы	833	<1	7	75	0,23	0,77	0.36
Тигода –Любань	589	<1	14	74	0,36	0,64	0.39
Полисть –Коробинец	1160	5	26	46	0,41	0,59	0.64
Исса –Визги	1410	1	4	53	0,39	0,61	0.53
Резекне –Гришканы	504	12	5	10	0,53	0,47	0.60
Желча –Ямм	1220	1	8	74	0,64	0,36	0.74

– зависимость ионного состава и общей минерализации от водности. Анализировался период с 1946 г. по 1988 г., большинство проб были отобраны до 1975 г. Всего проб 310, максимальное число проб – 85 – отобрано на р. Резекне, минимальное – 34 – на р. Полисть. Содержание многих показателей (С) и значения общей минерализации ( $\Sigma_{и}$ ) изменяются с изменением водности и сменой преобладающего источника питания [4]. Зависимости  $C=f(Q)$  надёжны для большинства главных ионов (коэффициент детерминации линии тренда  $R^2 \geq 0.49$ ), поэтому зависимости  $\Sigma_{и}=f(Q)$  так же надёжны для всех рек. На рис. 1 представлены зависимости концентрации  $\text{НСО}_3^-$  от водности для рек Исса и Резекне, ландшафтно-гидрологические характеристики водосборов которых существенно отличаются (см. таблица 1).

Рис. 1. Зависимость концентрации  $\text{НСО}_3^-$  от водности: А – р. Исса, Б – р. Резекне

Значения среднегодовой общей минерализации были рассчитаны следующими методами: среднего арифметического, средневзвешенного по расходу воды (учитывается водность в момент отбора пробы) [5], по уравнению связи  $\Sigma_{и}=f(Q)$ . Последний метод рекомендован действующим РД 52.24.748-2010, разработанным Гидрохимическим институтом Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Помимо этих трёх известных подходов, использован разработанный авторами метод, позволяющий учесть доли различных видов стока в общем стоке воды за год. При этом значение среднегодовой общей минерализации рассчитывается по формуле:

$$\Sigma_{и.ср.г.} = \alpha \Sigma_{и.пр.подз} + \beta \Sigma_{и.пр.пов} \quad (1)$$

Значения общей минерализации преимущественно подземного  $\Sigma_{и.пр.подз}$  и преимущественно поверхностного стока  $\Sigma_{и.пр.пов}$  оцениваются по данным за соответствующие фазы водного режима. Если же пробы не были отобраны в различные фазы, то недостающие данные восстанавливаются по эмпирическим кривым распределения общей минерализации.

Очевидно, что любой из использованных четырёх методов позволяет достаточно надёжно оценить значение среднегодовой общей минерализации только при наличии большого числа проб в году (желательно не менее 7), отобранных в различные фазы водного режима.

Сток растворённых веществ оценивался на основе значений среднегодовой общей минерализации, рассчитанных по четырём указанным методам для шести рек за годы, для которых удалось определить доли видов питания и соответствующие им значения общей минерализации. Объём стока растворённых веществ за год  $R_{и}$  (т/год) рассчитывается по формуле:

$$R_{и} = R_{в} \Sigma_{и,ср.г.}, \quad (2)$$

где  $R_{в}$  – сток воды за год, м<sup>3</sup>/год, а  $\Sigma_{и,ср.г.}$  – среднегодовая минерализация в т/м<sup>3</sup>.

#### Анализ и обсуждение результатов.

Наименьшая близость оценок стока растворённых веществ, полученных различными методами, отмечается при малом количестве проб в году (до 4), а наибольшая – при их числе от 8 до 12. Так же важно, чтобы пробы были отобраны в различные фазы водного режима. Однако программы мониторинга качества вод в пунктах IV категории, расположенных на рассмотренных объектах, предусматривают отбор проб один раз в квартал. В годы, когда пробы были отобраны только в период межени, полученные разными методами оценки СРВ могут различаться на порядок. Например, всего две пробы отобраны в меженный период на р. Кереть в 1972 г. (рис. 2Б). Если пробы отбираются в разные по водности фазы водного режима, то оценки СРВ отличаются не более, чем на 60 % (рис. 2А).

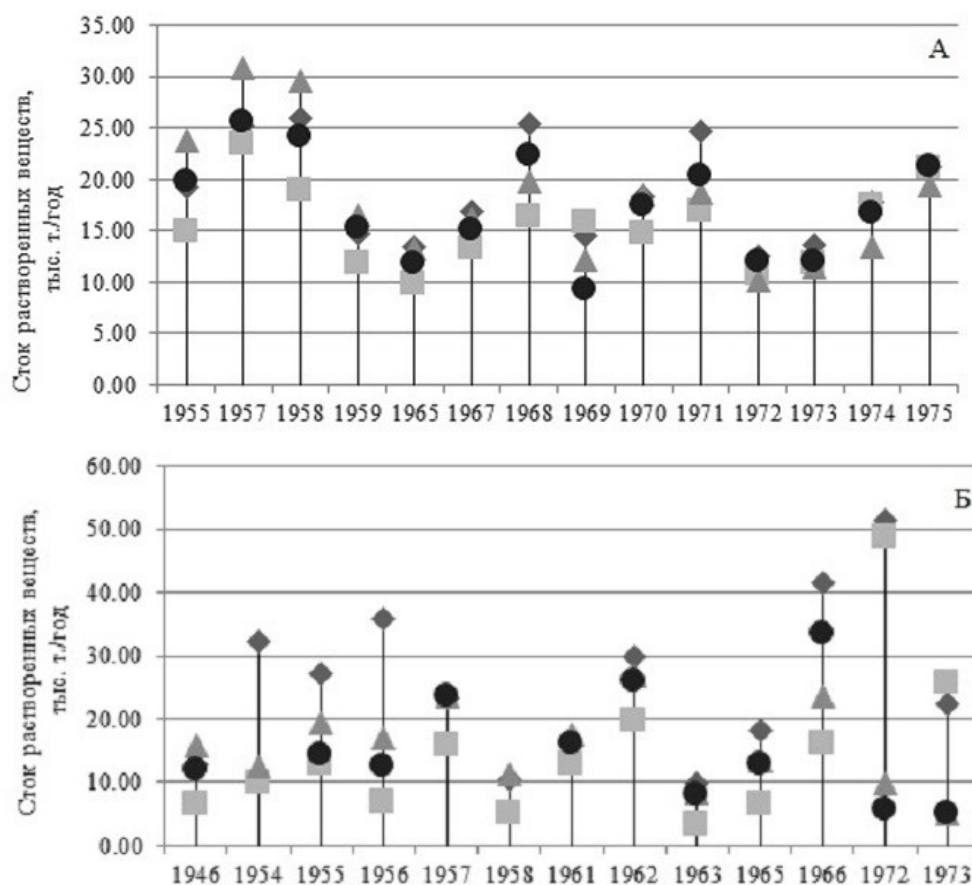


Рис.2. Сток растворенных веществ р. Резекне (А) и р. Кереть (Б). Методы определения среднегодовой минерализации:  $\blacklozenge$  – среднего арифметического;  $\blacksquare$  – средневзвешенного по расходу воды;  $\blacktriangle$  – по уравнению связи  $\Sigma_{и} = f(Q)$ ;  $\bullet$  – с учётом долей видов питания.

Кроме того, на результаты влияют ландшафтные особенности. Так, при равном количестве проб для рек с высокой естественной зарегулированностью стока и значительной озёрностью водосборов оценки СРВ, полученные различными методами, отличаются меньше (реки Резекне, Желча, Полисть). Это обусловлено незначительной изменчивостью общей минерализации вод таких рек (коэффициент вариации  $C_v$  изменяется от 0.29 до 0.45), что объясняется относительно высоким базисным стоком в течение года, химический состав которого достаточно постоянен.

Представленные на рис. 2 результаты оценки СРВ подтверждают эти предположения: р. Резекне (количество проб в году 4-12, значительно зарегулирована,  $\varphi=0.6$ ) и р. Кересть (количество проб в году 2-7, не значительно зарегулирована,  $\varphi=0.36$ ) – очевидно, что оценки СРВ для Резекне различаются меньше.

Метод среднего арифметического часто даёт наибольшие значения – завышает реальные величины, – так как большинство проб отбираются в межень, когда минерализация речной воды максимальная. Метод средневзвешенного по расходу воды почти всегда даёт наименьшие значения из-за малых расходов в момент отбора большинства проб. Наиболее достоверной представляется оценка СРВ, основанная на применении зависимости  $\Sigma_i=f(Q)$ . Близкие результаты даёт метод, основанный на оценке долей видов питания. Оба этих метода учитывают, в некоторой степени, ландшафтно-гидрологические особенности водосборов.

Можно заключить, что для рек с высокой естественной зарегулированностью при достаточно большом количестве проб среднегодовую минерализацию и СРВ можно оценивать любым методом. В остальных случаях, прежде чем выбрать тот или иной метод, следует проанализировать имеющиеся данные на предмет не только количества проб, но и времени их отбора. При наличии надёжной связи  $\Sigma_i=f(Q)$  оценить СРВ можно по среднегодовой минерализации, определенной по среднегодовому расходу, но для построения такой зависимости необходим репрезентативный массив гидрохимических и гидрологических данных.

Предложенный авторами метод позволяет непосредственно учесть генезис стока, а не условия отбора отдельных проб. Выделить доли преимущественно поверхностной и подземной составляющих стока реки при наличии электронных баз данных технически довольно просто. Однако надёжно оценить значения их общей минерализации при отсутствии наблюдений в разные фазы водного режима достаточно проблематично.

Следует подчеркнуть, что существующая система мониторинга качества вод малых рек и труднодоступность его результатов серьёзно ограничивают реализацию не только предложенного авторами метода, но и любые возможности достоверной оценки стока растворённых веществ.

### Литература

1. Атлас гидрохимических характеристик местного стока Европейской территории СССР. / Под редакцией П.П. Воронкова, Л.: Гидрометеиздат, 1972.
2. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1955.
3. Догановский А.М. Гидрология суши. Общий курс. СПб.: РГГМУ, 2012.
4. Фадеев В.В., Тарасов М.Н., Павелко В.Л. Зависимость минерализации и ионного состава воды рек от их водного режима. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
5. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб.: Гидрометеиздат, 2001.



## ЧИСЛЕННОЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШОГО БАЛТИЙСКОГО ЗАТОКА

Н.А. Тихонова<sup>1,2</sup>, А.В. Гусев<sup>3</sup>, Е.А. Захарчук<sup>1,2</sup>, В.Н. Сухачев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия

## NUMERICAL HYDRODYNAMIC MODELING BIG BALTIC INFLOW

N.A. Tikhonova<sup>1,2</sup>, A.V. Gusev<sup>3</sup>, E.A. Zakharchuk<sup>1,2</sup>, V.N. Sukhachev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg Branch State Oceanographic Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Institute of Numerical Mathematics Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*С помощью модели INMOM моделируются два больших балтийских затока 2003 и 2014гг. Исследуются особенности пространственных изменений уровня поверхности, а также придонной солености в системе вод Северного и Балтийского морей.*

*Using the INMOM model, two large Baltic floods of 2003 and 2014 are modeled. The features of spatial changes in the sea level, as well as near-bottom salinity in the system of waters of the Northern and Baltic Seas, are studied.*

### **Введение.**

Большие балтийские затоки (ББЗ) являются одним из важнейших процессов, влияющих на экологическое состояние Балтийского моря. Высокосолёные и обогащенные кислородом североморские воды, поступающие в Балтику во время таких заток, способны обновлять придонные и глубинные воды. С 1880-х по начало 1980-х годов большие балтийские затоки наблюдались сравнительно часто – раз в 3-4 года. В последние же десятилетия интервал стагнации стал составлять 10-11 лет. Предпоследний большой заток произошёл в 2003 году, после чего в течение 11 лет это явление не наблюдалось. Последний большой заток произошёл в декабре 2014 года

Считается, что механизм формирования больших балтийских заток известен [1]: сначала в Балтийском море отмечаются восточные переносы воздушных масс, отток воды в Северное море и понижение уровня. В дальнейшем восточные ветры сменяются интенсивными и продолжительными ветрами западных направлений, под действием которых происходит значительный нагон атлантических вод в Северное море и их последующее внедрение в Балтику в виде большого затока. Однако такие ситуации отмечались неоднократно, но они не приводили к большим затокам североморских вод в Балтику. Поэтому, скорее всего механизм больших заток несколько иной и требует уточнения на основе дополнительных исследований.

### **Методы.**

Для исследования больших балтийских заток, была использована модель циркуляции океанов и морей INMOM [2]. Модель INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) была разработана в ИВМ РАН. В её основе лежит система примитивных уравнений крупномасштабной гидротермодинамики океана в приближениях гидростатики и Буссинеска, записанная в обобщенных ортогональных координатах по горизонтали и в  $\sigma$ -системе координат по вертикали. Данная модель была адаптированная к условиям двух морей: Северного и Балтийского.

Для этого была создана сеточная область на два моря с наибольшей детализацией 300-700 метров в Датских проливах, путем помещения туда двух полюсов, в морях же шаг сетки составляет 4- 6 км. Начальные условия были сформированы из данных двух реанализов, Северного и Балтийского морей (<http://marine.copernicus.eu>). На жидких границах Северного моря задавались амплитуды и фазы 8 основных приливных гармоник. (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4). В качестве форсинга для затока 2003 г. задавался реанализ модели WRF (<http://wrf-model.org>). Для моделирования затока 2014 г использовался реанализ ERA Interim (<http://apps.ecmwf.int>).

Для проверки качества расчетов, была использована станция Дарсс Силл (<http://boos.org>), сравнение измеренных данных по солености для затока 2003г с модельными расчетами показало,

что модель достаточно качественно описывает изменчивость солености воды, а также поступление североморских вод, как в течение всего года, так и в период самого затора (рис. 1). Такие же сравнения измеренных и рассчитанных значений солености на станции Дарсс Силл проводились и для затора 2014г, где модель также показала хорошие результаты.

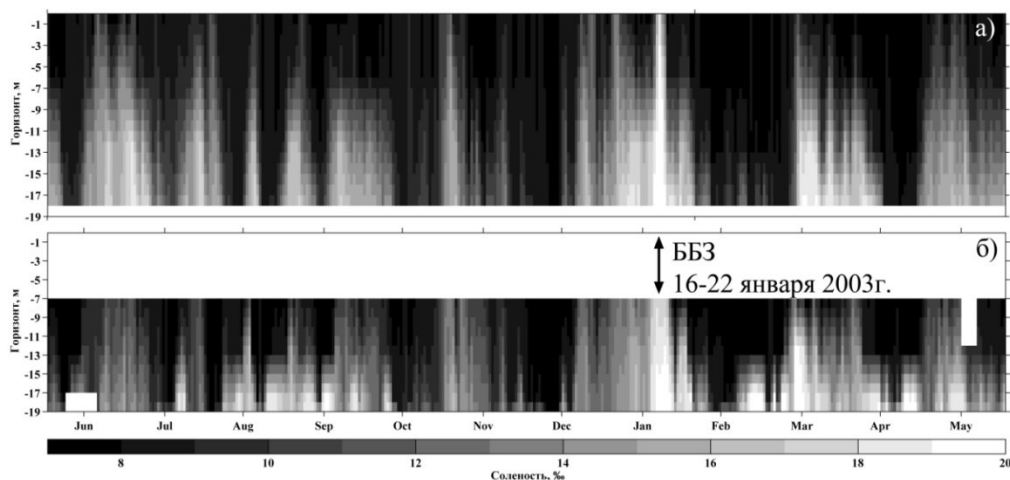


Рис. 1. Сравнение рассчитанной по модели INMOM (а) и измеренной (б) солености на станции Дарсс Силл в 2002-2003гг.

Далее исследуются потоки придонной соленой воды через проливы. До начала большого балтийского затора (рис. 2а), происходит накопление соленых вод в проливах Большой Бельт и Эресун. Затем происходит перемещение соленых вод через пороги Дарс и Дроген. Затем североморские воды, попадают в Арконский бассейн (рис. 2б), далее смещаются в Борнхольмский и затем эта более соленая водная масса, постепенно через Слупский желоб проникает в центральную Балтику. Далее проводился вейвлет анализ [3] (рис. 3) и частотно-направленный спектральный анализ [4] рядов уровня в районе Датских проливов и южной Балтики. Вейвлет- анализ уровня моря показал, что затор североморских вод, в колебаниях уровня проявлялся на периодах 10-15 суток, а также 20 - 30 суток и просматривался в проливах Скагерак (рис. а, б), Каттегатт (рис. в, г), Большой и Малый Бельт, а уже в южной части Балтийского моря (рис. д, е) влияние затора уже не проявляется.

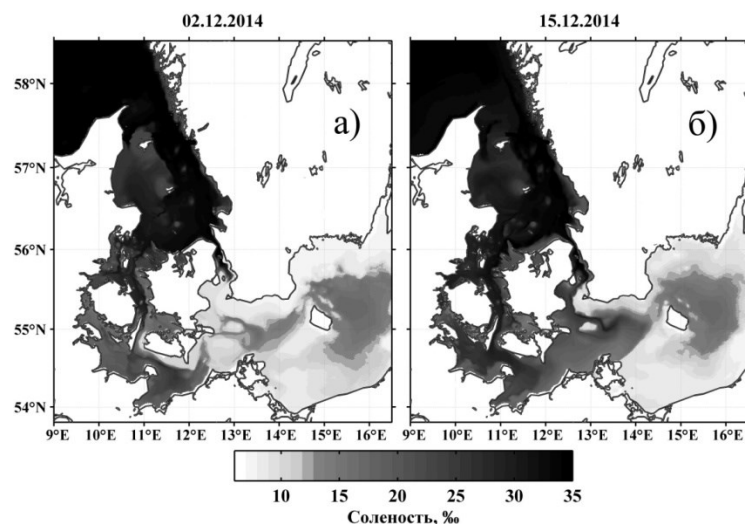


Рис. 2. Придонная соленость в датских проливах перед началом БИЗ 2014г (а) и в период БИЗ (б) по результатам моделирования

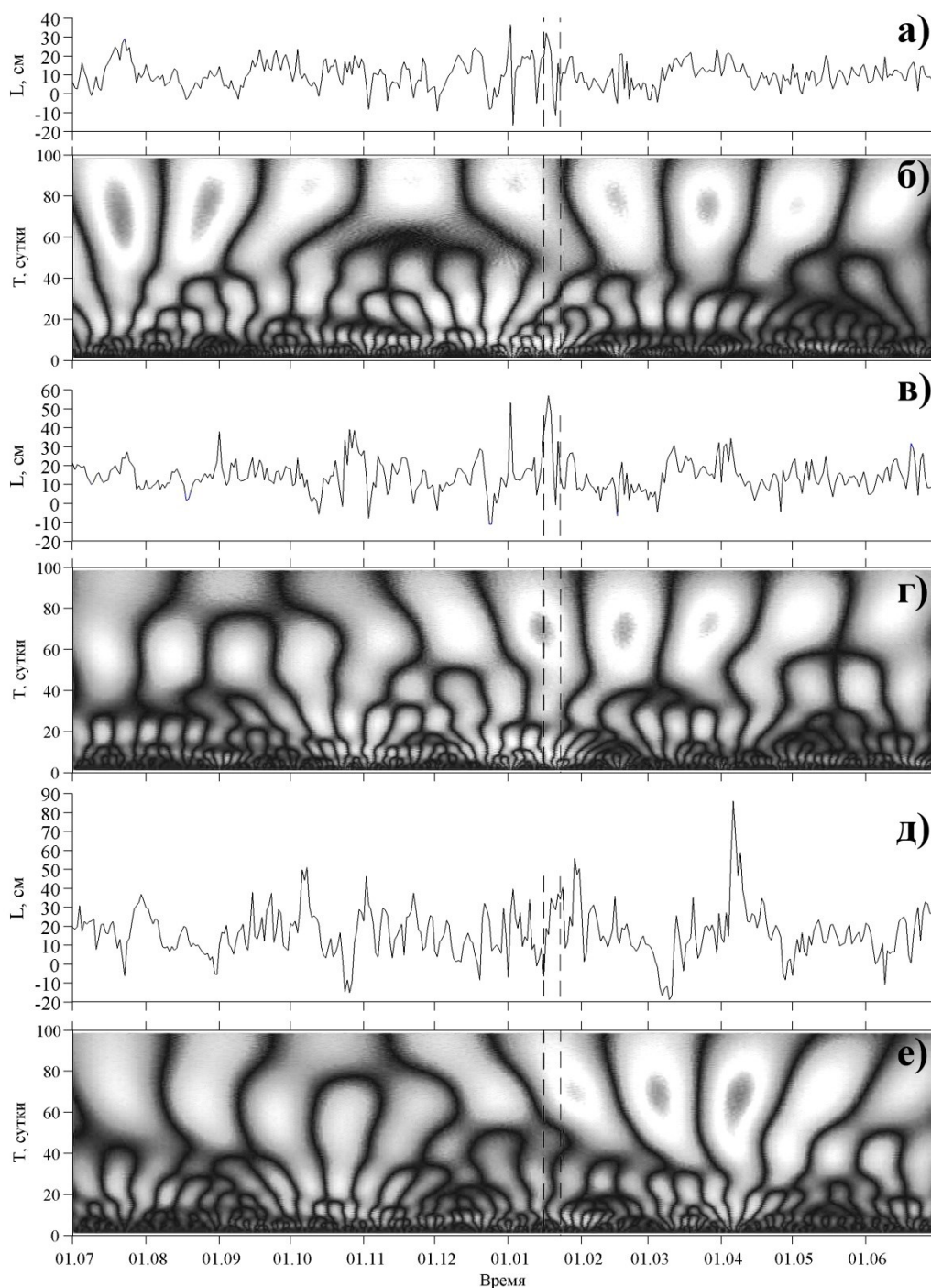


Рис. 3. Временной ход уровня моря и вейвлет анализ уровня моря по результатам моделирования в проливе Скагеррак (а, б), проливе Каттегат (в, г) и южной части Балтийского моря (д, е)

Проведенный для более точного определения частот колебаний уровня частотно-направленный спектральный анализ, по всем районам выявил наличие пиков спектральной плотности на периодах 10-16, 24 -30 суток, длины выявленных волновых колебаний в период затора наблюдались от 300 – 1400км, а скорости распространения от 13 см/с до 1.5 м/с.

Для идентификации полученных волн было проведено сравнение теоретических и эмпирических дисперсионных соотношений для топографических волн Россби [5]. Данное сравнение показывает, что волновые возмущения уровня, которые проявлялись в затоке североморских вод, можно идентифицировать как топографические волны Россби.

### **Выводы.**

Результаты численных экспериментов на гидродинамической модели, показывают хорошее согласие с измерениями солености на автономной станции. На основе вейвлет анализа и частотно-направленного спектрального анализа рассчитанных колебаний уровня в период больших балтийских затоков в районах Датских проливов были выявлены волновые колебания. Проведенное сравнение полученных эмпирических характеристик теоретическими дисперсионными соотношениями различных градиентно-вихревых волн, позволило идентифицировать эти колебания как бароклинные топографические волны.

### **Литература**

1. Lepparanta M. and Myrberg K. Physical Oceanography of the Baltic Sea. Springer, Praxis Publishing Ltd. Chichester, 2009. 165 p.
2. Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М., Физматлит, 2013. 272с.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. ДМК, Москва, 2008. С. 449
4. Свешников А.А. Определение вероятностных характеристик трехмерного волнения моря. Изв. АН СССР. Отд. тех. наук. Механика и машиностроение., 1959., №3.
5. Фукс В. Р. К классификации низкочастотных баротропных волн в океане. Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. 1999, вып.2 (№14) с. 92 – 94.

## ЧИСЛЕННОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В БЕЛОМ МОРЕ

А.В. Толстик<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, И.А. Чернов<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Институт прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

## NUMERICAL SIMULATION OF CHLOROPHYLL DISTRIBUTION IN THE WHITE SEA

A.V. Tolstikov<sup>1</sup>, Cand. Sc., I.A. Chernov<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Institute of Water Problems of the North of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Applied Mathematical Research, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

*Представлены результаты численного моделирования (комплекс JASMINE) динамики хлорофилла в Белом море в 2004-2012 гг. Расчеты сравниваются с доступными данными наблюдений. Обсуждается согласие и возможные причины расхождений.*

*We present results of numerical simulation (by JASMINE) of chlorophyll dynamics in the White Sea during 2004-2012 compared to the available observation data. Agreement and possible reasons of disagreements are discussed.*

Численное моделирование процессов в водоемах, включая моря, дает возможность углубить понимание этих процессов, рассчитать величины, которые затруднительно, дорого или невозможно измерить *in situ* или дистанционно, выявить лимитирующие факторы, провести численные эксперименты, дать прогноз.

Белое море обладает рядом особенностей, важных с точки зрения моделирования. Прежде всего, это интенсивная приливная динамика, определяющая устойчивую картину течений (впрочем, влияние ветра приводит к существенным различиям между приливной динамикой и наблюдаемой картиной течений), относительно малые глубины, изрезанная береговая линия, большой относительный объем речного стока. Море свободно ото льда летом. Несмотря на свою важность для Российской Федерации и сравнительно большое число численных моделей морей и океанов, комплексных моделей Белого моря известно относительно немного, их обзор приведен в [1, 2]. Нам неизвестны трехмерные комплексные модели Белого моря, разработанные после выхода этих книг, за исключением нашей модели JASMINE.

Программный комплекс Green JASMINE разработан для воспроизведения динамики течений, термохалинных полей, характеристик морского льда, а также пелагической экосистемы. Отметим, что экосистема и физические процессы в море тесно связаны и должны рассматриваться в комплексе. JASMINE может воспроизводить основные характеристики состояния моря в зависимости от факторов среды (состояние атмосферы, воздействие речного стока, граница с Баренцевым морем), что позволяет моделировать климатические изменения. Описывается и адвекция пассивных трассеров, в том числе плавучих (поверхностных), что актуально при моделировании экологических катастроф. Экосистему моря описывает модель BFM [<http://bfm-community.eu/>].

Проведены расчеты распределения хлорофилла "а" в Белом море за период 2004-2014 гг. Модельные данные сравниваются с данными прямых и дистанционных измерений (рис. 1, рис. 2), выполненных в ходе многолетних совместных экспедиций в Белом море различными организациями. Обсуждаются вопросы согласования данных и причины наблюдающихся несоответствий. Воспроизводится сезонная динамика хлорофилла "а" в Белом море, близкая к реальным значениям, включая вертикальное распределение.

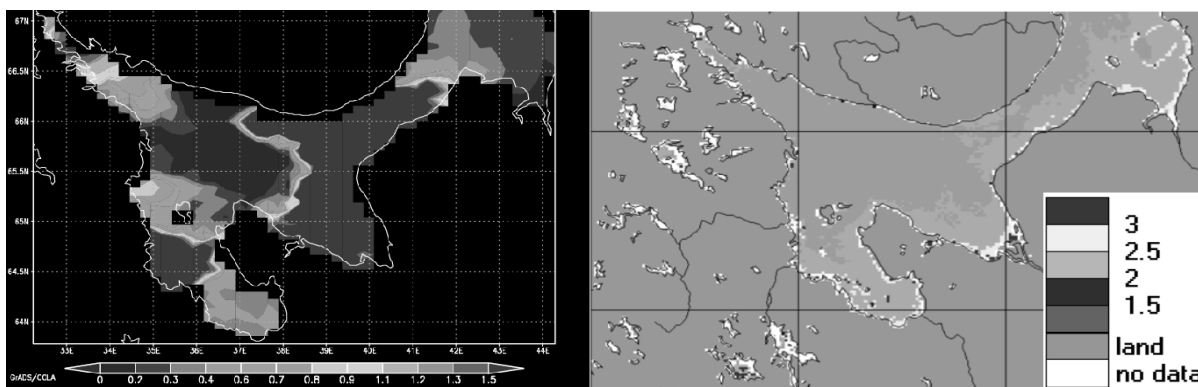


Рис. 1. Распределение хлорофилла “а” 10.06.2005 по данным моделирования (слева) и данным ресурса <http://optics.ocean.ru/> (справа)

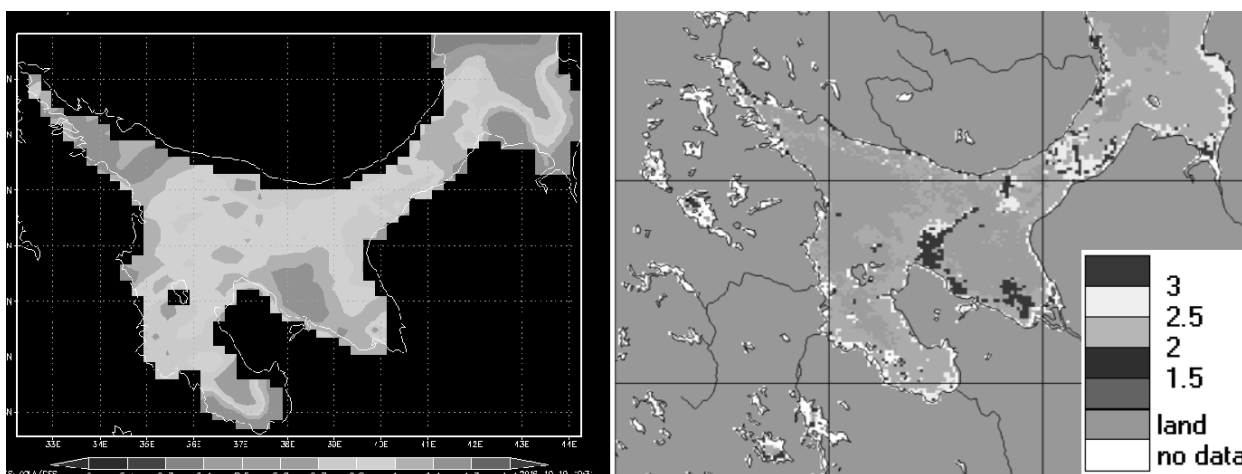


Рис. 2. Распределение хлорофилла “а” в июне 2012 по данным моделирования (слева) и данным ресурса <http://optics.ocean.ru/> (справа)

На рис. 1 и 2 представлено распределение хлорофилла “а” в отдельно взятые годы начала и конца моделируемого периода (2004–2014 гг.). Кроме того, наибольшее количество измеренных концентраций хлорофилла “а”, имеющих в нашем распоряжении, относится к 2005 и 2012 гг. Эти годы стали основными для сравнения результатов, однако это не значит, что другие данные мы игнорировали. Так, были проанализированы данные по хлорофиллу “а”, полученные в ходе совместных экспедиций ИВПС КарНЦ РАН и ИО РАН за весь период 2004–2014 гг. Модельные данные сравнивались с результатами измерений хлорофилла “а”, представленными в работах [4, 5, 6].

В целом, можно отметить качественное согласование измеренных и модельных значений. Максимумы в кутовых частях Двинского, Онежского залива и в Горле, мозаичность распределения в Бассейне, минимальные значения в открытых частях моря прослеживаются и по модельным, и по спутниковым данным. Между тем, пока еще рано говорить о высоком уровне согласия данных. На фоне в большинстве случаев адекватного качественного распределения наблюдаются заниженные модельные концентрации хлорофилла “а”. При сравнении левой и правой части рисунков 1 и 2 видно, что количественные показатели модельных данных ниже по сравнению с данными спутника. Вероятное объяснение этого расхождения связано с завышенным перемешиванием вод в модели, от которого зависят и отмечаемые колебания в придонной температуре относительно глубоководных районов моря.

Для совместного моделирования термогидродинамических и биогеохимических закономерностей важно использовать сложную многофункциональную модель, так как упрощенные представления о распределении льда, строении морских экосистем ведут к значительному искажению конечного результата. Так, недостаточно охарактеризовать

первичные продуценты, основываясь на одной группе фитопланктона. Вспышки различных видов фитопланктона в Белом море испытывают внутригодовую изменчивость. Плохое математическое описание закономерностей ледового режима приведет к смещениям в циклах продуцентов. Наряду с имеющимися техническими сложностями и расхождениями измеренных и модельных значений программный комплекс Green JASMINE развивается и совершенствуется, что приводит к улучшению алгоритмов воспроизведения биогеохимических процессов в Белом море.

### Литература

1. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Под ред. Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 335 с.
2. Filatov, N., Pozdnyakov, D., Johannessen, O.M., Pettersson, L.H., Bobylev, L.P., 2005. White Sea, its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change. Springer-Praxis, London, P. 472.
3. Кравчишина М. Д., Буренков В. И., Копелевич О. В., Шеберстов С. В., Вазюля С. В., академик Лисицын А. П. Новые данные о пространственно-временной изменчивости концентрации хлорофилла "а" в Белом море // Доклады Академии наук, 2013, том 448, № 3, С. 342–348. DOI: 10.7868/S0869565213030195.
4. Ильяш Л. В., Белевич Т. А., Ступникова А. Н., Дриц А. В., Флинт М. В. Влияние локальных гидрофизических условий на пространственную изменчивость фитопланктона Белого моря // Океанология, 2015, том 55, № 2, С. 241–251.
5. Belevich T. A., Ilyash L. V., Milyutina I. A., Logacheva M. D., Goryunov D. V., Troitsky A. V. Photosynthetic Picoeukaryotes in the Land-Fast Ice of the White Sea, Russia // MICROBIOLOGY OF AQUATIC SYSTEMS. Springer Science+Business Media, LLC 2017.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-100162 p\_a и средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИПМИ, ИВПС).*

*This work was supported by the RFBR grant No. 16-45-100162 p\_a and funds from the federal budget for the fulfillment of the state assignment of the KarRC of RAS (IAMI, IPPS).*

## ГЛУБОКАЯ КОНВЕКЦИЯ В МОРЕ ЛАБРАДОР ПО ДАННЫМ МАССИВА ARMOR 3D

В.С. Травкин<sup>1</sup>, А.М. Федоров<sup>1,2</sup>, Т.В. Белоненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

## DEEP CONVECTION IN THE LABRADOR SEABASED ON ARMOR 3D

V. S. Travkin<sup>1</sup>, A.M. Fedorov<sup>1,2</sup>, T.V. Belonenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Scientific Foundation “Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre”, St. Petersburg, Russia

*На основе данных массива ARMOR 3D рассматривается межгодовая изменчивость глубокой зимней конвекции в море Лабрадор в период 1993-2016 гг.*

*Using ARMOR 3D data, the interannual variability of deep winter convection in the Labrador Sea during the period 1993-2016 is considered.*

Глубокая конвекция является одним из ключевых процессов, происходящих в Мировом океане. Она влияет на Атлантическую термохалинную циркуляцию, и, следовательно, определяет общую интенсивность переноса тепла в полярные районы Северного полушария. Благодаря слабой плотностной стратификации и западному переносу холодных воздушных масс, глубокая конвекция способствует обновлению и обогащению кислородом глубинных вод возвратной ветви атлантического меридионального круговорота, который действует в сторону смягчения климата северных широт и уменьшения контраста между меридиональными характеристиками атлантических водных масс.

Основной причиной глубокой конвекции является отрицательный поток плавучести в верхних слоях океана, обусловленный интенсивной отдачей тепла из океана в атмосферу. Развитию глубокой конвекции способствует также осолонение приповерхностного слоя на ранних стадиях интенсивного льдообразования и общее ослабление стратификации вод ниже сезонного термоклина. В областях, где зимой происходит глубокая конвекция, глубина верхнего квазиоднородного слоя может превышать 1000 м. Ослабление стратификации может быть следствием предшествующих эпизодов глубокой конвекции процессов.

Промежуточные и глубинные водные массы в море Лабрадор формируются в результате процесса глубокой конвекции в зимний период. В очагах глубокой конвекции в море Лабрадор в наиболее суровые зимы толщина верхнего квазиоднородного слоя в несколько раз превосходит величины, характерные для остальной части акватории субарктической Атлантики. Изменение интенсивности Северо-Атлантического колебания воздушных масс является основной причиной межгодовой изменчивости глубокой зимней конвекции в море Лабрадор.

Изучение глубокой конвекции в океане, как правило, производится при помощи измерений in-situ, однако в последние годы развиваются методы с использованием спутниковой информации. Первыми предложили использовать альтиметрические измерения для мониторинга глубокой конвекции в океане [1]. Их исследование для Средиземного моря, опирающееся на предположение, что спутниковая альтиметрия может успешно использоваться для обнаружения глубокой конвекции, основано на модельном прогностическом соотношении для нахождения линейной связи между глубокой конвекцией и локальными аномалиями уровня океана. Идея использовать спутниковую альтиметрическую информацию для исследования глубокой конвекции в океане впоследствии была развита в новых подходах, представленных в частности, в работах [2] и [3].

Наша работа использует данные температуры и солёности массива ARMOR 3D, построенный с учетом ассимиляции спутниковых измерений температуры поверхности океана (SST), поверхностной солёности (SSS), а также in-situ измерений температуры и солёности воды. Данные определены на регулярной сетке от поверхности до глубины 5500 м с пространственной



дискретностью  $0.25^\circ$  широты и долготы. Для оценки межгодовых изменений термохалинных свойств и процесса глубокой зимней конвекции в течение 1993-2016 гг. в море Лабрадор нами выбрано 2 вертикальных профиля с координатами:  $54^\circ$  с.ш.  $53^\circ$  з.д. и  $57^\circ$  с.ш. и  $50^\circ$  з.д. Для изучения изменения потенциальной плотности морской воды использовалось термодинамическое уравнение плотности морской воды TEOS-10.

Исследование изменчивости термохалинных характеристик выбранных профилей проводилось при помощи построения линий тренда основных характеристик водных масс, осредненных по месяцам: температуры, солёности и плотности воды, а также построения профилей температуры, солёности и плотности в заданных пунктах на глубинах от поверхности океана до 1500 м.

Полученные результаты свидетельствуют о развитии в настоящее время менее холодного и плотного ядра глубокой конвекции в море Лабрадор, по сравнению с первой половиной 1990 - х гг., за счет увеличения температуры воды на всех выделенных горизонтах и уменьшения плотности водыв диапазоне глубин 600-1500 метров в 1 районе исследования в период с 1993 по 2016 гг. (Рисунки 1 и 2).

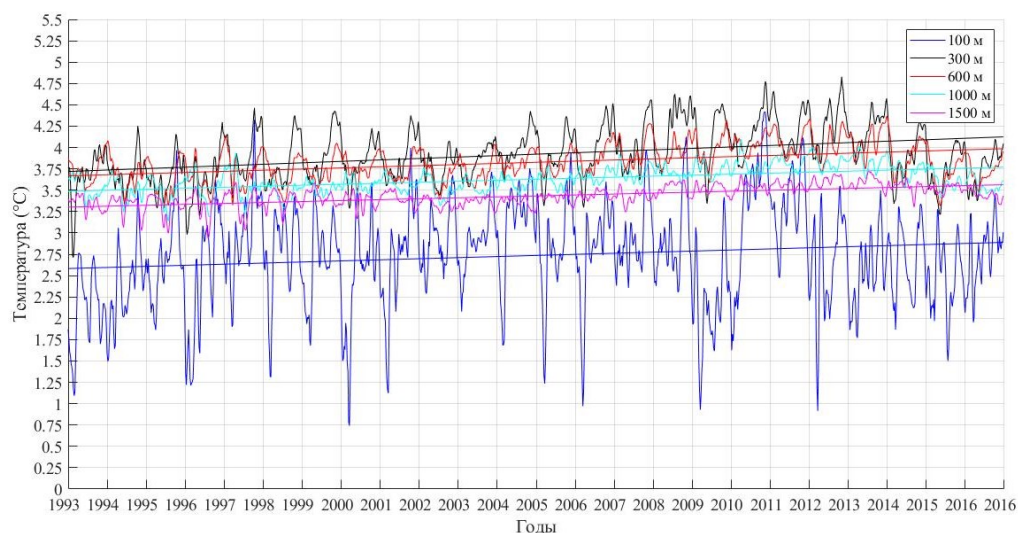


Рис. 1. Временной ход ежемесячных значений температур и линий трендов для различных горизонтов 1 пункта исследования

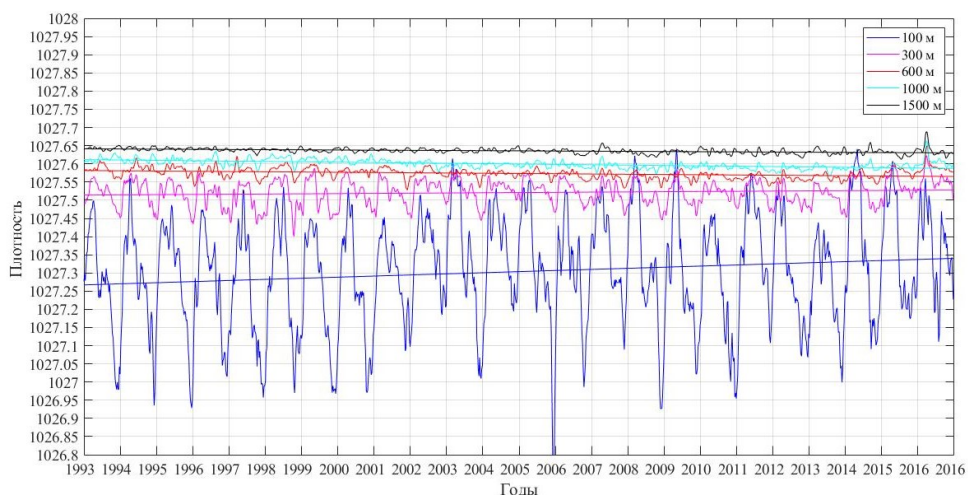


Рис. 2. Временной ход ежемесячных значений плотности и линий трендов для 1 пункта исследования

Для 2 пункта исследования характерно уменьшение плотности воды на всех изучаемых глубинах, максимально выраженное в поверхностном слое, связанное с активным опреснением на поверхности океана и увеличением температуры воды. Для других горизонтов также характерно увеличение температуры воды, однако сопровождающееся увеличением или незначительным падением солёности, что приводит к менее интенсивному падению плотности воды в период 1993-2016 гг. (Рисунки 3 и 4).

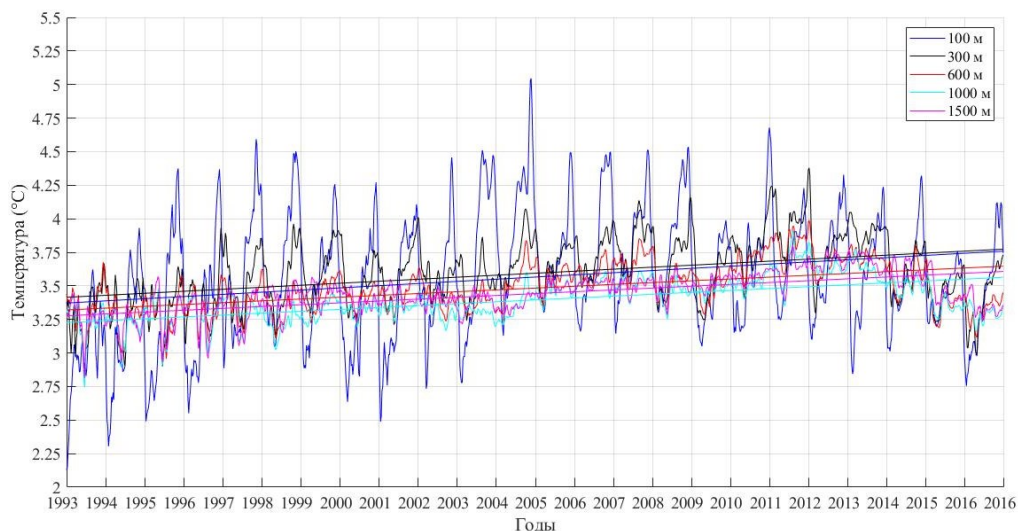


Рис. 3. Временной ход ежемесячных значений температур и линий трендов для 2 пункта исследования

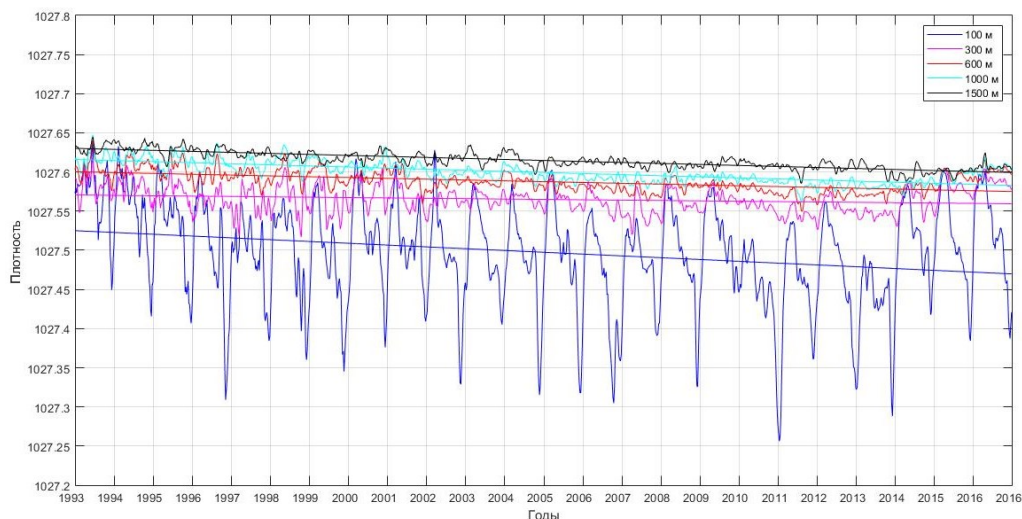


Рис. 4. Временной ход ежемесячных значений плотности и линий трендов для 2 пункта исследования

На примере двух рассмотренных пунктов наблюдается заметное ослабление глубокой конвекции, приводящее к потеплению и осолонению Лабрадорской водной массы, с начала 2000 - х годов. В периоды 2008-2009 гг. и 2014-2016 гг. было зафиксировано усиленное охлаждение поверхности океана за счет интенсивного атмосферного воздействия континентальных воздушных масс, но уже с формированием менее плотной и более соленой воды, нежели в первой половине 1990-х гг. Для данных временных промежутков характерно наличие более высоких значений глубины верхнего квазиоднородного слоя, а также

формирование холодной и плотной Лабрадорской водной массы, активно участвующей в обновлении глубинных вод Северной Атлантики.

### **Литература**

1. Herrmann M., Bouffard J., Béranger K. Monitoring open-ocean deep convection from space // *Geophys. Res. Lett.* 36. L03. 2009. 606. doi: 0.1029/2008GL036422.
2. Gelderloos R., Katsman C.A., Våge K. Detecting Labrador Sea Water formation from space // *J. Geophys. Res. Oceans.* 118. 2013. 2074–2086. doi:10.1002/jgrc.20176.
3. Белоненко Т.В., Федоров А.М. Стерические колебания уровня и глубокая конвекция в Лабрадорском море и море Ирмингера // *Исследование Земли из космоса.* 2018. № 3. С. 56–69.  
*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-17-01151.*

*This work was financially supported by the Russian Science Foundation, grant number 17-17-01151.*

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ПО МАРШРУТУ ОБСКАЯ ГУБА – БЕРИНГОВ ПРОЛИВ

В.Ю. Третьяков<sup>1,2</sup>, С.В. Фролов<sup>1</sup>, М.И. Сарафанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## CLIMATIC CHANGES OF ICE SWIMMING CONDITIONS ON THE ROUTE OF THE OB OBLET - BERINGES OF THE STRAITS

V.Yu. Tretyakov<sup>1,2</sup>, S.V. Frolov<sup>1</sup>, M.I. Sarafanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Приводится методика и результаты обработки карт ледовой обстановки из архива ААНИИ за период с 1998 по 2018 гг. Рассмотрена изменчивость параметров ледовых условий плавания, влияющих на вероятность возникновения аварийных ситуаций.*

*There is considered methodology and some results of computer processing of ice maps of the AARI archive for the period 1998-2018. There is observed variability of parameters of ice navigation conditions affecting the probability of accident situations.*

Представления о «глобальном потеплении», сокращении и даже исчезновении в ближайшее время ледяного покрова Северного Ледовитого океана широко распространены как в научном сообществе, так и среди общественности. Подобные изменения должны привести к существенному улучшению условий проведения морских транспортных операций [1]. Однако так ли уж радужны перспективы на самом деле? В работах сотрудников ААНИИ утверждается, что потепление в Арктике, возможно, уже сменяется похолоданием [2, 3, 4, 5].

Цель представленной работы заключалась в исследовании состояния ледяного покрова по маршруту плаваний «Обская губа – Берингов пролив» за период 1998-2018 гг. и выявлении направленности изменений ледовых условий. Актуальность данной темы определяется планированием создания морской транспортной системы для транспортировки нефти и сжиженного газа из Обской губы в Китай, Японию, а также другие страны тихоокеанского региона.

Для этого подекадно были обработаны данные электронных векторных карт из архива Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), которые были составлены на основе данных спутниковых снимков. В настоящее время выполнены исследования данных за месяцы с максимальным развитием ледяного покрова – апрель и май.

### **Методика.**

Первый этап обработки состоял из упорядочивания архива и обработки шейп-файлов электронных ледовых карт в среде ArcGIS. При помощи написанных на языке Python программ производилось перепроецирование слоев ледовых карт и их объединение, пересечение участками маршрута, выполнение запросов, объединение линейных объектов, удовлетворяющих определенным семантическим условиям, расчёты протяжённостей линейных объектов. Для минимизации ошибок при расчётах протяжённостей для секций маршрута в отдельных морях были получены центры тяжести, координаты которых задавались в качестве параметров систем координат с применением стереографической проекции. Исследовались суммарные протяженности участков маршрута в припае, сплоченных льдах (сплоченностью 9 и более баллов, при учёте льдов всех возрастных градаций старше начальных), суммарные протяженности участков маршрута в сплоченных льдах при наличии старых, толстых однолетних, и средних льдов, а также суммарные протяженности участков маршрута в сплоченных льдах с частной концентрацией толстых льдов 5 и более баллов и частной концентрацией суммы толстых и средних льдов 5 и более баллов. Обработка участков маршрута в различных морях выполнялась отдельно. На рисунке 1 представлена карта маршрута плаваний, по которому выполнена обработка ледовой информации.

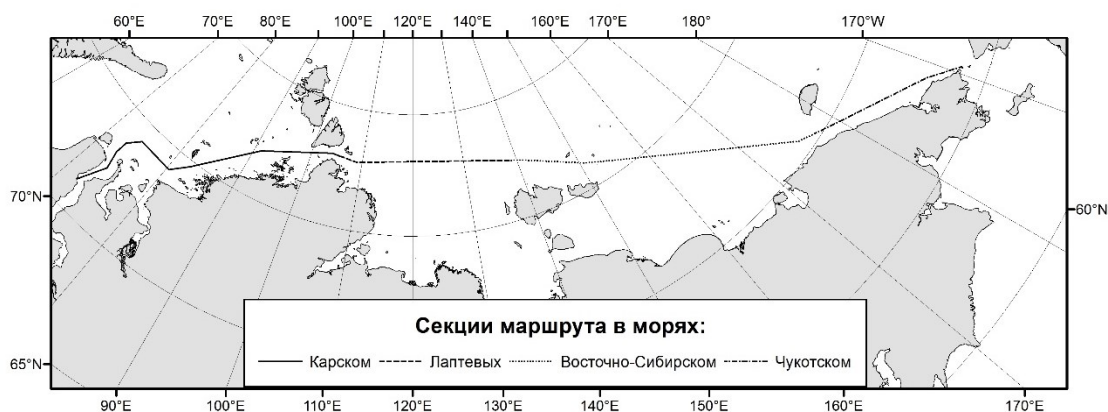


Рис. 1. Маршрут плаваний «Обская губа – Берингов пролив»

К части декад относились по 2 электронные ледовые карты за 2 срока дистанционного зондирования. В таких случаях с помощью компьютерной программы выполнялось осреднение значений протяжённостей. Далее для отдельных декад создавались шейпфайлы, атрибутивные таблицы которых содержали значения протяжённостей за весь период 1998-2018 гг. Эти таблицы затем переводились в формат Microsoft Excel. В итоге получено по 860 значений протяженностей для участка маршрута в каждом море. Уже выполнена обработка информации по морям Карскому и Лаптевых, данные по Восточно-Сибирскому и Чукотскому морям находятся в процессе обработки.

Затем выполнялась статистическая обработка. При помощи разработанных в среде MathCAD рабочих областей (компьютерных программ) ряды межгодовых изменчивостей подекадных значений суммарных протяжённостей участков маршрута, удовлетворяющих определённому ледовым условиям, проверялись на присутствие или отсутствие тренда изменений методом интегральных кривых (накопленных сумм). Суть метода заключается в следующем: строится график точек: ось X – года, по оси Y – накопленные суммы значений, т.е. суммы значений за все годы от первого до данного, включая последний. Если форма линии, соединяющей точки графика, близка к прямой, то это свидетельствует об отсутствии выраженного тренда межгодовой изменчивости. Присутствие на линии изломов может служить признаком межгодового тренда. Затем ряды исходных значений подразделялись на 2 части по местам наиболее ярко выраженных изломов, при отсутствии последних – поровну. Далее выполнялась проверка рядов на однородность при помощи ранговых непараметрических критериев Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки. Для каждого из критериев рассчитывалась величина верности в процентах нулевой гипотезы о принадлежности двух частей ряда к одной генеральной совокупности, т.е. об отсутствии значимых изменений за период 1998-2018 гг. Ряд считался неоднородным, если гипотеза об однородности ряда опровергалась хотя бы одним из критериев, или если хотя бы по одному из критериев нулевая гипотеза однородности не опровергалась с вероятностью, меньшей 50%. Затем статистические характеристики частей рядов сравнивались между собой для выявления направленности изменений.

#### Результаты.

Обработка результатов по Карскому морю показала, что только для одного ряда значений интегральная кривая оказалась без изломов, остальные 44 были с изломами. Результаты проверки рядов суммарных протяжённостей участков маршрута в Карском море на однородность при помощи ранговых непараметрических критериев Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки представлены в таблице 1. Все ряды неоднородны. Сравнение средних значений первой и второй частей рядов показало следующие результаты: для всех декад апреля и мая протяженность пути в дрейфующих льдах с наличием средних и толстых льдов, в дрейфующих льдах с частной концентрацией толстых и суммы толстых и средних льдов 5 и более баллов возросла, кроме протяженности пути в припае – она уменьшилась для всех декад. Таким образом, налицо явное ухудшение ледовых условий плавания в Карском море во вторую половину периода 1998-2018 гг.

Таблица 1. Результаты проверки однородности рядов значений суммарной протяженности участков маршрута в Карском море в дрейфующих льдах со сплоченностью 9 и более баллов

Протяжённость маршрута плавания	Число рядов		% неоднородных рядов
	однородных	неоднородных	
в припае	0	6	100
в сплоченных льдах	0	6	100
в сплоченных льдах с наличием льдов следующих градаций возраста:			
однолетних средних	0	6	100
однолетних толстых льдов	0	6	100
в сплоченных льдах с частной концентрацией 5 баллов и более:			
толстых льдов	0	0	100
суммы толстых и средних льдов	0	0	100

На рисунке 2 представлена межгодовая изменчивость суммарной протяженности участков маршрута в Карском море в сплоченных дрейфующих льдах с наличием толстых льдов в первую декаду мая. Видно явное увеличение суммарной протяженности таких участков маршрута за последние годы.

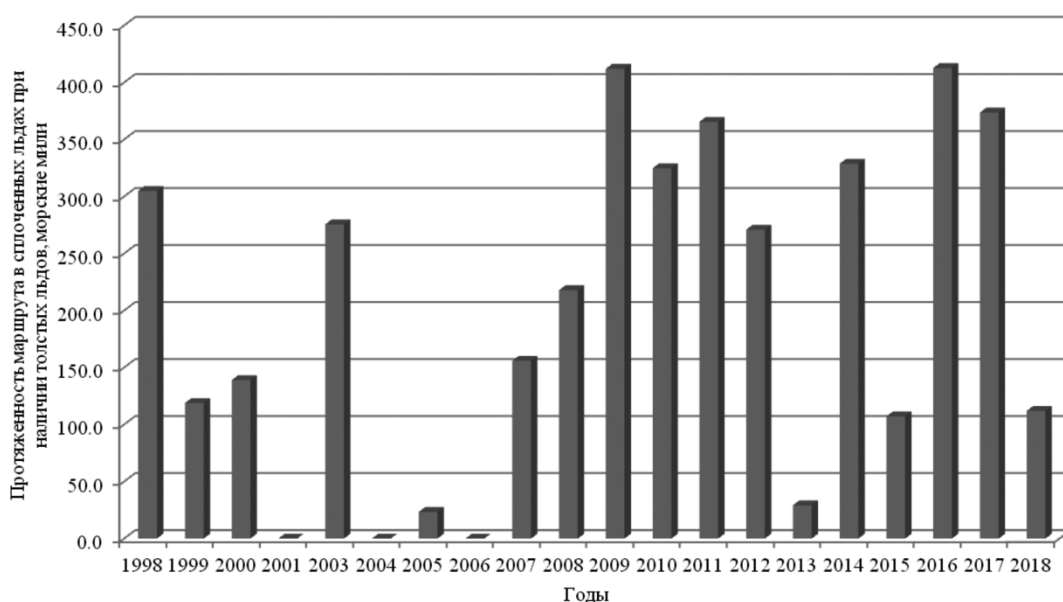


Рис. 2. Суммарная протяженность участков маршрута в сплоченных дрейфующих льдах при наличии толстых однолетних льдов в Карском море в первую декаду мая

И, как «вишенка на торте»: в 2014 на маршруте в Карском море и в апреле, и в мае были обнаружены участки с наличием старых льдов. В море Лаптевых участки маршрута с присутствием старых льдов были отмечены в следующие годы: в первую декаду апреля – в 1999, 2005 и 2018 гг., во вторую декаду апреля – в 2005 и 2018 гг., в третью декаду апреля – в 2001, 2005 и 2018 гг., в первую декаду мая – в 2001 и 2005 гг., во вторую декаду мая – в 2001 и 2005 гг., в третью декаду мая – в 1999, 2001 и 2005 гг. Очевидно, что отсутствие на маршруте плаваний старых льдов во вторую половину периода 1998-2018 гг. служит слабым утешением: раз они встретились в апреле 2018 года, то могут встречаться в конце зимы и в последующие годы. Суммарная протяжённость участков маршрута с наличием старых льдов в море Лаптевых по частям периода 1998-2018 гг. составила: в первую половину периода – 421.1 морских миль, во вторую – 296.2 морских миль.

Очевидно, что в ближайшее время не приходится ожидать наступления «эры безледокольного плавания» по Северному Морскому Пути. Также понятно, что эксплуатация морской транспортной системы «Обская губа – пролив Вилькицкого– Берингов пролив» требует дальнейшего совершенствования как компьютеризированных систем оперативной поддержки морских транспортных операций, так и компьютерных моделей оценки рисков возникновения аварийных ситуаций с наливными судами, в том числе чреватых загрязнением окружающей среды, за весь ожидаемый период эксплуатации данной морской транспортной системы.

### **Литература**

1. Данилов А.И., Алексеев Г.В., Клепиков А.В., Последствия изменения климата для морской деятельности в Арктике // Лед и Снег, Том 54, №3, с. 91-99, 2014.
2. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Шестидесятилетняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // Материалы гляциологических исследований, № 105, с. 158-165, 2008.
3. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Морозова Е.А., Павлов М.В., Саватюгин Л.М. Развитие природной среды полярных областей Земли последнего тысячелетия по данным изучения донных отложений озер // Проблемы Арктики и Антарктики №1 (81), с. 108-115, 2009.
4. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Региональные особенности климатических изменений морского ледяного покрова в XX – начале XXI века и их причины // Лед и Снег, № 3 (115), с. 91-98, 2011.
5. Ашик И.М., Иванов В.В., Кассенс Х., Махотин М.С., Поляков И.В., Тимохов Л.А., Фролов И.Е., Хёлеманн Й. Основные результаты океанологических исследований Северного Ледовитого океана в последнее десятилетие // Проблемы Арктики и Антарктики, № 1(103), с. 42-56, 2015.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ВОДОСБОРАХ РЕК НА АБИОТИЧЕСКУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ЭКОСИСТЕМЫ ОБСКО-ТАЗОВСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ

М.В.Третьяков<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Е.В. Румянцева<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Е.Н. Шестакова<sup>1,2</sup>, А.И. Шикломанов<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC CHANGES ON WATERSHEDS OF RIVERS ON THE ABIOTIC COMPONENT OF THE ECOSYSTEM OF THE OB'-TAZ ESTUARINE

M.V. Tretiakov<sup>1</sup>, Cand. Sc., E.V. Rumiantseva<sup>1</sup>, Cand. Sc., E.N. Shestakova<sup>1,2</sup>, A.I. Shiklomanov<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Разработаны методологические подходы для оценки изменения абиотических устьевых процессов Обско-Тазовской устьевой области. Описана концепция математического имитационного моделирования устьевой системы.*

*Methodological approaches have been developed to assess changes in abiotic estuarial processes in the Ob-Taz estuary. The concept of mathematical simulation of the estuary system is described.*

Ускоренное изменение климата в высоких широтах приводит к значительным изменениям в наземной и морской экосистемах. Не менее значительные изменения происходят и в социальных системах прибрежных регионов Российской Арктики в результате глобализации, развития добывающей промышленности, изменения политической системы и самоуправления коренных народов. В то же время возросший уровень хозяйственной деятельности на водосборах рек, впадающих в устьевые области и непосредственно в устьевых областях, приводит к существенным изменениям природных процессов в зоне взаимодействия речных и морских вод. Долгопериодные природные изменения, происходящие на водосборах крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, также оказывают влияние на гидрологические процессы в устьевых областях рек. Ввиду долговременных планов по освоению Арктики [1], на территории которой расположена Обско-Тазовская устьевая область (ОТУО), задача оценки её изменений под влиянием природных и антропогенных факторов становится всё более актуальной. Изменения устьевых процессов, формирующих положение фронтальных зон, глубину залегания галоклина, изменения уровня воды, глубину конвекции, ледовые фазы и другие характеристики, влияют на водохозяйственную деятельность в устьевых областях рек. Таким образом, устьевые области, в первую очередь ОТУО, находятся в стадии быстрой трансформации, а изменения, происходящие в природной системе, могут влиять на социально-экономическое развитие региона. Поэтому для изучения современных и ожидаемых в перспективе изменений экосистемы ОТУО необходимо использовать комплексный подход, учитывающий взаимовлияние природных и социально-экономических компонентов. Для количественной оценки современных и возможных изменений абиотических процессов в ОТУО под влиянием природных и антропогенных факторов, предлагается подход, основанный на совместном использовании данных наблюдений и моделирования различных природных и антропогенных процессов.

Обско-Тазовская устьевая область представляет собой сложный природный комплекс, расположенный при впадении рек Оби, Надыма, Пура и Таза в Карское море, в пределах которого происходят специфические устьевые процессы, обусловленные взаимодействием и смешением речных и морских вод и процессами дельтообразования. В нее входят устьевые участки рек Оби, Надыма, Таза и обширное устьевое взморье – Обская и Тазовская губы. В соответствии с общими положениями гидрографического районирования водных бассейнов [2] низовье р. Обь и её устьевая область расположены в пределах Нижнеобского бассейнового округа. Водноресурсная граница Арктической зоны РФ [3] бассейна р. Обь совпадает с границей местного водосбора



Обско-Тазовской устьевой области и пересекает р.Обь по ее замыкающему створу в г. Салехард, который и является речной границей Обско-Тазовской устьевой области. Под водосборным бассейном Обско-Тазовской устьевой области понимается северная часть водосборного бассейна Оби, расположенная ниже замыкающего створа. При этом в площадь водосбора устьевой области полностью входят бассейны рек Надыма, Пура, Таза и других, впадающих в Обско-Тазовскую губу. Такое толкование понятия водосбора устьевой области Оби объясняется тем, что формирование режима устьевой области Оби происходит в основном под влиянием стока Оби, а сток других рек в губу рассматривается как местный. В соответствии с этим условием в границу водосборного бассейна устьевой области Оби включается обширная территория, которая целиком входит в границы Нижнеобского бассейнового округа и совпадает с границами Ямало-Ненецкого автономного округа. Морской границей Обско-Тазовской устьевой области принимается граница внутренних морских вод РФ, от которой отсчитывается территориальное море согласно [4].

В этой системе целесообразно выделить подсистемы, в пределах которых будут работать определенные методы моделирования. Первая подсистема – это устьевое взморье – Обская и Тазовская губы. Внутри этой сложной устьевой подсистемы с множеством факторов, процессов и обратных связей между ними протекает процесс взаимодействия пресных речных и соленых морских вод. Состояние экосистем пресноводных губ, являющихся частями устьевой области, в основном зависит от стока впадающих рек и претерпевает при этом многолетние колебания в зависимости от водности рек, а также сезонные изменения в соответствии с сезонным распределением речного стока. Другим важнейшим фактором, определяющим состояние этой подсистемы, является процесс интрузии морских вод в губу, который приводит к осолонению некоторой её части. Последствием природных изменений и влияния деятельности человека является изменение этих факторов, главным образом, речного стока, поступающего в губу с водосбора реки и местного водосбора устьевой области.

Вторая подсистема – это устьевой участок реки, та часть устьевой области, где происходит трансформация речного стока от замыкающего створа до Обско-Тазовской губы, т.е. до морского края дельты. Третья подсистема – это местный водосбор устьевой области, с которого осуществляется речной сток с его физико-химическими свойствами.

Гидрологические посты и экспедиционные разрезы, расположенные в устьевых областях, не всегда дают представление о характеристиках гидрологического режима по всей их протяженности. Большие акватории оказываются между пунктами измерений и о гидрологическом режиме в этих районах можно судить только исходя из данных на их границах. Сложность процессов, происходящих в устьевых областях рек, ограниченность натуральных данных, особенно в переходные периоды, не позволяет использовать для этого простые методы интерполяции (например, линейную интерполяцию), вследствие чего требуются специальные методические разработки.

В условиях сокращения наблюдательной сети в Обско-Тазовской устьевой области натуральных данных для их применения в этой методике оказывается недостаточно. Поэтому для объективной интерполяции имеющихся данных и оценки водных ресурсов в этой устьевой области целесообразно использовать метод математического имитационного моделирования с использованием информации наиболее обеспеченных рядами данных пунктов наблюдений. В этом случае можно проследить характерные особенности гидрологических полей на протяжении всего года. Ключевым моментом при этом являются термохалинные условия в губе и прилегающих районах моря, поскольку существующий заток морской воды в губу влияет не только на расход воды на морском створе, но и на положение галоклина, стратификацию, а следовательно, на ледовые условия, динамику вод и водные ресурсы. Изменения сезонного масштаба представляют наибольший интерес, поскольку процессы внутригодовой изменчивости, как правило, полностью определяют особенности структуры вод устьевой области и являются фоном, на котором прослеживается изменчивость структуры вод более мелких временных масштабов. Сезонная изменчивость гидрологических процессов определяются сезонными колебаниями стока реки, сезонными изменениями характеристик ветра над акваторией, сезонным ходом температуры воды и теплообмена с атмосферой.

Для объективной интерполяции гидрологических полей внутри Обско-Тазовской губы может быть использована модель сезонных гидрологических процессов, учитывающая наличие

циркуляции, связанной с плотностной неоднородностью, наличие существенных долгопериодных (стоковых) колебаний уровня, которые по амплитуде сопоставимы с глубинами, а так же процессы образования и таяния льда, толщина которого опять же сопоставима с глубинами [5].

Пространственно подсистема Обско-Тазовской губы выделяется береговым контуром, свободной поверхностью и дном, а также границами со стороны реки и моря. Речная граница проходит по морским краям дельт рек, впадающих в Обско-Тазовскую губу. Морская же граница определяется по внешнему краю зоны смешения речных и морских вод в поверхностном слое, где соленость смешанных вод составляет 90-95% средней солености воды сопредельной части моря при повышенном речном стоке [6] и выходит за пределы Обско-Тазовской устьевой области. Задание граничных условий со стороны реки обеспечивают сведения о расходе и температуре воды на речной границе расчетной области. Натурные данные о расходах воды задаются по данным Государственного водного кадастра на замыкающих створах рек, которые расположены выше этой границы. На этом расстоянии речной сток претерпевает определенную трансформацию. Для пересчета речного стока от замыкающего створа к речной границе расчетной области привлекается модель трансформации стока, основанная на методе Г.П. Калинина и П.И. Милюкова [7]. Граничные условия со стороны моря по температуре и солености воды обеспечивают схемы вертикального распределения температуры и солености на морской границе расчетной области, построенные для летнего (июнь-сентябрь) и зимнего (октябрь-май) периодов на разрезе о. Диксон – о. Белый по данным экспедиций А-63 г/с «Шторм» с 1968 по 1980 год.

Для задания граничных условий со стороны атмосферы используется информация (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, осадки, облачность в баллах нижняя и общая, скорость ветра) ближайших береговых метеорологических станций в суточном разрешении. По данным этих береговых метеостанций значения элементов методом весовой интерполяции пересчитываются в узлы сетки. Значения температуры и влажности воздуха корректируются с учетом того, что искомые точки находятся не на берегу, а на открытом водном пространстве [8].

Приток речных вод и тепловой сток оказывают существенное влияние на все абиотические процессы в ОТУО, поэтому важно оценить их современное состояние, динамику многолетних изменений и установить основные факторы, влияющие на эти изменения. Наибольший приток речных вод в ОТУО осуществляется по рекам Обь, Надым, Пур и Таз, по которым имеются многолетние ряды наблюдений за стоком и температурой воды, которые будут использованы для оценки притока с изученной части водосбора ОТУО.

К настоящему моменту установлено, что тренды для годового стока нижнего течения Оби за весь период наблюдений являются не значимыми, но за современный климатический период по замыкающему створу отмечена значимая тенденция увеличения стока. Динамика стока холодного периода Оби имеет тенденцию увеличения стока за многолетний период, которая является статистически значимой. Для больших рек (Пур, Таз, Надым) определено преимущественное несовпадение фаз водности. Кроме того для всех рек в многоводную фазу увеличивается амплитуда колебаний стока. Другими словами, многоводная фаза, которая, не несёт угрозы объемам водопотребления в регионе, скрывает за собой риск увеличения аномальности процесса. Перспективным направлением является изучение повторяемости значений экстремального стока для различных климатических периодов [9, 10].

Для исключения влияния антропогенной деятельности в бассейне реки Обь необходимо рассчитать восстановленный до естественного состояния стока реки (без влияния водохранилищ). Это можно выполнить с использованием метода трансформации стока Калинина-Милюкова. Используя эти данные, можно провести моделирование устьевых процессов с восстановленным стоком. Сравнение результатов моделирования с современным стоком и восстановленным стоком, а также состоянием системы в 80-х годах, позволит выявить влияние природных воздействий и антропогенной деятельности в бассейне реки на абиотическую составляющую экосистемы Обско-Тазовской устьевой области.

Для количественной оценки влияния изменения климата и локальных антропогенных воздействий на речной и тепловой приток в ОТУО необходимо совместное моделирование атмосферных и наземных процессов через их интегрирование с глобальной и региональной

атмосферной циркуляцией и динамикой морского льда. Для этого предлагается использовать региональную климатическую модель WRF (Weather Research and Forecasting) [11] разрешением 25x25км, адаптированную для территории Сибири, граничные условия для которой задаются либо одним из имеющихся климатических ре-анализов (NCEP, MERRA, ERA-Interim) для современных условий или МОЦАО для расчетов на перспективу. Результаты расчетов на климатической модели будут использованы в качестве входных климатических данных для гидрологических моделей.

Для моделирования пресноводного и теплового притока в ОТУО предложено использование модели водного баланса и русловой трансформации стока [12]. Для более надежного моделирования процессов, связанных с мерзлотой и сезонным промерзанием почвы предлагается использовать модель, разработанную в лаборатории мерзлотоведения геофизического института Университета Аляски (GIPL), которая позволит более надежно оценивать вклад этих криосферных процессов в речной и тепловой сток на водосборе ОТУО.

Предлагаемый методологический подход с использованием данных наблюдений и мультимодельных экспериментов может быть в дальнейшем использован для изучения других устьевых областей и может быть расширен путем включения биотических процессов.

## Литература

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/18360/> (дата обращения: 05.09.2018).
2. О гидрографическом и водохозяйственном районировании территории Российской Федерации и утверждении границ бассейновых округов. Постановление Правительства РФ от 30 ноября 2006 г. № 728. [Электронный ресурс]. URL: <http://voda.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=2767> (дата обращения: 10.09.2018).
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 объектов // Общество. Среда. Развитие. 2015. Вып. 4. С. 151–160.
4. О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации. Федеральный закон РФ от 31 июля 1998 года №155-ФЗ (в ред. от 05.02.2018). [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12112602/> (дата обращения: 10.09.2018).
5. Третьяков М.В. К моделированию гидрологических процессов в эстуариях с ледовым покровом // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 2 (79). С. 67–74.
6. Иванов В.В., Русанов В.П., Гордин О.И., Осипова И.В. Межгодовая изменчивость распространения речных вод в Карском море // Тр. ААНИИ. 1984. Т. 368. С. 74–81.
7. Калинин Г.П., Милоков П.И. Приближенный расчёт неустановившегося движения водных масс // Тр. ЦИП. 1958. Вып. 66. 72 с.
8. Самохин А.А., Соловьева Н.Н., Догановский А.М. Практикум по гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 296 с.
9. Шестакова Е.Н. Тенденции изменчивости стока низовьев Оби и рек Обско-Тазовской устьевой области в условиях изменения климата // Научный вестник Ямало-Ненецкого Автономного округа. 2015. № 3 (88). С. 108–115.
10. Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Динамика водных ресурсов рек Арктической зоны Западной Сибири // Научный вестник Ямало-Ненецкого Автономного округа. 2017. №33 (96). С. 53–61.
11. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. Proceedings of the Eleventh ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński. World Scientific. 2005. pp. 156–168.
12. Visser D., Fekete B. M., Vörösmarty C. J., Schumann A. H. Reconstructing 20th century global hydrography: A contribution to the Global Terrestrial Network Hydrology (GTN-H). Hydrology and Earth System Sciences. 2010. 14. pp. 1–24. doi:10.5194/hess14-1-2010.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the research project No. 18-05-60192.*

## ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КУРОРТНОЙ БИОКЛИМАТОЛОГИИ В РЕГИОНЕ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

М.А. Трубина<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Н.В. Ефименко<sup>1</sup>, д-р. мед. наук, Н.П. Поволоцкая<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Т.М. Товбушенко<sup>1</sup>, канд. мед. наук

<sup>1</sup>Пятигорский государственный научно-исследовательский институт курортологии Федерального медико-биологического агентства России, Пятигорск, Россия

## PRIORITY DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF RESORT BIOCLIMATOLOGY IN THE REGION OF CAUCASIAN MINERAL WATER

M.A. Trubina<sup>1</sup>, Cand. Sc., N.V. Efimenko<sup>1</sup>, Dr. Sc., N.P. Povolotskaya<sup>1</sup>, Cand. Sc., T.M. Tovbushenko<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Pyatigorsk state research institute of resort study of Federal Medical-Biological Agency, Pyatigorsk, Russia

*Рассматриваются актуальные проблемы современного развития курортной биоклиматологии на основе использования природных физических факторов в системе санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и рекреационного туризма для целей оздоровления населения России в уникальном особо охраняемом эколого-курортном регионе России - Кавказские Минеральные Воды.*

*Actual problems of the modern development of the resortbioclimatology based on the use of natural physical factors in spa treatment, medical rehabilitation and recreational tourism for the purposes of recovery of the Russian population in a unique specially protected eco-resort region of Russia - the Caucasian Mineral Waters.*

### **Актуальность.**

В последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес современного общества к вопросам здорового образа жизни, профилактики, медицинской реабилитации, восстановительной медицине, рекреационному и медицинскому туризму в горных местностях Северного Кавказа. Созданная в России система санаторно-курортного лечения 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. В санаторно-курортном лечении и медицинской реабилитации в лечебно-оздоровительных целях особая роль отводится использованию природных физических факторов, 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).

Модернизация современной системы санаторно-курортного лечения в России является одним приоритетных направлений государственной политики в здравоохранении. Академик А.Н. Разумов в своем выступлении на Международном научном конгрессе «Здравница-2018» в г. Кисловодске сказал, что «Развитие санаторно-курортного комплекса России — основа сбережения здоровья населения. России нужна принципиально новая система управления динамикой здоровья населения, построенная по профилактическому принципу, данная система потребует поддержки всех государственных, общественных институтов страны и будет способна при этих условиях стать базисной для развития отечественной системы здравоохранения. Важная роль в сохранении и поддержании здоровья принадлежит санаторно-курортной отрасли, развитие которой является стратегически важной для экономики страны. Одной из стратегических задач является реализация программы развития превентивной и персонализированной медицины с применением природных лечебных факторов. Одновременно должна решаться задача для планирования и реализации мероприятий по охране здоровья здоровых в санаторно-курортных организациях [1].

Кавказские Минеральные Воды (КавМинВоды) - один из старейших курортных регионов России, получивший в 1803 году статус «лечебная местность государственного значения». Сегодня курорт КавМинВоды рассматривается как важнейший стратегический ресурс, направленный на выполнение приоритетных национальных проектов «Здоровье» и

«Здравоохранение», в которых важная роль принадлежит санаторно-курортному лечению и оздоровительному отдыху россиян.

Цель работы – представление основных приоритетных направлений развития современной курортной биоклиматологии в регионе КавМинВоды.

Район КавМинВоды занимает южную часть Ставропольского края и расположен на северных склонах Главного Кавказского хребта, в 20 км от Эльбруса. Южные границы района – это предгорья Эльбруса, долина рек Хасаут и Малки; на западе – верховья рек Эшкакона и Подкумка; северной границей района служит город Минеральные Воды, за которым начинаются степные просторы Предкавказья. Основным богатством курортов КавМинВоды являются его уникальные природные лечебные ресурсы, включающие месторождения минеральных вод, Тамбуканскую лечебную грязь, живописный ландшафт, благоприятный климат, на основе которых возникли знаменитые многопрофильные курорты – Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск и Железноводск [2]. КавМинВоды являются особо охраняемым эколого-курортным регионом России, имеют статус федерального курорта и включены в перечень уникальных курортов Российской Федерации как круглогодичный бальнео-грязевой и климатический курорт (1999 г.). Уникальность курорта в том, что на компактной территории (5,3 тыс. км<sup>2</sup>), с целебным горным климатом, рекреационным ландшафтом, парками, сконцентрировано более 100 источников минеральных вод 14 различных типов. Здесь ежегодно принимают на восстановительное лечение и оздоровительный отдых около 500 тысяч человек в год, а в связи с важнейшими государственными задачами восстановления и укрепления здоровья здоровых, природные лечебные ресурсы курорта позволят значительно увеличить поток отдыхающих (до двух млн.).

#### **Материалы и методы.**

Для достижения цели были использованы методы изучения, обобщения, систематизации и анализа результатов научно-методической и научно-исследовательской деятельности института. В качестве материалов исследования были выбраны монографии, научные статьи, методические материалы, архивные данные, связанные с курортной биоклиматологией. Материалы исследования включали результаты совместных междисциплинарных экспериментальных медико-биологических работ; метеорологические, гелиофизические, и климатические и экологические базы данных; фондовые материалы и др.

#### **Современные научные исследования в курортной биоклиматологии.**

В Пятигорском государственном НИИ курортологии ФМБА России (<http://www.gniik.ru>) – флагмане отечественной курортологии, был создан специальный отдел курортной биоклиматологии основными направлениями деятельности которого являются [см. рис 1]:

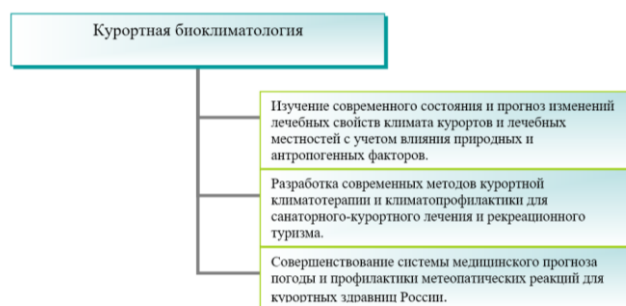


Рис.1. Основные направления курортной биоклиматологии

Для решения научно-исследовательских задач курортной биоклиматологии выполняются следующие работы:

– Организация и ведение стационарных и маршрутных биоклиматических наблюдений (актинометрических, метеорологических, ионизации приземной атмосферы, интегральной и ультрафиолетовой солнечной радиации).

– Исследование механизма действия биоклиматических особенностей и рекреационного ландшафта курортов и лечебных местностей на состояние здоровья.

– Погодофизиологический мониторинг влияния различных типов погоды, факторов антропогенного и природного загрязнения приземной атмосферы на взрослых, подростков и детей, больных различными заболеваниями.

Для решения научно-практических задач выполняются следующие работы:

– Разработка биоклиматических паспортов и оценка климато-ландшафтного потенциала для курортов, лечебных местностей и санаторно-курортных учреждений.

– Исследование микроклиматических и физико-химических условий различных типов спелеокамер и галокамер, выдача заключений об их состоянии для проведения лечебных процедур.

– Медицинский прогноз погоды с заблаговременностью на одни, двое и трое суток и с рекомендациями врача по профилактике метеопатических реакций у больных с различными заболеваниями.

– Исследование биоклиматических особенностей фитонцидных свойств растительных ассоциаций и природных ландшафтов курортов, лечебных местностей и отдельных здравниц и разработка рекомендаций по их рациональному использованию.

– Разработка методических рекомендаций по климатолечению взрослых, подростков и детей, больных с различными заболеваниями, исходя из конкретных биоклиматических особенностей курорта, лечебной местности или здравницы.

– Разработка рекомендаций по организации и устройству климатолечебных сооружений с учетом местных ландшафтно-климатических особенностей для курортов, лечебных местностей и отдельных здравниц.

В качестве методических материалов для решения указанных задач курортной биоклиматологии используются уникальные методы и возможности оротерапии, климато- и ландшафтотерапии, гелиотерапии, аэроионотерапии, фитотерапии, метеопрофилактики, терренкуров, направленные на повышение уровня здоровья и качества жизни пациентов, приезжающих на курортное лечение и оздоровительный туризм в регионе КавМинВод.

#### **Измерительные приборы и комплексы.**

1. Универсальный измеритель метеопараметров АТТ-9501 (или АТТ-9508) с датчиками влажности и температуры АТА-5091, скорости ветра АТА-1091, освещенности АТА-1591, термопары К-типа АТА-2104 (L.Electronic Enterprise Co. Ltd, Тайвань);

2. УФ-радиометр (UV-S-B-TSBT050602 Голландской фирмы Kipp&Zonen) для непрерывной регистрации и выявления, наиболее активно фиксируемого УФ излучения (УФИ), что гарантирует точность и индивидуализацию оценки МЭД и лечебных доз во время сеансов гелиотерапии, биотропного порога ультрафиолета (УФИ).

3. МАС-01 Счетчик аэроионов малогабаритный. Предназначен для измерений концентрации легких положительных и отрицательных аэроионов с целью контроля уровней ионизации воздуха на рабочих местах в производственных и общественных помещениях.

4. Электрохимический озонметр ELCO (ElectronicTechnologi Sistem, Германия). для измерения естественной концентрации озона и температуры воздуха в атмосфере.

5. Диагностический цифровой анализатор кардиоритмов аппаратно-программный комплекс «Лотос» на основе нейродинамического анализа variability сердечного ритма организма человека для комплексного исследования и контроля функционального состояния (технологические разработки исследовательского центра «Dinamika Technologies», СПб), соответствует стандартам качества ISO 9001:2000 (НПФ «Динамика»).

6. Метеорологическая площадка для измерения основных метеопараметров, расположенная в Национальном парке «Кисловодский». Стандартное оборудование позволяет проводить ежедневные наблюдения за погодой в штатном режиме, создавать многолетние архивы метеоинформации (базы данных).

Приборы, указанные в пп. 1, 3-5, используются также и для проведения плановых маршрутных биоклиматических наблюдений и медико-биологических исследований.

#### **Научное комплексирование.**

В рамках научных договоров, в том числе при поддержке РФФИ, Президиума РАН отдел курортной климатологии проводит совместные исследования с организациями:

1. Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН – по изучению аэрозольного и газового загрязнения приземной атмосферы курортов Кавказских Минеральных Вод;
2. Гидрометцентр России – по совершенствованию динамического прогноза погоды для горных курортов Юга России;
3. Северокавказским метеоагентством – по модернизации синоптического прогноза для горных курортов Юга России;
4. ФГБУ «Сочинским национальным парком» Министерства природных ресурсов Российской Федерации (кисловодский сектор) – по изучению биоклиматических особенностей фитонцидных свойств растительных ассоциаций и природных ландшафтов;
5. ФГБУ «Национальным парком Кисловодский» – по изучению курортно- рекреационного потенциала парка и оперативной подготовке медицинского прогноза погоды.

#### Результаты.

Анализ проведенного научного исследования обосновал перспективные виды природно-оздоровительной терапии в санаторно-курортном лечении и рекреационном туризме. Профилактика и лечение гелиометеозависимости и эколого-зависимых состояний вошли в число актуальных проблем выживания человечества, поэтому санаторно-курортное лечение и оздоровительный становится приоритетной задачей для здравоохранения России. В качестве примера на рис. 2 представлен информационный стенд с медицинским прогнозом погоды [2], который будет размещен в Нарзанной галерее в Национальном парке Кисловодский (НПК).



Рис. 2. Инфостенд медицинского (модульного) прогноза погоды

#### Литература

1. Современные тенденции и перспективы развития курортного дела в Российской Федерации //Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. Материалы Международного научного конгресса «Здравница-2018». – 2018. – №2, Т.95. – 140с.
2. Кавказские Минеральные Воды – целебный регион России. /В.И. Михайленко, Э.В. Стативкин, В.Н. Вышинский, Ю.А. Лебедев. – Пятигорск: Вестник Кавказа, 2008. – 200 с.:ил.
3. 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, и др. – ФГУ «ПНИИК ФМБА России»: ИФА им. А.М.Обухова РАН: Гидрометцентр России. – Пятигорск, 2009. - 23 с.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА

А. И. Тюгалева<sup>1</sup>, Р. И. Май<sup>1,2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## NUMERICAL MODELLING OF ICEBERG DRIFT

A. I. Tyugaleva<sup>1</sup>, R.I. May<sup>1,2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Данная статья представляет собой описание модели дрейфа айсберга, которая учитывает изменения различных параметров во время его движения. Модель включает в себя силы воздействия ветра, воды и течения, морского льда, сила градиента давления, и Кориолиса. Верификация модели проходила по данным ветра и течений за 24 июня 1983 года, взятым из работы [Smith, Donaldson, 1987].*

*This article is a description of the iceberg drift model, which takes into account changes of various parameters during its movement. The model includes effects of wind, water, currents and sea ice, the pressure gradient and the Coriolis force. Data of wind and currents for June 24, 1983 [Smith, Donaldson, 1987] were used for verification.*

### Введение.

Айсберги всегда несли огромную опасность для судоходства и разработки нефти. Сейчас применяются гидроакустические средства (ГАС) и радиолокационный метод обнаружения айсбергов на пути следования судна. Однако пресная вода вокруг айсберга создает экранирующий эффект, поэтому при помощи ГАС айсберги обнаруживаются на сравнительно небольшом расстоянии. Радиолокационный метод не вполне надежен потому, что для материкового пресноводного льда, из которого состоят айсберги, характера слабая отражательная способность. Так же на определение положения айсберга такими способами влияют его параметры, гидрологические и геофизические условия [1]. Для того, чтобы получить наиболее достоверную информацию об айсберге, необходима модель, которая выстроит траекторию его движения, учитывая все факторы изменения массы и объема ледяного тела, изменения течений, ветра и других параметров.

### Описание модели дрейфа айсберга.

Основным уравнением моделей дрейфа айсберга, таких как [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], является уравнение движения, в основе которого лежит второй закон Ньютона

$$M \frac{du}{dt} = F_A + F_W + F_P + F_I + F_C, \quad (1)$$

где  $M$  -масса айсберга,  $u$  —скорость дрейфа айсберга,  $F_A$  — сила воздействия ветра,  $F_W$  — сила воздействия воды и течения,  $F_P$ — сила градиента давления,  $F_I$ — сила воздействия морского льда,  $F_C$ — сила Кориолиса. Прочие силы, такие, как тяговое усилие, сила волнового воздействия, взаимодействия грунта и сила градиента давления являются дополнительными и учитываются далеко не во всех моделях.

*Сила воздействия ветра.*

Величина воздействия ветра пропорциональна квадрату относительной скорости ветра:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho_a c_a A_{va} |u_a - u_i| (u_a - u_i), \quad (2)$$

где  $\rho_a$  - плотность воздуха,  $c_a$  - безразмерный коэффициент сопротивления формы,  $A_{va}$  — поперечное сечение айсберга, подверженное ветру [4, 8].

Некоторые модели используют более сложный вариант силы сопротивления ветра, учитывая не только лобовое сопротивление (т.е. действие ветра на вертикальные стенки айсберга), но и сопротивление горизонтальной поверхности (т.е. воздействие ветра на верхушку айсберга), например, модели [3, 6]:

$$F_A = \underbrace{\frac{1}{2} (\rho_a c_a A_{va}) |u_a - u_i| (u_a - u_i)}_{formdrag} + \underbrace{(\rho_a c_{da} A_{ha}) |u_a - u_i| (u_a - u_i)}_{skindrag} =$$



$$\left[ \frac{1}{2} (p_a c_a A_{va}) + (p_a c_{da} A_{ha}) \right] |u_a - u_i| (u_a - u_i), \quad (3)$$

где,  $c_{da}$  - безразмерный коэффициент поверхностного сопротивления воздуха,  $A_{ha}$  - горизонтальные (верхние) участки айсберга, подверженные действию ветра.

*Сила воздействия течений.*

Сила воздействия течений моделируется так же, как и ветровое сопротивление, но для получения более точных результатов водную толщу, в которой лежит айсберг, разбивают на дискретные слои, а сама сила воздействия воды является суммой сопротивления по всем этим слоям. Тогда сила воздействия воды на айсберг будет выражаться формулой:

$$F_W = \frac{1}{2} p c_w \sum_k A_k |u_w^k - u_i| (u_w^k - u_i), \quad (4)$$

где  $k$  - уровень слоя воды ( $k=1$  - поверхность воды),  $A_k$  - площадь поперечного сечения в  $k$ -том слое,  $u_w^k$  - скорость воды  $k$ -того слоя,  $c_w$  - безразмерный коэффициент сопротивления формы [4],[8].

Так же в моделях [3, 6] используется усложненная формула

$$F_W = \underbrace{\frac{1}{2} p_w c_w \sum_{k=1}^n A_k |u_w^k - u_i| (u_w^k - u_i)}_{formdrag} + \underbrace{p_w c_{dw} A_{hw} |u_w^n - u_i| (u_w^n - u_i)}_{skindrag}, \quad (5)$$

где  $c_w$  - безразмерный коэффициент сопротивления формы,  $c_{dw}$  - безразмерный коэффициент поверхностного сопротивления воды,  $u_w^n$  - скорость воды на  $n$ -ном слое,  $A_{hw}$  - горизонтальная поверхность (основание), которая подвергается воздействию воды, т. е. учитывается поверхностное сопротивление основания айсберга.

*Сила, обусловленная наклоном уровня моря.*

Под влиянием различных факторов, таких, как неравномерное распределение тепла, солености, давления в толще воды и на ее поверхности, происходит изменение уровня океана. Наклон морской поверхности влияет на траекторию движения айсберга.

Данная сила высчитывается по формуле из работы [6]

$$F_p = -MgV\eta, \quad (6)$$

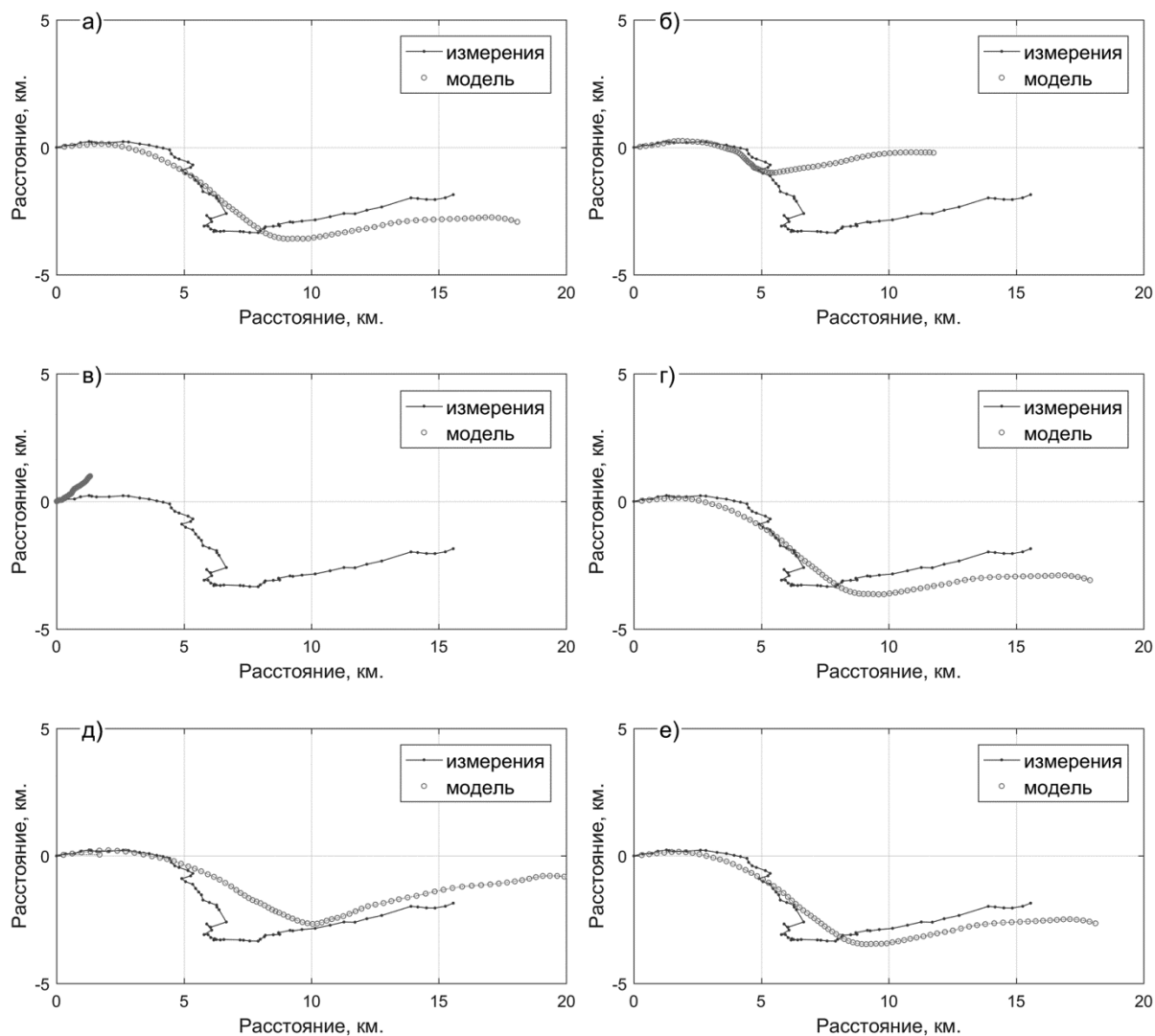
где  $\eta$  - высота морской поверхности.

#### **Реализация модели и численные эксперименты.**

Для построения дрейфа айсберга и верификации модели были использованы данные отслеживания айсберга 83-1 за период с 5:00 до 19:10 за 24 июня 1983 года, взятые из работы [7]. Этот небольшой пирамидальный айсберг был обнаружен в проливе Белл-Айл в точке с координатами  $51^{\circ}46'$  с.ш.,  $55^{\circ}55'$  з.д. Геометрические параметры и масса айсберга опубликованы в работе [7]: высота 19 м, длина 66 м, ширина 37 м, осадка 54 м, масса 85 кт. В течение периода наблюдения за айсбергом, также измерялись ветер и течения на разных горизонтах. Измеренные ветры были легкими и постоянными в направлении, в то время как течения были относительно сильными, вращаясь против часовой стрелки и слегка уменьшаясь с увеличением глубины.

При моделировании траектории дрейфа айсберга в расчет не брались те данные, когда судно находилось на расстоянии более одной морской мили. Это объясняется в работе [7] тем, что течения, измеренные вблизи судна, являлись нерепрезентативными вблизи айсберга. В модели использовались силы воздействия ветра, течений и сила Кориолиса. Этот факт обуславливается отсутствием других данных за этот период времени. Коэффициенты  $C_a$  и  $C_w$  были взяты равными 0.6 и 2.6 соответственно, были выбраны методом перебора значений. Такие же коэффициенты рекомендуются авторами в статьях [4, 6].

Для численного интегрирования уравнений движения (1) использовалась явная схема. Шаг по времени для расчета сил составил 120 секунд. При увеличении шага возникала численная неустойчивость. При изменении шага от 10 до 120 секунд происходило незначительное смещение трека относительно точки начала, но в основном траектория оставалась неизменной. При  $C_w \geq 3.0$  также возникала численная неустойчивость расчетов. Сравнение наблюденной и воспроизведенной моделью траекторий дрейфа айсберга представлено на рисунке 1а.



- а) дрейф айсберга, рассчитанный по модели с учетом силы Кориолиса, воздействия измеренного ветра, и измеренных на различных горизонтах течений (основной эксперимент).  
 б) то же что и основной эксперимент, но заданием вертикально осредненных течений.  
 в) то же что и основной эксперимент, но скорость течений приравнена нулю на всех горизонтах.  
 г) то же что и основной эксперимент, но без учета воздействия ветра (скорость ветра приравнена нулю).  
 д) то же что и основной эксперимент, но при завышенной скорости ветра (20 м/с).  
 е) то же что и основной эксперимент, но без учета силы Кориолиса.

Рис. 1. Измеренная и смоделированная траектории дрейфа айсберга в результате численного эксперимента на модели дрейфа айсберга

Также была проведена серия численных экспериментов по определению вкладов различных сил в формирование траектории дрейфа айсберга. На рисунке 1 представлена траектория дрейфа, рассчитанная по вертикально осредненным течениям (рис 1б) и без учета течений (рис 1в). Результаты численных экспериментов без учета воздействия ветра и с завышенной скоростью ветра представлены на рисунках 1г и 1д, соответственно. Траектория дрейфа без учета силы Кориолиса показана на рисунке 1е.

Как видно из рисунка 1б, общее направление моделированного трека по осредненным течениям совпадает с действительной траекторией дрейфа, а при отсутствии течений траектория дрейфа кардинально меняется (рис. 1в).

При исключении силы воздействия ветровых потоков траектория дрейфа айсберга претерпевала незначительные изменения (рис. 1г). Конечная точка траектории без учета ветра имеет небольшое смещение на юг (примерно 450-650 м) от траектории, рассчитанной по полной модели (рис. 1а). Воздействие усиленного ветра (скорость ветра приравнена 20 м/с) также незначительно изменило траекторию дрейфа (рис. 1д). Это связано с небольшой высотой айсберга, и малой площадью поперечного сечения, подверженного воздействию ветра.

Без учета силы Кориолиса, как и ожидалось, траектория дрейфа айсберга отклоняется влево (рис. 1е) от траектории, рассчитанной по полной модели (рис. 1а).

Результаты численных экспериментов показали, что траектория айсберга 83-1 из работы [7] в основном определяется воздействием течений. Это обусловлено небольшой площадью поперечного сечения надводной части айсберга (445 м<sup>2</sup>), подверженной влиянию ветра, сильными течениями приливного характера, и значительной осадкой (54 м) и площадью поперечного сечения подводной части айсберга (2275 м<sup>2</sup>).

#### **Заключение.**

Созданная модель является одной из попыток моделирования дрейфа айсберга с возможностью прогнозирования траектории движения. Модель была выведена на основе уже существующих математических моделей [2,3,4,5,6,7,8]. Валификация модели проводилась по данным отслеживания айсберга за 24 июня 1983 года в проливе Белл-Айл, взятым из работы [7]. В ходе численных экспериментов было установлено, что основной силой, влияющей на движение рассматриваемого айсберга, оказалась сила воздействия течений, причем наиболее эффективным оказался метод разбиения водной толщи и подводной части айсберга по горизонтам с шагом 10 метров. В этом случае моделированный трек имел схожее направление с измеренной траекторией дрейфа айсберга.

В дальнейшем планируется использование данной модели для получения генеральных направлений дрейфа айсберга для конкретных акваторий, для расчета айсберговой опасности, и как инструмента для климатического расчета распределения айсбергов.

#### **Литература**

1. Айсберги как элемент навигационной обстановки. Министерство обороны союза ССР Главное управление навигации и океанографии, 1988. 35 стр.
2. Клячкин С. В., Май Р. И. Прогностическая модель дрейфа айсберга//Проблемы Арктики и Антарктики, 2012. №1(91), с.78-88.
3. Abrahamowicz M. A thermodynamic and dynamic lagrangian model for icebergs: a data-model intercomparison for the Southern Ocean. Montreal, Quebec: McGill University, 2007. с. 35-39
4. Keshouche I., Bertino L., Lisaeter A. Parameterization of an iceberg drift model in the Barents Sea // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 2009. № 26 (10). с. 2216–2227.
5. Keshouche I., Counillon F., Bertino L. Modeling dynamics and thermodynamics of icebergs in the Barents Sea from 1987 to 2005 //Journal of geophysical research, vol. 115, C12062, doi:10.1029/2010JC006165, 2010
6. Pavac M., Coche E. A stochastic model of iceberg drift including wave effect//ROGTEC, May, с.86-97
7. Smith S.D., Donaldson N.R. Dynamic modeling of iceberg drift using current profiles., //Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences, №91., 1987.
8. Smith S.D. Hindcasting iceberg drift using current profiles and winds // Cold Regions Science and Technology. 1993. № 22. P. 33–45.

*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».*

*This work was supported by the RFBR grant 18-05-60109 “Study of the formation and evolution of dangerous ice phenomena and ice formations in the Arctic under current climate change”.*

## ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОМЕРЗАНИЯ РЕК ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ

М.В. Ушаков<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения РАН, Магадан, Россия

## FORMULAS FOR THE CALCULATION OF THE DURATION OF THE FULL FREEZING OF THE UPPER KOLYMA

M. V. Ushakov<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

*Ставилась цель вывести районную формулу для расчета продолжительности промерзания неизученных рек Верхней Колымы. Предложен показатель – «виртуальный объем водосборной котловины», который лучше характеризует емкость бассейна грунтовых вод.*

*The aim was to deduce the district a formula for calculating the duration of the complete freezing of unexplored rivers of the Upper Kolyma. "Virtual volume catchment basin" - an indicator has been proposed. It is better to characterize the capacity of the groundwater basin, which better characterizes the capacity of the groundwater basin.*

При проектировании хозяйственных объектов вблизи промерзающих рек Верхней Колымы встает задача расчета среднемноголетней продолжительности периода, когда сток отсутствует из-за полного промерзания водотока. Под Верхней Колымой понимается водосборная площадь р. Колымы до замыкающего створа у п. Орок на границе Магаданской области и Республики Саха (Якутия).

Характерной особенностью рассматриваемой территории является холодный климат [1] и наличие многолетней мерзлоты [2]. Внутригодовое распределение стока рек отличается значительной неравномерностью. В теплую часть года (май-октябрь) протекает основная масса воды (94-99 %), в зимние месяцы сток незначителен или вовсе отсутствует [3]. Гидрограф половодья характеризуются зачастую пилообразной формой. Волна половодья нередко сливается с последующими дождевыми паводками. Дождевые паводки проходят в период середина июня - сентябрь. Наименьшие расходы воды за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета и перед появлением на реке осенних ледовых явлений. Зимняя межень наблюдается со второй половины октября до начала мая.

В работе ставится цель вывести районную формулу для расчета продолжительности промерзания неизученных рек.

При исследовании использовались данные о минимальном стоке на 32 гидрологических постах Колымского УГМС, на которых промерзание отмечается ежегодно.

В соответствии с [4] продолжительность промерзания рек рекомендуется рассчитывать по районным графикам связи этой характеристики с площадью водосбора или длиной реки.

Продолжительность промерзания рек Верхней Колымы ( $T$ ) связана с площадью водосбора ( $A$ ) и длиной реки ( $L$ ) следующим образом

$$T = 205,0 - 5,125 (\lg(A + 1))^2 + 4,01 \lg(A + 1), (R^2 = 0,58) \quad (1)$$

$$T = 0,000269 L^2 - 0,429 L + 203,1, (R^2 = 0,60) \quad (2)$$

где  $R^2$  – коэффициент детерминации.

Предлагается показатель – «виртуальный объем водосборной котловины»

$$W = 0,001(H - h)A, \quad (3)$$

где  $H$  – средняя высота водосбора над уровнем моря (м);  $h$  – отметка уровня воды реки в летнюю межень в замыкающем створе над уровнем моря (м).

Этот показатель лучше характеризует емкость бассейна грунтовых вод, так как содержит в себе третью пространственную координату (аппликату), что особенно актуально для горных рек, поэтому его связь с  $T$  теснее

$$T = 206,3 - 4,508 (\lg(W + 1))^2 - 1,974 \lg(W + 1), (R^2 = 0,61) \quad (4)$$

Попытки связать продолжительности промерзания рек со средней высотой водосбора, среднегодовым и минимальным 30-суточным расходом воды за летне-осенний период не позволили получить уравнений более высокого качества.

Таким образом, использование виртуального объема водосборной котловины позволяет повысить точность расчета среднелетней продолжительности промерзания неизученной реки.

### **Литература**

1. Север Дальнего Востока / Под ред. Н. А. Шило. М.: Наука, 1970. 487 с.
2. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 515 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 282 с.
4. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.

## СИМБИОЗ СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД CAENORHABDITIS ELEGANS С БАКТЕРИЯМИ-НЕФТЕДЕСТРУКТОРАМИ ALCANIVORAX BORKUMENSIS В СИСТЕМЕ “ХОЗЯИН-МИКРОФЛОРА”

Г.И. Фахруллина<sup>1</sup>, Л.Р. Нигаматзянова<sup>1</sup>, Э.И. Хакимова<sup>1</sup>, И.Р. Ишмухаметов<sup>1</sup>, Р.Ф. Фахруллин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

## SYMBIOSIS OF FREE-LIVING NEMATODES CAENORHABDITIS ELEGANS WITH OIL-DEGRADING ALCANIVORAX BORKUMENSIS BACTERIUM IN THE "HOST-MICROBE" SYSTEMS

G.I. Fakhrullina<sup>1</sup>, L.R. Nigamatzyanova<sup>1</sup>, E.I. Hakimova<sup>1</sup>, I.R. Ishmuhametov<sup>1</sup>, R.F. Fakhrullin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia

*Разработка эффективных методов микробной биоремедиации последствий экологических катастроф, вызванных разливами нефтепродуктов, является одной из наиболее актуальных научных задач мирового масштаба. Работа направлена на изучение симбиотического взаимодействия нефтедеструкторных микроорганизмов Alcanivorax borkumensis и свободноживущих нематод Caenorhabditis elegans в системе «хозяин-микробиота».*

*The development of effective methods for microbial bioremediation of the consequences of environmental disasters caused by oil spills is one of the most urgent scientific problems on a global scale. The work is aimed at studying the symbiotic interaction of oil-degrading microorganisms Alcanivorax borkumensis and free-living nematodes Caenorhabditis elegans in the host-microflora system.*

В настоящее время одной из глобальных экологических проблем является загрязнение почвенной и водной среды сырой нефтью и продуктами ее переработки [1]. Возникает острая необходимость проведения мероприятий, направленных на ускорение процесса биоликвидации разливов нефти и восстановления плодородия почв с использованием организмов из разных трофических уровней [2]. В качестве модельных организмов были использованы многоклеточная нематода *Caenorhabditiselegans* (*C. elegans*) и углеводороддеградирующая бактерия *Alcanivoraxborkumensis* (*A. borkumensis*). Учитывая, что нематода *C. elegans* участвует в разложении органических веществ, и бактерия *A. Borkumensis* является наиболее распространенным нефтедеструктором, то изучение их взаимоотношений в системе хозяин-микробиота и совместной деятельности в усиленной утилизации нефти, несомненно, является перспективной задачей.

Используя анализ хемотаксиса, мы выявили, что нематоды *C. elegans* не избегают бактерий *A. borkumensis*. Согласно индексу хемотаксиса черви обладали примерно одинаковым предпочтением по отношению нефтеразлагающих бактерий *A. borkumensis* или обычного пищевого субстрата нематод *Escherichiacoli* (*E. coli*). Выявлено, что инкубация *C. elegans* в течение трех суток с культурой нефтеразлагающих бактерий *A. borkumensis* не оказывает значительного влияния на развитие нематод. Так, средняя длина тела нематод в контроле составила  $1210 \pm 77$  мкм, в то время как размер тела червей, употреблявших бактерии *A. borkumensis* как единственного источника питания, была  $1246 \pm 151$  мкм. Кроме того, нефтеразлагающие бактерии не подавляли развитие в последующих трех поколениях нематод. Отмечено увеличение репродуктивного потенциала на 35 % у нематод в первом поколении после кормления нефтедеструкторными бактериями *A. borkumensis*, по сравнению с нематодами, употреблявшими обычную пищу *E. coli*. Однако, у нематод в последующих трех поколениях, употреблявших в качестве пищи *A. borkumensis*, не выявлено существенных изменений в количестве потомства. Эти данные указывают на то, что бактерии эффективно усваиваются нематодами. Обнаружено, что бактерии *A. borkumensis*, как и контрольные клетки *E. coli*, не вызывают увеличения уровня активных форм кислорода в организме нематод. С помощью флуоресцентной и темнопольной микроскопии в просвете кишечника нематод визуализировали интактные бактериальные клетки. Хроническое воздействие бактериями-нефтедеструкторами на *C. elegans* не привело к статистически значимому сокращению продолжительности жизни нематод.

Полученные результаты данного исследования указывают на то, что нефтеразлагающие бактерии *A. borkumensis* не являются патогенными и могут быть использованы в качестве единственного источника пищи для нематод, что является перспективным для разработки способов повышения эффективности биологической очистки нефтезагрязненных систем.

### **Литература**

1. Ivshina I. B. et al. Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies // Environ. Sci. Process Impacts. 2015. V. 17, N 7. P. 1201-1219.
2. Cuny G. et al. Influence of bioturbation by the polychaete *Nereis diversicolor* on the structure of bacterial communities in oil contaminated coastal sediments // Mar. Pollut. Bull. 2007. V. 54, N4. P. 452-459.  
*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-34-00778 мол\_a.*

*This work was supported by the RFBR grant 18-34-00778 mol\_a.*

## ГЛУБОКАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

А.М. Федоров<sup>1,2</sup>, Т.В. Белоненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

## DEEP CONVECTION IN LOFOTEN BASIN OF THE NORWEGIAN SEA

A.M. Fedorov<sup>1,2</sup>, T.V. Belonenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Scientific Foundation “Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre”, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются особенности пространственно-временной изменчивости глубокой конвекции в Лофотенской котловине Норвежского моря. Даны оценки интенсивности конвекции, посредством определения глубины ВКС (верхнего квазигомогенного слоя) методом Духовского по данным контактных измерений буев ARGO и результатам гидродинамического моделирования MITgcm.*

*The features of space-time variability of deep convection in The Lofoten basin of the Norwegian sea are considered. The convection intensity is estimated by determining the MLD (mixed level depth) by Dukhovskoy method using the data of ARGO buoys contact measurements and the results of hydrodynamic modeling of MITgcm.*

### **Введение.**

Лофотенская котловина Норвежского моря характеризуется наличием в ней квазипостоянного антициклонического Лофотенского вихря, расположенного в центре котловины между 68°-72° с.ш. и 2° з.д.-10° в.д., распространяющегося до самого дна (до 3250 м) [1-3]. Одним из ключевых механизмов поддержания термохалинной структуры квазипостоянного Лофотенского вихря является динамическая активность Норвежского течения, генерирующего множество мезомасштабных вихрей, отрывающихся от его восточной ветви и переносящих на запад теплые и соленые воды, которые, перераспределяясь по котловине, значительно влияют на образование глубинных океанских вод. Этот процесс определяет Лофотенскую котловину как основной тепловой резервуар субарктических морей. Также Лофотенская котловина одновременно является энергоактивной зоной, которая напрямую влияет на климат Европы и условия судоходства по северному морскому пути в экономической зоне России.

Глубокая конвекция выступает другим важнейшим механизмом, оказывая непосредственное воздействие на формирование линзообразной структуры в центре Лофотенской котловины [3]. Глубина верхнего квазигомогенного слоя (ВКС) характеризует интенсивность глубокой конвекции.

### **Данные и методы.**

Мы анализируем глубокую конвекцию в акватории Лофотенской котловины на основе данных гидродинамического моделирования при помощи MITgcm (предоставлены Д.Л. Волковым (Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Studies University of Miami NOAA/AOML/PHOD)) с пространственным разрешением 4x4 км за период 1993-2012 гг. [4] и профилей температуры и солёности буев ARGO (<https://www.nodc.noaa.gov/argo/>) за период 2002-2017 гг. Глубина ВКС рассчитывалась методом Духовского (не опубликован). Проведено сравнение метода Духовского с методом Kara et al. [5] и показано, что метод Духовского для оценки глубокой конвекции является более точным. Положение Лофотенского вихря определялось по данным абсолютной динамической топографии AVISO (Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data) (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data.html>) на основе методики, описанной в Bashmachnikov et al. [6].

### **Результаты.**

Проведен T,S-анализ профилей ARGO вне и внутри Лофотенского вихря. Всего за зимний период в исследуемом районе отмечалось около 1500 профилей, и только 71 из них наблюдался внутри Лофотенского вихря. Получены оценки межгодовой изменчивости максимальных глубин ВКС в Лофотенской котловине. Установлено, что по данным модели MIT конвекция может



охватывать слой до 950 м, а по данным ARGO до 1100 м. Рассмотрено пространственное распределение максимальных за весь период глубин ВКС по данным ARGO и данным MITgcm: в обоих случаях максимальные глубины ВКС наблюдаются в районе, где чаще всего отмечается Лофотенский вихрь. Определено количество профилей с глубиной ВКС более 300 и 500 метров в процентах от общего числа по данным модели и в штуках по данным контактных измерений. До 35 % процентов профилей под данным MITgcm может перемешиваться до 300 метров и до 15% до 500 в области, приуроченной к наиболее частому нахождению Лофотенского вихря. Показано, что наибольшей интенсивности конвективные процессы в Лофотенской котловине достигают в марте. Описаны особенности формирования конвекции в течение зимнего сезона по среднемесячным полям ВКС, рассчитанным по данным MITgcm.

### Литература

1. Белonenko Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю. Е., Ожигин В. К. // Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря. Вестник СПбГУ. 2014. Сер. 7. № 2. С. 108–121.
2. Volkov D.L., Belonenko T.V., Foux V.R. Puzzling over the dynamics of the Lofoten Basin - a sub- Arctic hot spot of ocean variability // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. N. 4. P.738-743. doi:10.1002/grl.50126.
3. Блошкина Е.В., Иванов В.В. Конвективные структуры в Норвежском и Гренландском морях по результатам моделирования с высоким пространственным разрешением // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 361. С. 146–168.
4. Колдунов А.В., Колдунов Н.В., Волков Д.Л., Белonenko Т.В. Применение спутниковых данных для валидации гидродинамической модели Северного Ледовитого океана. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 111–124.
5. Kara, A.B., Rochford, P.A., Hurlburt, H.E. Mixed layer depth variability over the global ocean // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. N. C3. P. 3079. doi:10.1029/2000JC000736.
6. Bashmachnikov, I. L., Sokolovskiy, M. A., Belonenko, T. V., Volkov, D. L., Isachsen, P. E., Carton, X. On the vertical structure and stability of the Lofoten vortex in the Norwegian Sea // Deep-Sea Res. I. 2017. V. 128, P. 1–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2017.08.001>.  
*Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 18-17-00027.*

*This work was supported by the Russian Science Foundation, grant number 18-17-00027.*

## ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

И.В. Федорова<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Г.Э. Здоровеннова<sup>2</sup>, канд. геогр. наук, Р.Э. Здоровеннов<sup>2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

## THERMAL REGIME OF ARCTIC LAKES ON THE BACKGROUND OF CLIMATIC VARIABILITY

I.V. Fedorova<sup>1</sup>, Cand. Sc., G.E. Zdrovennova<sup>2</sup>, Cand. Sc., R.E. Zdrovennov<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Northern water problems Institute Karelian Research Center, Petrozavodsk, Russia

*Приведены результаты натурных измерений и моделирования термического режима мелководных арктических озер, расположенных на острове Самойловский в дельте р. Лены, с использованием одномерной параметризованной математической модели Flake.*

*The results of field measurements and modeling of the thermal regime of shallow Arctic lakes located on Samoilovsky Island in the Lena River Delta are presented using the one-dimensional parameterized mathematical model Flake.*

### **Введение.**

На фоне наблюдаемого «потепления» климата происходят изменения в ландшафтах арктической зоны. При этом экосистемы небольших мелководных водоемов Арктики являются наиболее уязвимыми. Озера арктической зоны, ввиду малой термической инерции, испытывают значительные изменения в термическом и ледовом режимах и условиях перемешивания на фоне меняющегося климатического воздействия [1-3]. Наблюдаемые изменения в физических, химических и биологических аспектах экосистем водоемов также обусловлены термической эрозией вечной мерзлоты и образованием термокарста [4, 5]. Эти изменения определяют продолжительность «биологического лета», жизненные циклы гидробионтов, а также влияют на химико-биологические процессы в период ледостава, в том числе, на кислородный режим, что делает озерные экосистемы потенциально уязвимыми. Экологическая значимость подобных исследований определяется тем, что даже небольшие изменения в сроках наступления и продолжительности этапов термического цикла озер, условий перемешивания могут оказывать огромное влияние на функционирование экосистем водоемов, в частности, на планктонное сообщество [6].

Характерной чертой текущего состояния климата в Арктическом регионе является регулярное проникновение теплых и насыщенных влагой воздушных масс атлантического происхождения. На границе Арктического шельфа в зимний период формируются стационарные польньи, которые оказывают существенное влияние на погоду и климат прилегающих районов, определяя режим осадков, характер облачности, радиационный баланс подстилающей поверхности, а также состояние и изменчивость снежного и ледяного покровов. Формируется «мозаичная» структура климатических состояний в различных районах Арктики, усложняющая адекватную оценку тенденции изменения климата региона в целом.

Термический и ледовый режимы озер арктической зоны определяются их географическим положением и характеризуются, главным образом, коротким (2-3.5 месяца) периодом открытой воды и большой толщиной льда, достигающей 1.5-2 м [7, 8]. Изменения регионального климата последних десятилетий оказывают заметное влияние на продолжительность ледостава на арктических озерах, изменяя, в первую очередь, даты окончания ледостава [4]. Сокращение продолжительности ледостава, и, как следствие, более длительный период испарения, приводят к уменьшению глубины озер, изменяют сроки замерзания, толщину льда и вносят, таким образом, существенные изменения в функционирование озерных экосистем [8, 9].

Исследования термического и кислородного режимов водоемов арктической зоны, продолжительности периодов аноксии и «биологического лета» необходимы для оценки условий

функционирования озерных экосистем в течение года. Выполнение подобного рода оценок для озер Арктики является до сих пор весьма актуальной задачей в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на водные экосистемы и малым количеством данных. Арктические регионы с их труднодоступностью и суровым климатом придают исследованиям озер большую сложность, а новые полученные сведения делают уникальными. Использование методов математического моделирования в этих условиях помогает решить ряд задач при исследовании экологического состояния арктических территорий.

Цель исследования – изучение и численное моделирование термического и ледового режимов малых арктических озер острова Самойловский (дельта реки Лены) на фоне изменений в региональном климате.

#### **Материалы и методы.**

В 2009-2012 гг. силами сотрудников российско-германской Лаборатория полярных и морских исследований им. Отто Юльевича Шмидта (ААНИИ), Санкт-Петербургского государственного Университета и германских коллег из Института Альфреда Вегенера, Центра полярных и морских исследований им. Гельмгольца (AWI) в рамках экспедиции «Лена» проводились комплексные гидрофизические, палеолимнологические и химико-биологические исследования мелководных водоемов, расположенных на прибрежных территориях арктической зоны, направленные на оценку уязвимости их экосистем при возрастающем антропогенном воздействии на фоне изменяющихся климатических условий [5, 7, 10]. В рамках экспедиции были обследованы многочисленные мелководные озера, марши, лайды, устья впадающих в Северный Ледовитый океан рек, затапливаемых в период приливов и нагонов, болота и заболоченные территории. В дельте реки Лены насчитывается около 1.5 тысяч островов и 60 тысяч озер. В южной части дельты Лены исследования были сосредоточены в районе острова Самойловский (72°37 с.ш., 126°49 в.д.).

Моделирование термического режима и условий перемешивания озер проводилось с использованием одномерной параметризованной математической модели Flake (<http://nwpi.krc.karelia.ru/flake>; <http://lakemodel.net>). Длительные непрерывные измерения температуры воды проводились с использованием термокос, установленных в трех озерах острова Самойловский Molo, Fish и Ванное-2 в период с июля 2009 по август 2012 гг. Гидрологическое описание этих озер приведено в работе [7]. Анализ рядов температуры воды (3-4 термодатчика, расположенных вблизи границы вода-дно и выше через 2 м в водной толще) позволил установить основные особенности термического и ледового режимов озер, определить даты замерзания и освобождения ото льда, начала весенней подледной конвекции и осеннего охлаждения [11]. При модельных расчетах были приняты следующие допущения: для озера Molo средняя глубина 2.2 м, прозрачность 1.5 м, толщина теплоактивного слоя донных отложений 3.5 м, температура на его нижней границе 2°C; для озера Fish средняя глубина 3.1 м, прозрачность 2 м, толщина теплоактивного слоя донных отложений 4 м, температура на его нижней границе 2°C; для озера Ванное-2 средняя глубина 4.3 м, прозрачность 2.5 м, толщина теплоактивного слоя донных отложений 4 м, температура на его нижней границе 2°C.

Для оценки атмосферного воздействия при модельных расчетах использовались данные метеостанции «Столб остров» (Республика Саха, Булунский улус) (сайты "Расписание Погоды", [rp5.ru](http://rp5.ru) и «Погода и климат» <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=21721>).

#### **Результаты и обсуждение.**

*Продолжительность ледостава.* Результаты численных расчетов показали, что даты начала ледостава и его окончания заметно отличались для всех трех озер от дат, установленных по измерениям. Для озера Molo «модельный» ледостав начинался раньше сроков, установленных с помощью измерений – на неделю осенью 2009 и 2011 гг. и на двое суток в 2010 г. Модельные даты окончания ледостава происходили на 8-10 суток позже в июне 2010 и 2011 гг. и на 5 суток позже в июне 2012 г.

На озере Fish «модельный» ледостав наступал на 3-7 суток раньше, заканчивался на 5-10 суток позже.

Модельные даты начала ледостава на озере Ванное-2 в 2009 и 2011 гг. наступали на 5-8 суток раньше, чем по данным натурных измерений, в 2010 г. – наступили позже на двое суток относительно наблюдаемой даты. Даты освобождения озера ото льда по модельным расчетам в

первые два года наблюдений запаздывали на 8-10 суток, в третий год – практически совпали с наблюдаемыми.

*Придонная температура в период ледостава.* Расчетная придонная температура озера Моло была заметно выше наблюдаемой в зиму 2009-2010 гг. и достаточно близка к реальности в две следующие зимы. Модель хорошо воспроизвела характерный ход придонной температуры для этого озера в течение зимы, а именно – ее резкий рост после замерзания озера и постепенное понижение, начиная с третьего месяца ледостава.

Модельная придонная «зимняя» температура для озера Fish плохо воспроизводила реальность: была наиболее близка к данным измерений только в первую зиму, и заметно занижена во вторую и третью. По данным натурных измерений установлено, что придонная температура на озере Fish резко увеличивалась в течение первого месяца ледостава, затем следовало ее выраженное уменьшение. В то время как по модельным данным придонная температура заметно увеличивалась после замерзания озера, затем оставалась практически неизменной до конца зимы.

Модельная придонная температура для озера Банное-2 в зимний период воспроизводилась достаточно реалистично, однако скорость повышения придонной температуры в первые дни ледостава по модельным расчетам была заметно ниже, чем в реальности.

*Толщина льда.* Максимальная расчетная толщина льда на исследуемых озерах (1.85-2 м) была достаточно близка к данным, полученным по натурным измерениям.

*Период весенней подледной конвекции.* На всех трех озерах во все годы измерений наблюдалось явление весенней подледной конвекции, продолжающееся около двух месяцев [11]. При этом температура поверхностных слоев водной толщи озер повышалась очень существенно. Наблюдалось выравнивание температуры поверхностных и придонных слоев озер, то есть конвективное перемешивание охватывало их водную толщу полностью. Модель не воспроизвела этого явления: придонная температура на всех трех озерах продолжала понижаться, а поверхностная – была равна нулю до взлома льда. Возможно, именно в связи с тем, что модель не учитывает влияние подледного прогрева, связаны более поздние модельные даты окончания ледостава.

Важной особенностью гидрологического режима озера Банное-2, установленной по данным натурных измерений, является то, что в конце ледостава в озеро возможен существенный приток речных вод. Как следствие этого наблюдается резкое падение температуры в конце ледостава как поверхностных, так и придонных горизонтах водной толщи. Очевидно, что эту характерную черту термического режима озера модель также не смогла воспроизвести.

*Период открытой воды.* В период открытой воды расхождение измеренных и рассчитанных температур (как поверхностных, так и придонных слоев водной толщи) для мелководных озер Моло и Fish было несущественным. Максимальная поверхностная температура по модельному расчету достигала 18-19°C, что близко к наблюдаемым значениям. Максимум придонной температуры также был близок к натурным данным и достигал 15-17°C. Оба озера, судя по ходу измеренной температуры, на этапе летнего нагревания, практически постоянно находятся в состоянии, близком к гомотермии. Этап осеннего охлаждения начинается в последней декаде июля, эта особенность термического режима озер воспроизводится моделью хорошо.

По данным натурных измерений установлено, что в период открытой воды на фоне жаркой безветренной погоды в озере Банное-2 возможно установление стратификации. Это явление было хорошо выражено летом 2010 и 2011 гг. При заданных значениях прозрачности (2.5 м), такое расслоение моделью не воспроизводилось. Ранее было показано [12], что при уменьшении прозрачности модель более реалистично воспроизводит термическое расслоение водной толщи озера. Подобные результаты были получены при моделировании термического режима бореальных озер с изменяющейся прозрачностью в разные по климатическим условиям годы [13].

#### **Заключение.**

Математическое моделирование термического режима трех арктических озер, расположенных на острове Самойловский (дельта реки Лены) с разной прозрачностью и глубиной с использованием одномерной параметрической модели Flake и сравнение расчетных данных с данными круглогодичных измерений температуры в этих озерах позволило установить, что модель достаточно хорошо воспроизводит годовой ход придонной температуры водной

толщи. В период ледостава общий ход придонной температуры воспроизводится достаточно неплохо, однако, такие характерные черты изменения придонной температуры, как выраженное ее понижение со 2-3 месяца ледостава до конца зимы не воспроизводятся. Такая важная особенность термического режима водоемов, как весенний подледный прогрев, обусловленный проникновением солнечной радиации в верхние слои водоемов, моделью также не воспроизводится.

Модельные даты начала и окончания ледостава отличаются от натуральных, модельная продолжительность ледостава больше. Более поздние даты окончания ледостава могут быть связаны с тем, что модель не воспроизводит период весеннего подледного прогрева, наблюдаемый на всех трех водоемах.

Модель достаточно хорошо воспроизводит термические условия озер в период открытой воды, а также особенности режима перемешивания на мелководных озерах Molo и Fish. На более глубоководном озере Ванное-2 при заданных значениях прозрачности не воспроизводится наблюдаемое термическое расслоение водной толщи, однако уменьшение прозрачности приводит к лучшему соответствию расчета и натуральных данных.

### Литература

1. O'Reilly C. M., Sharma S., Gray D. K., et al. Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42, №. 24. P. 10773-10781. doi: 10.1002/2015GL066235.
2. Prowse T. et al. Past and Future Changes in Arctic Lake and River Ice // *AMBIO*. 2011. V. 40. P. 53-62. DOI 10.1007/s13280-011-0216-7
3. MacIntyre S. Climate-related variations in mixing dynamics in an Alaskan arctic lake // *Limnol. Oceanogr.* 2009. V. 54. N 6, part 2, P. 2401-2417.
4. Alaska's Changing Arctic: Ecological Consequences for Tundra, Streams, and Lakes. Edited by J. E. Hobbie, G.W. Kling. Oxford Scholarship, 2015. doi: 10.1093/acprof:osobl/9780199860401.001.0001
5. Boike J., Georgi C., Kirilin G. et al. Thermal processes of thermokarst lakes in the continuous permafrost zone of northern Siberia - observations and modeling (Lena River Delta, Siberia) // *Biogeosciences*. 2015. V. 12. N 20. P. 5941.
6. Gerten D., Adrian R. Climate driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation // *Limnol. Oceanogr.* 2000. V. 45, N 5. P. 1058—1066.
7. Четверова А.А., Федорова И.В., Потапова Т.М., J. Boike. Гидрологические и геохимические особенности современного состояния озер о. Самойловский в дельте р. Лена // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2013. № 1 (95). С. 97-110.
8. Arp C.D., Jones B.M., Grosse G. Recent lake ice-out phenology within and among lake districts of Alaska, USA // *Limnol. Oceanogr. Methods*. 2013. V. 58. N 6, P. 2013-2028.
9. Duguay C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R. et al. Recent trends in Canadian lake ice cover // *Hydrol. Processes*. 2006. V. 20. P.781–801.
10. Boike J., Kattenstroth B., Abramova K. et al. Baseline characteristics of climate, permafrost, and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011) // *Biogeosciences*. 2013. V.10. P. 2105-2128. doi:10.5194/bg-10-2105-2013.
11. Здоровеннова Г.Э., Федорова И.В. Термический режим малых арктических озер // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 12(8). С. 1452-1456.
12. Здоровеннова Г.Э., Шадрин А.А., Федорова И.В. Моделирование термического режима малых арктических озер // *Успехи современного естествознания*. 2016. №1, С. 111-115.
13. Здоровеннова Г.Э., Голосов С.Д., Зверев И.С., Здоровеннов Р.Э., Тержевик А.Ю. Реакция термической структуры малых бореальных озер на различные сценарии атмосферного воздействия // *Успехи современного естествознания*. 2015. №10. С. 100-103.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60291).*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-60291).*

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И МОДЕЛИРОВАНИИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОЕМОВ

Н.Н. Филатов<sup>1</sup>, В.В. Меншуткин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский институт экономики и математики РАН, Санкт-Петербург, Россия

## INNOVATIVE METHODS IN EXPERIMENTAL RESEARCHES AND MODELING OF HYDROPHYSICAL PROCESSES AND ECOSYSTEMS OF MAJOR STRATIFIED WATER BODIES

N.N. Filatov<sup>1</sup>, V.V. Menshutkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Water Problems of the North, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg Institute of Economics and Mathematics, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

*Представлены сведения о разработке и внедрении методов экспериментальных исследований, проблемы «традиционного» и «инновационных» подходов к созданию моделей экосистем внутренних водоемов.*

*Presents information on the current states of the development and implementation of experimental research methods and examples of the "traditional" and "innovative" approaches to the development of ecosystem models of inland waters.*

Важная задача настоящей работы состоит в том, чтобы продемонстрировать возможность организации натуральных экспериментов в более контролируемых, чем в океанах условиях, при меньшем числе влияющих факторов, например, при отсутствии приливов, солености, планетарных волн Россби, механизма двойной диффузии в крупных озерах для калибрации и верификации математических моделей. Успешное решение задачи верификации математических моделей зависит от чёткости постановки задачи и ясного определения понятий, которыми оперируют при верификации, т.е. от того, в каком виде представляются данные наблюдений, период их осреднения и способы фильтрации для сравнения с результатами численных экспериментов.

Требуется разработка систем принятия управленческих решений, основанных на математических моделях. Отсутствие таких систем приводит к серьезным проблемам рационального использования, управления ресурсами водоемов, например, таким, которые произошли с озером Байкал в период маловодья в 2015-2017 гг. При решении задач рационального использования и управления ресурсами озер возрастает роль наблюдений (мониторинга) и целенаправленных научных исследований. При решении последней задачи предполагается, что состояние объекта управления полностью известно. Такая ситуация, пользуясь терминологией теории игр, называется игрой с природой при полной информации. Однако на практике дело обстоит совсем не так. О состоянии управляемой экосистемы можно судить только по данным наблюдений, которые никогда не бывают полными и исчерпывающими [1].

Для озер имеются своеобразные проблемы, которые усложняют моделирование экосистем по сравнению с морями, т.к. в озерах погранслои занимают значительно больший относительный объем, чем в морях; аномальные свойства пресной воды – максимальная плотность воды при 3.98 °С приводит к формированию такого явления, как термический фронт или термобар. Для Белого моря имеется опыт калибрации и верификации 3-D математических моделей гидродинамики. Это разработка системы оперативного мониторинга - COM; моделей экосистем, созданных И.А. Нееловым и О.П. Савчуком [3], а также комплекса моделей Green JASMIN, основанного на ранее созданной для Ледовитого океана модели термогидродинамики ФЕМАО [2].

Менее изученными в настоящее время являются мезо - и суб - мезомасштабные процессы в морях и озерах (вихревые структуры, внутренние волны, в том числе и нелинейные), которые вносят значительный вклад (более 50 %) в спектры флуктуаций течений и температуры воды в

диапазоне от нескольких месяцев до частоты  $N$  в океанах, морях и озерах. Они играют существенную роль в формировании химико-биологических полей, поэтому их исследование представляется актуальным для решения широкого круга экологических задач.

Важным преимуществом проведения специализированных экспериментов в замкнутых морях и, особенно в озерах является гораздо большая техническая простота и существенно меньшая стоимость исследований. Определенные преимущества проведения экспериментов состоят в том, что имеется возможность организации и проведения долговременных (месяцы и даже годы) наблюдений температуры, течений, уровня воды, которые при необходимости могут охватывать всю акваторию озера или его часть, с постановкой сети автономных буйковых станций, судовых измерений одновременно с одного или одновременно нескольких судов [1], что позволяет получить информацию о широком спектре гидрофизических полей. Здесь же возможна организация подспутниковых экспериментов, разработка и совершенствование разнообразных дистанционных методов. Определенная простота проведения численных экспериментов определяется не только относительно малыми размерами водоемов, и "короткой" памятью гидрофизических процессов, т.к. димиктические озера замерзают на несколько месяцев. Важным преимуществом является также простота и естественность задания граничных условий в замкнутых водоемах по данным надежных измерений расходов воды рек, поле ветра, уровня воды.

Серьезной проблемой является то, что математические модели, на которых могут быть основаны системы поддержки принятия управленческих решений (СППУР) озер в России, не являются «продуктами», а работают только в «руках» создателей. Отсутствие необходимых математических моделей для СППУР приводит к тому, что приходится принимать решения по регулированию уровня воды озера Байкал не в соответствии с принятым Законом о Байкале, путем Постановления Правительства РФ.

Разработанный ранее в СПб ЭМИ РАН при участии ИНОЗ и ИВПС КарНЦ РАН комплекс для моделирования гидрофизических процессов и экосистем позволил выполнить диагноз и прогнозы изменения экосистем Ладожского и Онежского озер, оценить предельная биогенную нагрузку, ассимиляционный потенциал озер [1]. Однако этот комплекс имел определенные недостатки. Например, слабое задание атмосферных воздействий, недостаточное точное описание ледяного покрова и параметризации подсеточных процессов.

Для создания более совершенного комплекса моделей для диагноза и прогноза озерных экосистем для широкого диапазона временных масштабов в рамках программы РФ «Озера России - диагноз и прогноз состояния экосистем при климатических и антропогенных воздействиях» создается новая модель термогидродинамики (ТГД), разработанная ранее для Каспийского моря Р.А.Ибраевым [4]. В настоящее время модель ТГД адаптирована для Ладожского и Онежского озер, позволяет воспроизводить циркуляции как климатического масштаба, так мезомасштабов. Эта модель сопряжена с экосистемным блоком [5]. Разрабатываемый комплекс моделей ТГД и экосистем реализован на кластерах ИВМ и КарНЦ РАН, может использовать более мелкие, порядка 0.5 км сетки, которые позволяют более корректно, чем в моделях СПб ЭМИ РАН, описать мезомасштабные процессы в озерах; воспроизводить формирование и разрушение ледяного покрова, а также мезомасштабные волно-вихревые неоднородности и термобар. В этой модели явным образом описываются потоки воды через боковые границы (сток рек) и поверхность раздела воздух-вода (испарение, осадки). Предполагается, что создаваемый комплекс моделей для Ладожского и Онежского озер может в перспективе использоваться для систем поддержки принятия решений для других крупных стратифицированных озер, например, для озер Байкал, Телецкое и др.

В последние 5 лет также по инициативе академиков А.С. Саркисяна и В.П. Дымникова специалистами ИВМ РАН, ИПМИ КарНЦ РАН и ИВПС КарНЦ РАН создается более совершенный комплекс моделей термогидродинамики и экосистем - Green JASMINE на примере Белого моря. Комплекс включает блок термогидродинамики JASMINE [2], который разработан на основе модели FEMAO, созданной для Северного Ледовитого океана Н.Г. Яковлевым и химико-биологического блока – BFM (<http://bfm-community.eu>. 15.08.2018.). Одним из недостатков блока моделей BFM является необходимость задания слишком большого числа коэффициентов и параметров, которые не известны из наблюдений, в отличие от задания ограниченного числа, но надежно определенных параметров в моделях О.П. Савчука [3, 9].

После завершения надежной калибровки и верификации модели Green JASMINE на примере Белого моря, разработанный комплекс моделей предполагается использовать для моделирования экосистем других морей Арктики.

Рассмотрим другие подходы для описания гидрофизических и химико-биологических процессов, которые создаются и используются, прежде всего, в тех случаях, когда уровень знаний о моделируемых процессах или явлениях не позволяет применять формальный аппарат, или когда отношения между объектами в модели не имеют количественной оценки и регулируются только причинно-следственными связями. Для описания процессов, происходящих в водных экологических системах, был использован математический аппарат, существенно отличающийся от традиционного использования дифференциальных уравнений, а именно т.н. стохастические клеточные автоматы [6]. Идея использования клеточных автоматов, сформулирована Джоном фон Нейманом [6]. По существу, это означает переход от традиционного метода описания экологической системы с помощью системы дифференциальных уравнений к использованию представлений дискретной математики. Метод нашел практическое применение при моделировании наземных сообществ, нейронных сетей, передаче энергии в пограничном слое движущегося газа или жидкости, а также был использован для моделирования биоты в озерах Байкал и гидрофизических и химико-биологических процессов как подо льдом, так и в период открытой воды в Ладожском и Онежском озерах [7]. Основная задача состояла в том, чтобы описать синергетику комплекса физико-химико-биологических процессов в период от устойчивого ледяного покрова до его начала разрушения в условиях подледной конвекции для лучшего понимания функционирования сложной экосистемы подо льдом [7, 8]

Для создания модели экосистемы подо льдом Онежского озера пространство разбивалось на 18000 дискретных объемов воды (20 по глубине, 30 на 30 по горизонтали с шагом 1 м), характеризующихся температурой, плотностью, освещенностью, концентрациями растворенного в воде кислорода, биогенов в виде неорганических соединений фосфора и азота, а также биомасс фито, бактерио- и зоопланктонных организмов.

Наиболее принципиальным является задание процессов обмена, перемешивания. Была отработана схема из комплекса вихрей разного размера [8]. Этот подход был применены также для создания компьютерной модели распространения консервативной примеси, оценки загрязнения водоема и термического режима Ладожского озера [8]. Созданные модели рассчитаны на возможность их дальнейшего расширения за счет введения в них гидрохимических и гидробиологических переменных для моделирования экосистем озер.

Применительно к проблемам внутренних водоемов и их водосборов, необходимо исследовать динамику не только экологических систем самого водоема (моря или озера), но и процессов, происходящих в регионах (субъектах РФ) на водосборном бассейне в окружающей среде, экономике и социальной сфере, а также изменения климата. Все это требует учета множества разнообразных параметров. Для решения таких сложных задач применяют когнитивные модели, которые востребованы для решения задач рационального использования и сохранения ресурсов водоемов и водосборов, создания систем поддержки принятия управленческих решений. Такие сложные задачи существенно меняют требования к натурным экспериментальным данным и моделированию гидрофизических процессов и экосистем. Основная трудность при построении обобщающих моделей подобного типа заключается в качественной разнородности величин, характеризующих состояние подсистем, составляющих единое целое. При конструировании когнитивной модели некоторые объекты заменяются системой логических связей, которые подбираются на основании знаний, устанавливая зависимости между переменными моделируемого объекта. Из-за «размытости» исходных данных и связей разных данных используется аппарат нечеткой или размытой логики (fuzzy logic) [см.1]. Социо-эколого-экономическая модель Белого моря и его водосбора (Беломорья) на основе когнитивного подхода, созданная впервые [10], включает четыре блока: климатический, экосистемный, социально-экономический и управленческий. Управленческая часть модели посвящена описанию и разработке механизма централизованного и местного управления системой. Цель этого управления заключается в достижении устойчивого развития всей социально-экономической системы при различных сценариях изменения экосистем, климатических условий, инвестиций и структурных изменениях самой системы. Экосистемная часть модели представляет собой свертку результатов исследования модели Белого моря,



разработанную О. П. Савчуком и И. А. Нееловым [см.3, 9]. Модель отражает в основном тенденции изменения переменных, но не их абсолютные величины. Этот подход позволяет на качественном уровне подойти к решению проблемы оптимального управления социо-эколого-экономическими процессами в регионах, расположенных на водосборе Белого моря [9].

#### **Заключение.**

В настоящее время разработано достаточно много моделей термогидродинамики и экосистем. Нужно ли в дальнейшем разрабатывать еще большее их число? Можно отметить, что даже при сходстве абиотических условий и общности основных механизмов функционирования экосистем в разных водоемах, приоритетность механизмов зачастую различается и потому требуется создание или адаптация моделей для уникальных внутренних водных экосистем, таких как Белое и Каспийское моря, озера Байкал, Ладожское и Онежское.

Точность описания свойств гидрофизических процессов и явлений, водной экосистемы ее моделью зависит как от достоверности теоретических сведений, положенных в основу модели, так и от точности информации о состоянии реального водоема. В докладе будет показано, что имеется слишком малый объем качественных данных для калибровки и верификации математических моделей. Также недостаточно математических моделей – продуктов, разработанных в РФ, необходимых для решения теоретических и практических задач. Работа выполнена в ИВПС ФИЦ КарНЦ РАН.

#### **Литература**

1. Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Моделирование экосистем пресноводных озер (обзор) 2. / Модели экосистем пресноводных озер. Водные ресурсы, Том 41, номер 1, 2014, С.24-38.
2. Чернов И.А., Толстикова А.В., Яковлев Н.Г. Комплексная модель Белого моря: гидротермодинамика вод и морского льда / Труды КарНЦ РАН. Серия «Математическое моделирование и информационные технологии». № 8. 2016. С.116-128.
3. Savchuk O.P., B.G. Gustafson, and B. Muller-Karulis. 2012.BALTSEM: A marine model for decision support within the Baltic Sea Region. BNI Technical Report 7.59 p.
4. Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. М.: ГЕОС, 2008.130 с.
5. Зверев И.С., Ушаков К.В., Шипунова Е.А., Голосов С.Д., Ибраев Р.А. Моделирование гидротермодинамики Ладожского озера / Всероссийская конференция по крупным внутренним водоёмам (V Ладожский симпозиум). Сборник научных трудов конференции. СПб.: Лема, 2016. С.41-49.
6. Wolfram S. A new kind of science. USA. Wolframs Media. 2002. 1197 p.
7. Меншуткин В. В., Филатов Н. Н. Модель подледной экологической системы озера, основанная на применении клеточных автоматов / Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 5. С. 76–87. doi: 10.17076/lim329.
8. Меншуткин В.В. Филатов Н.Н. Модели Ладожского озера с использованием трехмерных клеточных автоматов. Труды Карельского научного центра РАН. № 3. 2017. С.1–10.
9. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов». Изд. КарНЦ РАН, Петрозаводск. 2007. 187 с.
10. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н., Дружинин П.В. Состояние и прогнозирование социо-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования. М. Арктика. Экология. Экономика. №2 (30). 2018. С.79-85.

## ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ВТОРОГО БЛОКА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ Г. СОСНОВЫЙ БОР

В.Ю. Цепелев<sup>1</sup>, канд.геогр.наук, О. Г.Анискина<sup>2</sup>, канд. физ.-мат.наук, М.В.Лукьянова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## EFFECT OF THE COOLING INSTALLATION OF THE SECOND UNIT OF THE LENINGRAD NPP ON THE TEMPERATURE-HUMIDITY MODE OF SOSNOVYI BOR

V.Yu. Tsepelev<sup>1</sup>, Cand.Sc., O.G. Aniskina<sup>2</sup>, Cand.Sc., M.V. Lukyanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>North-Western Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Представлены результаты оценки влияния выбросов водяного пара из градирен охлаждающих блоков ЛАЭС на температуру и осадки в городе Сосновый Бор и его окрестностях.*

*The results of the assessment of the effect of water vapor emissions from cooling towers of cooling units of Leningrad NPP on temperature and precipitation in the city of Sosnovy Bor and its environs are presented.*

Ленинградская атомная электростанция (ЛАЭС) – главный производитель электроэнергии Северо-Запада Российской Федерации – расположена на расстоянии 5 км от г. Сосновый Бор и около 70 км от г. Санкт-Петербург. Внимание к безопасности в этом регионе оправдано, и существует много исследований и публикаций [1]. Несмотря на это, остаётся ещё очень много нерешённых вопросов, один из которых – влияние выбросов водяного пара на климат Соснового Бора и Санкт-Петербурга.

Был проведён климатический анализ полей метеорологических величин по данным метеорологических станций Северо-Запада РФ.

Для исследования была создана версия мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW (версия 3.6.1) для Северо-Запада России и проведены исследования по оценке влияния выбросов водяного пара в атмосферу на погодные условия г. Сосновый Бор и всей Ленинградской области в целом. Начальные и граничные условия задаются по данным реанализа NCEP/NCAR, граничные условия обновляются каждые три часа. Модельный домен охватывает Северо-Запад РФ, шаг по горизонтали 2 км, шаг по времени 20 секунд.

Моделирование показывает степень влияния выбросов охлаждающей установки на погоду в городах Ленинградской области.

### Литература

1. Гаврилов А.С. Управление рисками при авариях на атомных электростанциях с использованием математических моделей переноса и рассеяния нуклидов в атмосфере / Харченко Е.В., Донг Н.Ф., Хи Н.Д. / Естественные и технические науки. – 2015. – №3. – С.247-250.

## ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАКОВИННЫХ АМЕБ В ААПА-КОМПЛЕКСАХ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

А.Н. Цыганов<sup>1,2</sup>, Е.А. Малышева<sup>1</sup>, К.В. Бабешко<sup>1</sup>, А.С. Есаулов<sup>1</sup>, Ю.А. Мазей<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

## SPECIES DIVERSITY OF TESTATE AMOEBEA IN AAPA-MIRESON THE KARELIAN SHORE OF THE KANDALAKSHA GULF (THE WHITE SEA COAST)

A. N. Tsyganov<sup>1,2</sup>, E.A. Malysheva<sup>1</sup>, K.V. Babeshko<sup>1</sup>, A.S. Esaulov<sup>1</sup>, Y.A. Mazei<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*Раковинные амёбы – важный компонент болотных экосистем. В работе показано высокое видовое разнообразие раковинных амёб в трёх аапа-комплексах и влияние гидрологического режима на структуру сообществ корненожек.*

*Testate amoebae are an important component of wetland ecosystems. The work shows a high species diversity of testate amoebae in three aapamires and the influence of the hydrological regime on the structure of amoebae assemblages.*

Раковинные амёбы – свободноживущие гетеротрофные простейшие, клетка которых заключена в раковинку с одним или двумя отверстиями для выхода псевдоподий [1]. Раковинные корненожки имеют широкое географическое распространение и населяют почвы, водоемы и болота, но особенно обильно и разнообразно представлены в моховых биотопах, где могут составлять до половины общей микробной биомассы [2, 3]. Они играют важную роль в детритных пищевых цепях, как промежуточное звено между бактериями и беспозвоночными. Аапа-болота – это болотные комплексы в сильно обводненных понижениях с вогнутым поперечным профилем, в которых преобладает выраженный грядово-мочажинный микрорельеф с расположением гряд перпендикулярно направлению стока. Высокое разнообразие биотопов может способствовать формированию здесь высокого видового богатства раковинных амёб, однако эти организмы в аапа-болотах до сих пор не были исследованы. Основная цель настоящей работы – изучить видовой состав и структуру сообществ сфагнобионтных сообществ раковинных амёб в аапа-болотах.

Для исследования выбрано три аапа-болота (Аапа1: 66.541388 °с.ш., 33.077172 °в.д.; Аапа2: 66.548076 °с.ш., 33.075914 °в.д.; Аапа3: 66.550148 °с.ш., 33.075523 °в.д.), расположенных в северной подзоне тайги в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (полуостров Киндо, Лоухский район, Республика Карелия). Все аапа-болота характеризовались выраженным грядово-мочажинным микрорельефом (ширина гряд 2–3 м, высота 1 м). В каждом аапа-болоте было заложено три трансекты, которые располагались поперек смежных гряд в центральной части, таким образом, что края трансекты располагались в мочажине, а центральная часть на гряде. Вдоль каждой трансекты отбирали 5–8 образцов сфагнома (площадь 2–3 см<sup>2</sup> на глубину 5 см). Одновременно с отбором образцов (всего 58 штук) измеряли уровень болотных вод относительно поверхности мха (см). В лаборатории пробы для изучения видового состава сообществ раковинных амёб готовили согласно методике, основанной на фильтровании и отстаивании водных вытяжек [4]. Количественный учет и видовую идентификацию раковинных амёб в суспензии проводили с помощью прямого микроскопирования (Биомед–6ПР) при увеличении ×200 в 200-х полях зрения. Все вычисления и статистические анализы были выполнены с помощью языка программирования R [5] (R Core Team, 2017) и пакетного приложения к нему “vegan” [6] (Oksanen et al., 2017).

Всего в образцах было обнаружено 8559 раковинок амёб, относящихся к 100 видам и подвидам из 32 родов. Кривая аккумуляции видов в зависимости от числа исследованных образцов выходит на плато, что указывает на практически полное выявление видового состава раковинных амёб (Рис. 1). Статистические оценки видового пула сообществ раковинных амёб в аапа-болотах изменяются в пределах от 105 до 116 видов (Jack1 = 111.8 ± 4.6 (SE), Jack2 = 116.7, Chao = 110.1

$\pm 7.7$  (SE), bootstrapestimator =  $105.6 \pm 2.5$  (SE)). Наиболее обильными видами были *Trinemalineare* (15.7% от общего числа обнаруженных особей), *Assulinamuscorum* (10.5%), *Archerellajollyi* (7.1%), *Corythiondubium* (5.7%), *Hyalospheniaelegans* (4.3%), *Cryptodiffugiaoviformis* (4.3%), *Hyalospheniapapilio* (4.1%). Четыре вида (*Trinemalineare*, *Assulinamuscorum*, *Corythiondubium*, *Hyalospheniapapilio*) были обнаружены более, чем в 80% всех образцов. Двенадцать видов (*Diffugioglobulosa*, *Arcellavulgarisundulata*, *Arcellacostata*, *Arcellagibbosa*, *Centropyxiscassis*, *Centropyxisgibba*, *Centropyxishaemisphaerica*, *Centropyxisylvatica*, *Cyclopyxisarcelloides*, *Cyphoderiaampullapapillata*, *Cyphoderiatrochus*, *Nebelaflabellulum*) были обнаружены лишь в одном образце с максимальным относительным обилием в сообществе не превышающим 5%. Число видов в одном образце изменялось от 12 до 38 со средним значением  $24.5 \pm 0.84$  (ошибка среднего,  $n = 60$ ). Общее число видов в болотах изменялось от 76 до 81.

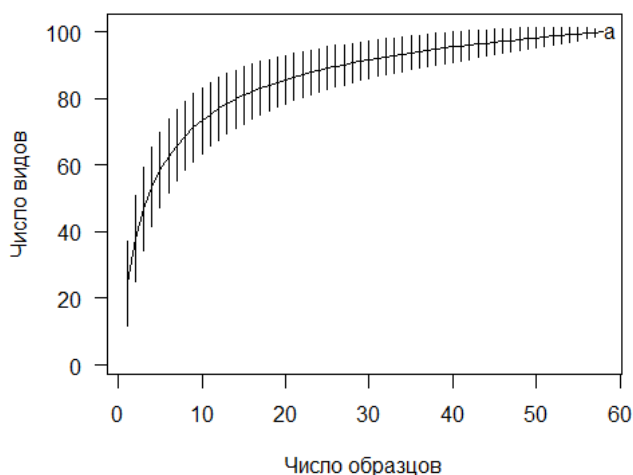


Рис. 1. Кривая аккумуляции видов в зависимости от числа проанализированных образцов в аапа-болотах сверенной подзоны тайги (север Республики Карелия).

Результаты анализа зависимости числа видов раковинных амёб в образце от уровня залегания болотных вод выявили обратную линейную зависимость (Рис. 2).

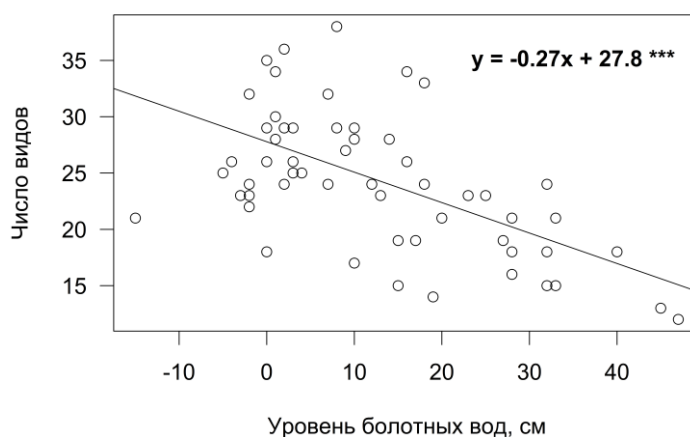


Рис. 2. Зависимость числа видов раковинных амёб в образце от уровня залегания болотных вод (см) в аапа-болотах сверенной подзоны тайги (север Республики Карелия).

Видовая структура сообществ раковинных амёб также в значительной степени определялась уровнем залегания болотных вод. Так в наиболее обводненных биотопах преобладали представители родов *Arcella*, *Centropyxis*, *Lesquereusia*, а в сухих – ксерофильные виды

*Assulinamuscorum, Assulinaseminulum, Corythiondubium, Nebelamilitaris, Bullinulariaindica, Trygonopuxisarcula, Heleoperasylvatica* и представители рода *Euglypha*.

В целом, результаты исследования свидетельствуют о богатой фауне раковинных амёб в аапа-болотах северной подзоны тайги, что может быть связано с высоким разнообразием мест обитания в пределах данного типа экосистем. Помимо этого, наши данные подтверждают существенное влияние гидрологического режима болот на видовое разнообразие и структуру сообществ сфагнобионтных раковинных амёб.

### Литература

1. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. Пресноводные раковинные амёбы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 300 с.
2. Gilbert D., Amblard C., Bourdier G., Francez A.-J. The microbial loop at the surface of a peatland: structure, function, and impact of nutrient input // *Microbial Ecology*. 1998. Vol. 38. P. 83–93.
3. Gilbert D., Mitchell E.A.D. Microbial diversity in sphagnum peatlands // *Peatlands: Evolution and records of environmental and climatic changes* / eds. I. P. Martini, A. MartínezCortizas, W. Chesworth. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 289–320.
4. Мазей Ю.А., Ембулаева Е.А. Изменение сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье // *Аридные экосистемы*. 2009. Т. 15. № 1 (37). С. 13–23.
5. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. URL <https://www.R-project.org/>.
6. Oksanen J., Blanchet F.G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlenn D., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Henry M., Stevens H., Szoecs E., Wagner H. Vegan: Community Ecology Package. R package, version 2.4-4. 2017. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-34-00909-мол\_а).*

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 18-34-00909-mol\_a).*

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОБСКОЙ ГУБЫ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В.Ю. Чанцев<sup>1,2</sup>, Ю.П. Гудошников<sup>1</sup>, А.А. Скутин<sup>1</sup>, Д.А. Плешанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## NUMERICAL MODELING OF THE OB BAY REGIME WITH HIGH SPATIAL RESOLUTION

V.Yu. Chantsev<sup>1,2</sup>, Yu.P. Gudoshnikov<sup>1</sup>, A.A. Skutin<sup>1</sup>, D.A. Pleshanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*В работе дается общее описание модели Delft3D и рассматриваются результаты численного моделирования внутригодовой изменчивости отдельных параметров термо- и гидродинамического режима Обской губы на расчетной сетке с пространственным разрешением 50-100 м по горизонтали и 1-2 м по глубине.*

*The work provides a general description of the Delft3D model and discusses the results of numerical simulation of the intra-annual variability of individual parameters of the thermo- and hydrodynamic regime of the Ob bay on a computational grid with a spatial resolution of 50-100 m horizontally and 1-2 m depthly.*

Планомерное освоение арктического региона и района Обской губы в частности требует проведения массовых и продолжительных гидрометеорологических исследований с высоким пространственным разрешением. Климатические ограничения высоких широт не позволяют проводить продолжительные натурные наблюдения с необходимой детализацией. Для получения более полной информации о состоянии водной среды с таким разрешением необходимо использовать методы численного моделирования. Для численного моделирования в Обской губе требуется модель, функционирующая на пространственной сетке с разрешением до 10-100 м, а самые известные и распространенные океанские модели имеют ограничения в пространственном разрешении 1-3 км [1]. Высокая пространственная детализация определяется условиями гидротехнической деятельности в отдельных районах рассматриваемой акватории.

Моделирование ледового режима также требует высокой пространственной детализации, связанной с расчетом ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения и расчетом пространственного распределения физико-механических свойств морского льда.

В работе рассмотрены возможности численной модели Delft3D, адаптируемой к условиям Обской губы. Особенностью модельного комплекса Delft3D является то, что этот комплекс создавался как раз для условий прибрежных районов морей и эстуариев.

Модель Delft3D представляет модульный комплекс, позволяющий комбинировать структуру решаемой задачи. Комплекс содержит удобный интерфейс подготовки вычислительного процесса и визуализации результатов моделирования.

Областью применения модели Delft3D является расчет наиболее важных процессов и явлений, происходящих в водной среде: приливные и ветровые явления; градиентные и стоковые течения; цунами, наводнения и гидравлические скачки; солевые интрузии; термическая, соленосная и плотностная стратификация; распространение растворенного материала, нефтяных разливов и других загрязняющих веществ; морфологические изменения и перенос осадков; осушка и затопление берегов

Основные возможности Delft3D представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные расчетные модули Delft3D

Модуль	Описание
Delft3D-FLOW	Расчет многомерных (2D или 3D) гидродинамических нестационарных процессов: течений и переноса консервативных и неконсервативных трассеров.
Delft3D-WAVE	Моделирование эволюции случайных короткопериодных ветровых волн, основанное на волновой модели SWAN третьего поколения, базирующейся на решении дискретного уравнения баланса спектрального действия.
D-Water Quality	Моделирование качества воды и водных экосистем. Моделируемые химические соединения и процессы, выбираются из библиотеки процессов.
D-Waq PART	Лагранжев расчет распространения пассивных частиц примесей. Треки записываются в трех измерениях, в результате чего динамическое распределение концентрации примесей получается путем вычисления массы частиц в ячейках сетки.
Delft3D-ECO	Моделирование эвтрофикации с формированием осадочного слоя.
Delft3D-SED	Расчет переноса когезивных и некогезивных осадков.
ICE	Моделирование эволюции толщины, сплоченности, торошения и наслоения морского льда. Расчет формирования снежного покрова на льду и его учет в термодинамических процессах нарастания и таяния льда

Модуль Delft3D-FLOW является основным в модели Delft3D. На его основе производится расчет во всех остальных модулях комплекса. Расчет течений в модуле Delft3D-FLOW может выполняться как на основе уравнений мелкой воды (2D), так и с учетом бароклинной моды (3D). Особенностью используемой модели является возможность подключения негидростатического подхода при расчете течений, что позволяет описывать более точно мелкомасштабные процессы плотностной неустойчивости, направленные не только вниз, но и к поверхности моря.

Для этого осредненное по Рейнольдсу уравнение Навье-Стокса будет быть записано как:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \varepsilon_{ijk} 2\Omega_j u_k = \frac{\Delta \rho}{\rho_0} g \delta_{i3}, \quad (1)$$

где  $\delta_{ij}$  - дельта Кронекера,  $\varepsilon_{ijk}$  - символ перестановки,  $\Omega_j$  - планетарная завихренность, а  $\tau_{ij}$  - турбулентные напряжения. Давление  $p$  разбивается на гидростатическую ( $\rho g z$ ) и гидродинамическую ( $q$ ) часть:

$$p = p_{atm} + g \int_z^\zeta \rho dz + q \quad (2)$$

Уравнение неразрывности можно представить следующим образом:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

Тогда, интегрируя уравнение неразрывности по глубине и применяя кинематическое граничное условие, имеем

$$\frac{D\zeta}{Dt} \equiv \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} = w \quad (4)$$

или

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-d}^\zeta u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-d}^\zeta v dz = 0 \quad (5)$$

где  $\zeta$  – превышение уровня моря, а  $d$  – глубина места.

Гидродинамическое давление рассчитывается с использованием метода коррекции давления, аналогично методу, представленному Касулли (Casulli) [2]. Баротропный градиент давления вычисляется неявно, чтобы избежать ограничений временного шага из-за условий устойчивости. Для вычислительной эффективности остальная часть терминов обрабатывается явно. При

негидростатическом подходе коррекция давления решается с помощью метода сопряженного градиента. Этот метод осуществляется путем генерации векторных последовательных итераций.

Модуль ICE был подключен к модельному комплексу Delft3D в последнюю очередь. Термодинамический блок модуля ICE базируется на простых параметризациях процесса нарастания и таяния льда и формированием снежного покрова, предложенных Семтнером (Semtner) [3] и доработанных Вангом (Wang) [4]. Динамический блок модуля ICE, предназначенный для расчета концентрации льда и его механического разрушения, представляет собой последнюю модификацию известной ледовой модели LIM (Louvain-la-Neuve sea Ice Model) [5], основанной на упруго-вязко-пластичной модели динамики морского льда [6].

Подготовка исходных данных для осуществления моделирования процессов в водной среде, а также анализ и визуализация результатов моделирования проводился с помощью дополнительных процедур, представленных в комплексе Delft3D.

#### Проведение и проверка численных расчетов.

При адаптации модели Delft3D проводился расчет годовой эволюции гидродинамического и ледового режима Обской губы. Для этого была построена расчетная сетка с пространственным разрешением от 4 км в Карском море и до 50 м в Обской губе.

Для расчета термо- и гидродинамических процессов у поверхности воды в узлах расчетной сетки задавалась пространственно-временная изменчивость атмосферных форсингов в период 2015-2016 годов. В качестве начальных условий было выбрано среднеклиматическое распределение температуры и солености в августе в Карском море и Обской губе. Динамические начальные условия задавались нулевыми. Разгон гидродинамического режима осуществлялся, в основном, приливо-отливными колебаниями уровня.

Валидация результатов численных расчетов динамики уровня моря под действием периодических и непериодических вынуждающих сил проводилась путем сравнения с данными наблюдений уровня моря и вертикального распределения течения, полученными с донной автоматической станции (АДС). Для оценки точности численного расчета динамических характеристик был выбран летний период 2016 г.

Фаза рассчитанных колебаний уровня совпадает с фазой наблюдаемых. Ошибка численного расчета проявляется только в амплитуде колебаний. За весь период расчета максимальная ошибка расчета уровня моря не превышала 30 см. При этом средняя погрешность расчета укладывалась в 2.4 см., что составляло 12.6 % от среднеквадратического отклонения (СКО) в наблюдаемых колебаниях уровня моря.

В колебаниях скорости и направления течения хорошо прослеживается влияние полусуточных приливных осцилляций уровня. При этом хорошо прослеживаются и непериодические возмущения в параметрах течения. Что касается погрешности расчета направления течения, то ее средняя величина составляет  $30.9^\circ$  или 11.4 % от СКО измеренного направления течения. Возникающие отклонения рассчитанных параметров течений от измеренных величин в значительной степени зависят от точности задания донной топографии.

На рисунке 1 приведена годовая эволюция толщины льда в районе мыса Каменный Обской губы в 2015-2016 г. Начало ледообразования и время очистки акватории ото льда соответствуют имеющимся наблюдениям. Характер динамики нарастания льда по модельным расчетам несколько превышает наблюдаемую динамику, что хорошо видно из рисунка.

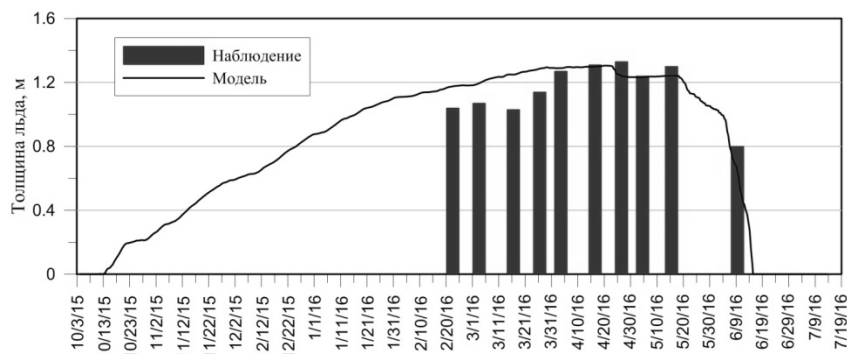


Рис. 1. Годовая эволюция и опорные измерения толщины льда в районе мыса Каменный



Ошибка расчета толщины морского льда до 10 см является приемлемой для моделирования ледовых условий высоких широт, тем более что максимальные погрешности в расчете толщины льда наблюдаются только при значительных толщинах. Видно, что таяние льда в модельном расчете происходит несколько быстрее, чем по натурным наблюдениям. Это также связано с отсутствием снежного покрова. Адаптируемый к северным условиям Обской губы модельный комплекс Delft3D в приведенном анализе численного эксперимента эволюции толщины льда в районе мыса Каменный показал адекватное воспроизведение динамики мощности ледяного покрова.

Сравнение эволюции выбранных параметров с данными наблюдений демонстрирует положительные возможности модельного комплекса Delft3D для ее использования на прибрежных морских акваториях высоких широт с высоким пространственным разрешением. Наибольшие значения погрешностей расчета в основном связаны с качеством исходных данных, использованных в модели.

### **Литература**

1. Вольцингер Н.Е., Андросов А.А., Клеванный К.А., Сафрай А.С. Океанологические модели негидростатической динамики. Обзор // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Т. 11. № 1. 2018. С. 3-20.
2. Casulli V. A semi-implicit finite difference method for non-hydrostatic, free surface flows // International Journal Numerical Methods In Fluids 30. 1999. P. 425-440.
3. Semtner A.J. A Model for the Thermodynamic Growth of Sea Ice in Numerical Investigations of Climate // Journal of Physical Oceanography. Vol. 6. 1976. P. 379-389
4. Wang J., Qinzhen Liu, Meibing Jin and et. A Coupled Ice-Ocean Model in the Pan-Arctic and North Atlantic Ocean: Simulation of Seasonal Cycles // Journal of Oceanography. Vol. 61. 2005. P. 213-233
5. Vancoppenolle M., Bouillon S., Fichefet T., and et. The Louvain-la-Neuve sea Ice Model // Note du Pôle de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace. No 31. 2012. 89 p.
6. Hunke E.C., Dukowicz J.K. An Elastic-Viscous-Plastic Model for Sea Ice Dynamics // Journal of Physical Oceanography. Vol. 27. 1997. P. 1849-1867

## ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В РОССИЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: НАПРАВЛЕНИЯ, СИСТЕМЫ, ИНСТРУМЕНТЫ

А.В. Черемных<sup>1</sup>, Я.В. Скорик<sup>1</sup>, Д.Х. Сабанчиева<sup>1</sup>, Э.В. Подгайский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт–Петербург, Россия

## DISTANCE LEARNING IN THE RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY: PATHWAYS, SYSTEMS, TOOLS

A.V. Cheremnykh<sup>1</sup>, Ya.V. Skorik<sup>1</sup>, D.Kh. Sabanchieva<sup>1</sup>, E.V. Podgaiskii<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Обобщен опыт применения электронных технологий обучения в РГГМУ, рассмотрены основные направления деятельности, используемые системы дистанционного обучения, эффективные инструменты для разработки электронных учебных материалов.*

*The experience of using e-learning technologies at RSHU is summarized, the main activities, distance learning systems used, effective tools for developing e-learning materials are reviewed.*

В начале двадцать первого века электронное обучение стало активно внедряться в традиционные университеты в самых различных организационных формах: как поддержка традиционного очного и заочного обучения или как новый уровень развития дистанционного обучения по программам дополнительного профессионального образования, повышения квалификации преподавателей вузов, довузовской подготовки, первого и второго высшего образования, корпоративной магистратуры [1].

Широкое применение и развитие дистанционных технологий в РГГМУ началось с присвоения вузу в 2012 году статуса Федеральной инновационной площадки по направлению «информационные технологии», тематика проекта - создание международной системы дистанционного обучения (СДО) непрерывного профессионального образования по направлению «прикладная гидрометеорология». Проект назван ФИП\_ГИДРОМЕТ, с его деятельностью можно ознакомиться на сайте [2].

В рамках проекта была создана педагогическая творческая мастерская (ПТМ), в состав которой вошли ведущие преподаватели («лекторы») и специалисты по информационным технологиям («технологи»), способные решать педагогические, технологические и методические задачи новой формы обучения. Работа ПТМ строится на двух моделях обучения – андрагогической и педагогической [3].

Андрагогическая модель подразумевает обучение преподавателей инструментам и методам дистанционной работы, а педагогическая – создание обучающих материалов в электронном формате. Методические задачи решаются в оперативном и плановом порядке.

Дистанционное обучение в РГГМУ на данный момент ведется по следующим направлениям:

1. Курсы повышения квалификации по программам «Метеорологическое обеспечение гражданской авиации» для авиационных синоптиков и «Метеорологическое обеспечение гражданской и экспериментальной авиации» для техников-метеорологов.

2. Курсы профессиональной переподготовки по направлению «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная метеорология».

3. Международный проект ERASMUS+ ECOIMPACT «Адаптивная учебная среда для развития компетенций в отношении влияния местной погоды, качества воздуха и климата на экономику и социальную жизнь».

4. Международный проект ERASMUS+ SUNRAISE «Устойчивое природопользование в арктических и высокогорных районах».

В рамках первого направления разработаны два дистанционных курса. Курс "Метеорологическое обеспечение гражданской авиации» адресован авиационному метеорологическому персоналу (АМП) для повышения квалификации в соответствии с базовыми требованиями, определенными Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и обозначенными как «компетентности высшего уровня». Обучение по этой программе прошли

специалисты филиалов ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» и других организаций (15 групп общей численностью более 150 человек). Дистанционный курс «Метеорологическое обеспечение гражданской и экспериментальной авиации» для техников-метеорологов завершили 39 слушателей.

Оба курса реализованы на учебном портале «Дистанционное обучение авиационного метеорологического персонала» (ДО АМП), который содержит необходимую информацию для обучающегося (инструкции, программу курса, дополнительные обучающие ресурсы, записи вебинаров, календарные планы занятий и др.). Вход в личный кабинет системы дистанционного обучения (СДО) iSpring Online осуществляется по паролю и логину с учебного портала ДО АМП.

Обучение в СДО осуществляется на модульной основе. Модульную технологию можно использовать в любой системе обучения: четкое дозирование учебного материала, информационно-методическое обеспечение с программой логически последовательных действий для обучающегося, возможность осваивать материал в удобное для него время, – все это помогает улучшить качество и эффективность образовательного процесса в целом [4]. Структура модуля – лекции в текстовом формате, интерактивные модули, практические задания, тесты.

Контроль знаний, умений и навыков обучающихся является важной составной частью процесса обучения. Обучающимся предлагается выполнить практические задания и пройти тестирование по каждому разделу стандарта компетентности. Тесты выполнены с помощью программы iSpring QuizMaker7. Тест состоит из 10 тестовых заданий, восемь из которых с единственным выбором ответа, два – вопросы в виде эссе, которые проверяются преподавателем. Предоставляется 3 попытки прохождения теста. Время прохождения – 60 минут. Проходной балл по каждому стандарту компетентности – 80%.

За время обучения проводится три вебинара: вводный, лекционный и итоговый. Вводный вебинар включает инструкцию по работе на учебном портале ДО АМП, информацию об истории авиации и этапах развития авиационной метеорологии. Лекционный вебинар позволяет обсудить самые важные темы: опасные для авиации явления погоды, метеорологические риски и т.д. В ходе последней «виртуальной встречи» подводятся итоги обучения, преподаватель отвечает на вопросы слушателей, обучающиеся выполняют аттестационный тест в онлайн режиме, по результатам которого формируется оценка компетентности слушателя. По итогам обучения слушатели курсов получают официальный документ о повышении квалификации.

В настоящее время широкое распространение получил термин «смешанное (комбинированное) обучение», под которым понимают такую организацию образовательного процесса, при которой технологии электронного обучения сочетаются с традиционным преподаванием в аудитории.

Технология смешанного обучения использована при организации курсов профессиональной переподготовки по направлению «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная метеорология». Создан учебный портал «Курсы профессиональной переподготовки по программе «Прикладная метеорология»» (КПП ПМ), содержащий информативный блок, материалы, необходимые для самоподготовки и вход в систему ДО iSpring Online.

Установочная сессия проводится на основе технологии вебинаров по дисциплинам гидрометеорологического профиля: физика атмосферы, методы и средства гидрометеорологических измерений, климатология, динамическая метеорология, методы статистической обработки гидрометеорологической информации, методы метеорологического прогнозирования, синоптическая метеорология. Записи вебинаров локализованы на учебном портале для использования в качестве электронных учебных материалов.

Самостоятельная работа слушателей курсов организована на учебном портале в разделе «Самоподготовка», где размещены инструкции по работе в системе ДО iSpring Online, учебники, учебные пособия, практикумы, методические указания по выполнению практических работ и т.д. Дисциплины «Авиационная метеорология» и «Физика атмосферы» изучаются слушателями в рамках дистанционных курсов повышения квалификации по программе «Метеорологическое обеспечение гражданской авиации» для синоптиков и техников-метеорологов с сохранением всех контрольных блоков. Дисциплины «Методы и средства гидрометеорологических измерений» и «Динамическая метеорология» доступны для самостоятельного изучения по видеороликам вебинаров, проведенных для студентов заочной формы обучения.

Преподавателями разработаны тесты и практические задания по своим дисциплинам, которые размещены в системе ДО iSpring Online.

Смешанное обучение объединяет в себе оперативность электронного обучения и активность очного обучения. Выбор темы выпускной аттестационной работы и редактирование ее содержания обсуждаются обучающимися с научными руководителями при помощи различных каналов дистанционного общения: Skype, e-mail, социальные сети и др. Защита выпускной аттестационной работы и экзамен, как форма итоговой государственной аттестации проходят в очном порядке.

После прохождения курсов в РГГМУ обучающимся предлагается пройти анкетирование, оценивающее качество курсов. Все трудности процесса освоения материала должны анализироваться разработчиками на этапе тестирования и корректироваться, в случае необходимости, на основе обратной связи.

Международный проект ЕСОИМПАСТ разрабатывает персональную среду обучения – Personal Learning Environments (PLE) для оценки экономических и социальных последствий местной погоды, качества воздуха и климата, включающую специализированные учебные материалы, «умные» приборы для наблюдения за погодой и программное обеспечение для обучения, интегрированные в единую систему. Такой подход позволяет учиться в контакте с изучаемой физической средой и развивать компетенции, необходимые для сегодняшней современной жизни [5].

Участниками проекта ЕСОИМПАСТ являются:

- университеты Европы: Университет в г. Хельсинки, Финляндия; Аграрный университет в г. Пловдив, Болгария; Университет Центральной Европы в г. Скалица, Словацкая республика;
- университеты Украины: Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Одесский государственный экологический университет, Херсонский государственный аграрный университет;
- университеты России: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Институт повышения квалификации Росгидромета.

На данном этапе реализации проекта разработаны курсы, включающие образовательный контент по влиянию погоды на экономическую и социальную сферы, качеству воздуха и изменению климата в регионах и предназначенные для сотрудников погодозависимых бизнес-структур, предприятий и государственных органов.

Дистанционные курсы повышения квалификации для «бизнеса», продолжительностью 20 часов каждый, созданы по следующим отраслям экономики: энергетика, транспорт, сельское хозяйство, жилищно-коммунальное хозяйство, здравоохранение (биометеорология). В РГГМУ курсы реализованы на платформе Moodle.

Уникальные образовательные программы курсов разработаны с учетом новейших знаний по теме и включают в себя видеолекции, интерактивные модули, лабораторные и практические работы, тесты. Для повышения ценности гидрометеорологической информации для бизнеса, наглядного отображения экономической эффективности разработаны специальные лабораторные работы с применением интернета вещей.

Базы знаний по каждому курсу размещены в системе управления персональными знаниями, разработанной в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского.

Международный проект ERASMUS+ SUNRAISE «Устойчивое природопользование в арктических и высокогорных районах» реализуется в РГГМУ с 2017 года.

Участниками проекта SUNRAISE являются:

- университеты Европы: Бременский университет (UNIHB), Германия; Зальцбургский университет (PLUS), Австрия; Эстонский университет естественных наук (EMU), Тарту, Эстония;
- университеты Азии: Королевский университет Бутана (RUB); Кумаонский университет (KU), Наинитал, Индия; Университет Джавахарлала Неру (JNU), Дели, Индия;
- университеты России: Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Сибирский федеральный университет (СФУ), Горно-Алтайский государственный университет (ГАГУ).

Основная цель проекта – продвижение устойчивого управления арктическими и высокогорными системами в Бутане, Индии и России через совершенствование системы высшего образования с учётом потребностей рынка труда и широкого круга заинтересованных сторон. Благодаря реализации проекта, станет доступен для индивидуального и группового обучения передовой опыт всего консорциума.

Взаимодействие с зарубежными партнерами повышает качество образовательных услуг за счет внедрения актуальных кейсов, инновационных образовательных технологий, IT-решений, интересных практик и академической мобильности. Международные проекты способствуют развитию дистанционного обучения в вузе и финансируются Европейской Комиссией.

Успешность дистанционного обучения во многом зависит от организации учебного материала: технологической карты, удобной архитектуры курса, доступных каналов связи с преподавателями, информативности предлагаемых материалов. Обучающий контент должен создаваться, исходя из особенностей планируемого взаимодействия обучающихся с преподавателем, на основе результатов обучения, с соблюдением основ педагогического дизайна и законов восприятия информации.

### **Литература**

1. Сайт НГТУ [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://bit.edu.nstu.ru/archive/issue-1-2009/ot\\_distantionnogo\\_obucheniya\\_k\\_elektronno\\_212/](http://bit.edu.nstu.ru/archive/issue-1-2009/ot_distantionnogo_obucheniya_k_elektronno_212/)
2. Сайт ФИП\_ГИДРОМЕТ [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. Сайт ЯГПУ [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met49/node15.html>
5. 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.

## УТОЧНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ БИТЮГ

М.А. Чернова<sup>1</sup>, К.А. Кузьмин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

## REFINEMENT OF QUANTITY AND PARAMETERS OF SURFACE WATERCOURSES IN THE BASIN RIVER BASIN

M.A. Chernova<sup>1</sup>, K.A. Kuzmin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tambov state University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

*Авторами произведёны учёт и измерения основных параметров каждого водного объекта реки Битюг. Измерялись длина, расстояние от устья, площадь бассейна, определялись высота истока и устья водотока, коэффициент извилистости.*

*Authors produced and measured the main parameters of each water body of the Bityug river. 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.*

Сток любой крупной реки примерно на 80% формируется стоком малых рек. Также как и сток средних рек формируется за счёт самых маленьких речек и ручьёв [1].

Однако именно малые реки остаются, по сей день, наименее изученными. И это не говоря уже о совсем малых водотоках длиной менее 10 километров. В то время как водный кодекс при оформлении прав водопользователя требует наличия точных характеристик водного объекта. Только за 2012 год по данным Государственного доклада о водных ресурсах Российской Федерации в государственный водный реестр включено 4558 водных объектов. Это далеко не значит, что ранее этих объектов не существовало. Это малые водотоки, которые ранее просто не были изучены [2].

Мониторинг водных ресурсов, в том числе поверхностных водных объектов, в настоящее время является задачей государственной важности. Основой любого мониторинга и любых расчетов обеспеченности водным ресурсами из поверхностных водотоков населения, промышленности и сельского хозяйства является учёт поверхностных водотоков, знание их гидрологических параметров.

Главной задачей государственного учета природных вод и их использования заключается в определении количества и качества вод, входящих в единый государственный водный фонд, и предоставлении информации об их эксплуатации населению или каких-либо отраслям хозяйства. В государственный учет, в том числе, входят измерения и первичный учет количества и качества поверхностных и подземных водных ресурсов.

Такие данные о количестве и качестве вод и являются основой для составления сборников и каталогов, отражающих основные показатели, а также виды использования водных ресурсов.

Тамбовская область находится на водоразделе двух крупных рек - Волги и Дона [3]. Водосборная площадь бассейна реки Дон составляет 20,1 тыс. км<sup>2</sup>, реки Волги - 14,2 тыс.км<sup>2</sup>. Систематического каталога всех (включая самые малые) поверхностных водотоков, содержащего описания, в том числе параметров, необходимых для включения в реестр водных объектов, в Тамбовской области на настоящий момент не существует.

Кроме того, в последнее время в связи с нарастающими климатическими изменениями всё более ощутимо меняется гидрологический режим рек региона и распределение стока по сезонам года, что влечёт за собой необходимость сплошного изучения гидрологических характеристик рек региона. Основой этих исследований также является учёт и инвентаризация всех водотоков области [4].

Для решения этой проблемы научной группой по изучению динамики и качества водных ресурсов региона под руководством кандидата географических наук, доцента Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина 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 Битюг рассмотрим, в какой степени были

скорректированы параметры и количество водотоков по сравнению с данными, приведёнными в Гидрологической изученности территории СССР [5]. Река Битюг выбрана нами в качестве примера потому, что на данный момент времени работа по изучению изменений её параметров завершена.

Таблица 1. Сравнительный анализ параметров водотоков реки Битюг

Название водотока	Расстояние от устья, км		Длина водотока, км		Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	
	по гидрологической изученности	посчитанное авторами	по гидрологической изученности	посчитанное авторами	по гидрологической изученности	посчитанное авторами
Битюг	1197	1197	379	429	8840	8840
Пласкуша	318	363	37	41	310	310
Без названия у с. Сосновка 1	23	26	10	10	57,7	53,8
Солонка	12	14	13	13	74,5	73,3
Чамлык	272	306	54	56	518	518
Плота	9,5	9,5	10	10	59,9	55,2
Гнилушка	253	284	10	10	42	42
Самовочка	250	283	20	20	109	109
Матрёночка	233	267	51	21	400	409
Верхняя Маза	18	18	15	15	66,4	66,0
Эртиль	229	258	92	22	931	931
Большой Эртиль	..	22	..	78	..	549
Плата	71	57	16	16	86,9	33,4
Без названия у г. Эртиль 3	30	20	12	15	58,8	48,9
Малый Эртиль	20	22	47	50	288	272
Без названия в 1 км к югу от д. Липовка	24	25	13	13	52	53
Борщевка	217	231	23	26	87,4	136,8
Без названия в 200 м к востоку от с. Мосоловка	190	221	10	14	66,3	77,9
Курлак	170	197	78	43	709	709
Малый Курлак	40	43	34	34	176	176
Без названия в 400 м к югу от с. Большая Алексеевка	4	4	12	13	55	61
Озерки	30	33	13	16	66	57
Тишанка	144	167	56	34	448	434
Сухая Тишанка	..	30	..	34	..	211
Тойда	143	165	63	67	492	492
Васильевка	27	29	20	23	125	127
Чигла	132	150	75	82	1340	1362
Озерки	56	63	20	17	102	102
Без названия в 300 м к северу от с. Орловка	43	49	22	22	137	116
Без названия у пос. Верхняя Орловка	42	47	11	11	77	81
Сухая Чигла	32	37	44	59	475	511
Буравль	58	65	27	27	130	130
Мечеть	53	59	26	26	162	162
Кисляй	43	55	11	11	144	130

Вначале был проведён учёт и создан список всех существующих водотоков. Затем проведены измерения основных параметров каждого водного объекта из составленного списка. Измерялись длина водотока, расстояние места впадения от устья водотока более высокого ранга, площадь

бассейна, определялись высотные отметки истока и устья водотока, рассчитывался коэффициент извилистости. Перечисленные параметры, кроме площади бассейна измерялись у всех, даже самых малых водотоков. Площадь бассейна измерялась у притоков до 3-го порядка включительно. Также площадь бассейна измерялась у притоков более низших порядков указанных рек в случае, если длина водотока превышала 10 км.

Измерения проводились по крупномасштабным картам, аналогичным тем, которые использовались при составлении «Гидрологической изученности...» [5].

В итоге все полученные данные были сведены в единую базу данных. Таким образом, в ней оказалось собрано 714 водотоков бассейна реки Битюг. Параметры водотоков длиной менее 10 км, включая самые малые, в «Гидрологической изученности...» не приведены, поэтому наши измерения и расчёты для них произведены впервые. Что касается притоков более 10 км, то мы решили сравнить значения параметров, тех из них, которые приведены в гидрологической изученности, и значения, посчитанные нами (таблица 1).

Высотные отметки (истока и устья) в гидрологической изученности не указывались вообще. Поэтому это так же впервые было сделано нами. Высотные значения определялись по крупномасштабным картам.

В ходе реализации проекта были переименованы и, как следствие, перепривязаны некоторые притоки, относящиеся ранее к каким-либо населённым пунктам, ныне не существующим, а сами населённые пункты проверены на соответствие статуса: «деревня», «село», «посёлок», «посёлок городского типа» и так далее. Данные такого плана были найдены в официальных источниках (на официальных сайтах районов, муниципалитетов, городов).

Также нами учитывались притоки, устье которых заболочено или теряется при выходе на пойму. Как следствие, произошли изменения в столбце «притоки менее 10 км» по сравнению с гидрологической изученностью в части их количества и общей длины.

Полученные материалы о поверхностных водных объектах позволили существенно уточнить количество и параметры рек, речек и ручьёв в бассейне реки Битюг. Эти материалы будут положены в основу изучения водно-ресурсного потенциала региона, характеристик суммарного стока и расчёта водообеспеченности территории по бассейнам рек. Кроме того, полученные при реализации проекта данные необходимы 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 2012 году». — М.: НИИ-Природа, 2013. – 370 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., 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. Трифионовой. Владимир: Аркаим, 2016. – С. 91-94.
5. Гидрологическая изученность. Том 7. Донской район. Л.: Гидрометиздат, 1963. — 265 с.



## МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ

С. В. Шаночкин<sup>1</sup>, Е. В. Гайдукова<sup>1</sup>, Н. В. Викторова<sup>1</sup>, А. Баймаганбетов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## METHOD FOR PREDICTING HYDROLOGICAL SITUATIONS BASED ON THE COMBINATION OF PRECEDENTS

S.V. Shanochkin<sup>1</sup>, E.V. Gaidukova<sup>1</sup>, N.V. Victorova<sup>1</sup>, A. Baimaganbetov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Рассматривается метод прогноза на основе прецедентов, предполагающий аналогичное развитие гидрологических ситуаций. Предлагается способ улучшения качества прогнозов за счет привлечения нескольких аналогов (прецедентов).*

*The method of prediction based on precedents is considered, suggesting a similar development of hydrological situations. A method is proposed for improving the quality of forecasts by attracting several analogs (precedents).*

В гидрологических задачах часто рассматривается процесс, состояние которого на определенный момент времени можно назвать гидрологической ситуацией. Например, процесс формирования стока можно рассматривать как некую последовательность гидрологических ситуаций в фиксированные моменты времени (см., например, [1]). Такую гидрологическую ситуацию можно описать набором некоторых характеристик (признаков).

Метод прогноза, основанный на прецедентах, предполагает аналогичное развитие гидрологических ситуаций, при схожей картине предыстории или сходных следствий в результате действия аналогичных причин.

Применение принципа аналогичности в прогнозах подразумевает возможность использовать результирующую взаимодействия природных факторов, тождественную ожидаемой ситуации. Оценке степени схожести может подвергаться как статистическая, так и динамическая структура, описывающая гидрологическую ситуацию.

Методы прогноза по прецедентам строятся априори и статистически (на опытном материале) ищется подтверждение целесообразности предложенной схемы.

Неточность такого рода прогнозов обусловлена отсутствием абсолютно тождественных гидрологических ситуаций. Улучшение качества таких прогнозов может быть достигнуто за счет привлечения не одного аналога (прецедента), а нескольких, т. е. выработки решающего правила на основе их комплексирования.

Такой методический прием оправдан, когда в базе данных накоплена достаточно большая статистика, и для каждой возможной ситуации можно найти близкий аналог (аналоги).

Пусть имеется выборка данных  $X = \{x_{ij}\}$ , где  $i = \overline{1, N}$  – строки наблюдений (время),  $j = \overline{1, m}$  – признаки [2].

Допустим, что  $\{A_1, A_2, \dots, A_N\}$  – наблюдаемые строки, а  $B$  – последняя (текущая) строка, которая описывается набором признаков  $x_j^B, j = \overline{1, m}$ . Нужно найти значение процесса в следующий момент времени  $(t + 1)$ .

Принимаем следующую гипотезу. Если в предыстории есть ситуация  $A_j$ , совпадающая или близкая к наблюдаемой в настоящий момент  $x_j(t)$ , т. е. основание за прогнозируемое состояние  $\hat{x}(t + 1)$  выбрать следующее на прецедентом  $A_j$  состояние процесса, которое можно обозначить через  $\hat{x}^A_j, j = \overline{1, m}$ .

Среди строк  $A_1, A_2, \dots, A_N$  разыскивается  $F (F > 1)$  ближайших аналогов к строке  $B$ . В качестве меры сходства  $A_i$  и  $B$  может быть использована любая из метрик, например, евклидово расстояние:

$$d(A_i, B) = \|x_{A_i} x_B\| \quad (1)$$

Допустим наилучшими аналогами для  $B$  оказались  $A_1, A_2$ , для которых  $d(A_1, B) \leq d(A_2, B) < \min_{i \neq 1, 2} d(A_i, B)$ .

Пусть  $\hat{x}_j^1$  – значение  $j$ -й переменной, прогнозируемое по  $A_1$  (т. е. состояние, следующее за строкой  $A_1$ ),  $\hat{x}_j^2$  – значение  $j$ -й переменной, прогнозируемое по  $A_2$ . Тогда прогнозируемое по состоянию  $B$  значение  $\hat{x}_j^B$  можно определить из выражения:

$$\hat{x}_j^B = \frac{\frac{x_j^1}{d_1} + \frac{x_j^2}{d_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}} = \frac{x_j^1 d_2 + x_j^2 d_1}{d_1 + d_2} \quad (2)$$

где  $d_1 = d(A_1 B)$ ,  $d_2 = d(A_2 B)$ .

Выражение (2) можно рассматривать как сплайн-аппроксимацию по двум аналогам. Причем, если  $d \rightarrow 0$ , то  $\hat{x}_j^B \rightarrow \hat{x}_j^1$ .

Формула для прогноза переменной  $\hat{x}_j^B$  для случая произвольного числа аналогов  $F$  ( $1 < F < n - 1$ ) имеет вид:

$$\hat{x}_j^B = \frac{\sum_{i=1}^m x_j^i \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^m d_k}{\sum_{i=1}^m \left( \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^m d_k \right)} \quad (3)$$

где рассматриваются аналоги  $A_i$ ,  $i = \overline{1, F}$ ,  $d_k = d(A_k, B)$ .

Очевидно, что если  $d_k \rightarrow 0$ , то  $\hat{x}_j^B \rightarrow \hat{x}_j^k$ .

В методе комплексирования прецедентов предусмотрено два этапа – этап обучения (настройки системы прогнозирования) и этап прогнозирования.

На этапе обучения рассматривается скользящая строка  $B$ , занимающая положение  $i$ ,  $i = \overline{1, N}$  (рис. 1, а).

Ограничимся количеством прецедентов равным 2 ( $F = 2$ ). Для скользящей строки  $B$ , которая находится в положении  $i$ , находим два ближайших аналога –  $A_1$  и  $A_2$ . Сплайн-аппроксимация ищется по формуле (3) –  $\hat{x}_{ij}(A_1, A_2)$ . Сравниваем ее с фактическим значением ( $x_{ij}$ ), оцениваемым по строке  $B$  (т. е. в строке, следующей за  $B$ ).

Вычисляем ошибку прогноза

$$\Delta x_{ij} = |x_{ij}^B - \hat{x}_{ij}(A_1, A_2)| \quad (4)$$

Значения  $\Delta x_{ij}$  заносятся во вспомогательную матрицу размером  $N \times m$ . Затем вычисляются частные критерии скользящего (средние ошибки распознавания по  $j$ -ому признаку)

$$CV_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Delta x_{ij}| \quad (5)$$

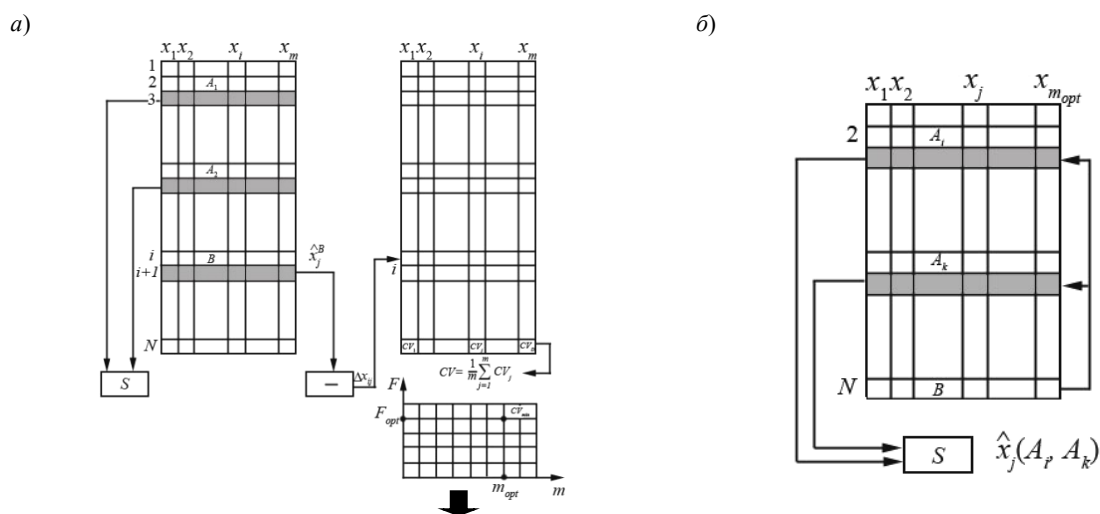


Рис. 1. Этап 1 – обучение (а), этап 2 – прогнозирование (б).

В качестве критерия выбора оптимального решения используется критерий скользящего среднего  $CV$ , обеспечивающий минимум ошибки по всем признакам

$$CV = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m CV_j \rightarrow \min \quad (6)$$

Таким образом, на этапе обучения решается задача определения оптимального числа прецедентов  $F = F_{opt}$  и числа признаков  $m = m_{opt}$ , добиваясь  $\min_{m, F} CV(m, F)$ .

По сути, эта задача – комбинаторная задача дискретной оптимизации без ограничений, но так как число переменных в ней всего два, поиск оптимальных значений можно осуществить простым перебором.

Численные эксперименты показывают, что число прецедентов целесообразно ограничить ( $F \leq 4$ ), т. к. при большом их числе точность прогноза существенно снижается.

После найденных оптимальных  $m$  и  $F$  можно переходить непосредственно к прогнозу.

На этапе прогнозирования строка  $B$  занимает крайнее нижнее положение ( $i = N$ ). Для нее находятся ближайшие прецеденты, например  $A_i$  и  $A_k$  и по формуле (3) дается прогноз  $\hat{x}_{ij}^B = \hat{x}_j(A_i, A_k)$  (рис. 1, б).

Конечно, получается не гарантированное точное решение прогностической задачи, но все же лучшее из возможных.

Данный методологический подход применим и в случае, когда аналогия развития гидрологических ситуаций объясняется схожестью порождающих эти ситуации причин.

Качество прогнозов зависит от целого ряда факторов, важнейшим из которых следует признать полноту и представительность архива гидрологических ситуаций.

## Литература

1. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Арман К.Б.Г. Прогнозирование изменений фрактальной размерности многолетнего речного стока // География и природные ресурсы, № 4, 2008. – С. 136–143.
2. Георгиевский Ю. М., Шаночкин С. В. Гидрологические прогнозы. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 436 с.

Работа частично финансировалась грантом Министерства образования и науки РФ в рамках государственного контракта: «Чувствительность многолетнего речного стока и основных водозависимых отраслей экономики к изменениям климата» № 5.6293.2017/8.9.

*The work was partially funded by a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the state contract: “The sensitivity of long-term river flow and the main water-dependent sectors of the economy to climate change” No. 5.6293.2017 / 8.9.*

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

М.В. Шаратунова<sup>1</sup>, В.В. Иванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE VARIABILITY AGE COMPOSITION OF ICE IN THE WINTER PERIOD OF THE EAST SIBERIAN SEA

M.V. Sharatunova<sup>1</sup>, V.V. Ivanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Возрастной состав ледяного покрова является важнейшим элементом ледового режима арктических морей в зимний период. В работе для оценки количества и возрастного состава льдов Восточно-Сибирского моря в осенне-зимний период были использованы ледовые карты ААНИИ за 1997-2017 гг. и их анализ с помощью ГИС-технологий.*

*Age composition of ice is the most important element of ice mode arctic seas in winter period. In report for evaluate for quantity and age composition of ice in East Siberian sea in autumn-winter period was used AARI ice charts from 1997 to 2017 years and GIS analysis.*

### **Формирование ледяного покрова.**

Восточно-Сибирское море самое ледовитое, из морей российской Арктики. С учетом физико-географических особенностей принята граница между западной и восточной частями моря проходит по 160° в.д. В принятых границах общая площадь моря составляет 770000 км<sup>2</sup>, западная часть – 363000 км<sup>2</sup>, восточная – 407000 км<sup>2</sup>. Важной особенностью моря является значительное развитие припая зимой, особенно в западной мелководной части [1].

В западной части моря (к западу от меридиана 160° в.д.) и в Новосибирских проливах образовавшийся лед преимущественно местного происхождения. В восточной части моря ледяной покров состоит как из вновь образовавшихся льдов, так и из льдов, не вытаявших летом, и многолетних льдов, поступивших из Арктического бассейна.

Метеорологические и ледово-географические условия летнего и осеннего периодов имеют значительные межгодовые изменения, поэтому сроки устойчивого ледообразования в конкретные годы могут существенно отличаться от среднемноголетних сроков и может составлять 5-6 декад. Процесс ледообразования начинаясь в конце августа, распространяется в прибрежную зону и в среднем за 35 суток море полностью замерзает [1]. Нарастание толщины льда происходит весьма интенсивно и продолжается в среднем до конца мая.

*Формирование припая* в Восточно-Сибирском море начинается в первой декаде октября - вдоль побережья островов и материкового побережья, увеличиваясь в местах мелководий и устьевых участков рек. К концу октября средняя толщина припая составляет 33 см. Со второй декады ноября замерзают проливы. С третьей декады декабря припай занимает всю площадь акватории между Новосибирскими островами и побережьем материка до меридиана 150° в.д. Своего максимального развития припай (толщина 210 см) достигает к апрелю, занимая таким образом 20-46 % акватории моря. Около 2/3 припая располагается в западной части моря. [2]. Положение границ припая при различных условиях его формирования представлено на рисунке 1.

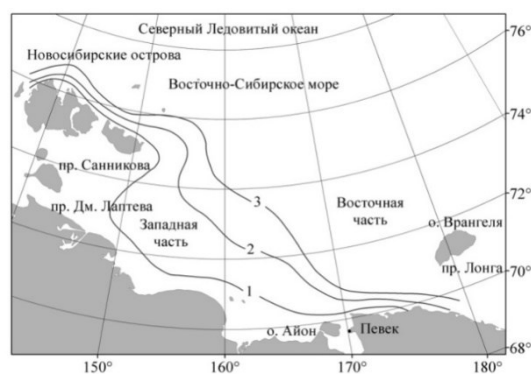


Рис. 1. Положение границ припая в Восточно-Сибирском море (1) минимальное, (2) среднее и (3) максимальное развитие припая

Количество льдов разного возраста приведено в таблицах 1-4 относительно площадей, занимаемых льдами в каждом осенне-зимнем месяце, эти площади изменяются с нарастанием ледяного покрова.

#### **Западная часть Восточно-Сибирского моря.**

##### *Возраст дрейфующего льда.*

С начала ледообразования в море, помимо молодых льдов присутствуют и остаточные льды, на долю которых приходится до 11-16%. До начала ноября в море преобладают молодые льды, максимальное количество которых приходится на первую декаду ноября. Образование однолетних льдов – тонких и средних – начинается с конца октября. С последней декады октября начинается образование однолетних тонких льдов толщиной 30-70 см, а со второй декады ноября и однолетних средних льдов, толщиной 70-120 см.

Максимальное количество однолетних тонких льдов приходится на третью декаду ноября - первую декаду декабря и составляет 50-52%. Их преобладание продолжается до конца декабря.

С начала декабря начинают образовываться средние льды, к началу января они составляют 42 % и преобладают до середины марта. В процессе нарастания толщины часть льдов переходит в возрастную градацию однолетних толстых толщиной более 120 см. Однолетние толстые льды начинают появляться с середины января 3%, и к концу марта они составляют 38%, а к концу мая составляют более 40% от западной части Восточно-Сибирского моря. В сумме однолетние льды занимают около 70%. Изменение количества дрейфующих льдов с октября по май представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сезонные изменения возрастного состава (толщины) дрейфующих льдов в период нарастания ледяного покрова в западной части Восточно-Сибирского моря по данным за 1997-2017 гг, %

Месяц	Начальные виды (<10 см)	Молодые льды		Однолетние льды			Старые льды (>200 см)
		Серый (10-15 см)	Серо-белый (15-30 см)	Тонкий (30-70 см)	Средний (70-120 см)	Толстый (>120 см)	
X	24,8	23,0	27,1	4,5	0,1	0,0	13,4
XI	1,7	4,3	41,8	38,3	1,6	0,0	12,3
XII	1,2	1,3	21,0	43,4	20,5	0,0	12,6
I	1,0	0,9	15,5	22,2	44,5	4,1	11,6
II	1,0	1,2	13,6	13,0	47,4	14,9	8,9
III	1,2	1,1	14,5	8,5	32,2	32,4	10,0
IV	2,0	0,3	13,0	8,8	20,8	44,3	10,7
V	1,5	0,1	10,7	8,5	20,0	43,2	13,0

##### *Возраст припайного льда.*

С началом становления припая во второй декаде октября преобладают серые и серо-белые льды. С конца октября в припаяе, молодые льды переходят в стадию однолетнего тонкого, Быстро

нарастая к середине ноября, однолетний тонкий лёд занимает уже 82%. В начале декабря отмечается появление однолетних средних льдов, во второй декаде они составляют уже 49%, а в третью декаду 72%. Переход среднего льда в толстый начинается с первой декады января, однако преобладание среднего льда продолжается до 3 декады. Начиная с первой декады февраля в припае преобладает толстый лёд (55%), далее до середины мая его количество увеличивается до 92, %. Также по подсчетам в составе припая находится порядка 1,5% старого льда, за счет вхождения в припай отдельных зон, содержащих остаточный лёд и его перехода в старый после 1 января. Изменение количества припайных льдов с октября по май представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сезонные изменения возрастного состава (толщины) льдов в припае в период нарастания ледяного покрова в западной части Восточно-Сибирского моря по данным за 1997-2017 гг, %

Месяц	Начальные виды (<10 см)	Молодые льды		Однолетние льды			Старые льды (>200 см)
		Серый (10-15 см)	Серо-белый (15-30 см)	Тонкий (30-70 см)	Средний (70-120 см)	Толстый (>120 см)	
X	0,0	13,8	22,8	5,8	0,0	0,0	0,5
XI	0,0	1,6	23,4	69,4	1,6	0,0	0,0
XII	0,0	0,0	5,3	46,0	44,6	0,0	0,9
I	0,0	0,0	0,5	8,0	68,7	21,4	1,3
II	0,0	0,0	0,1	3,8	26,7	66,0	1,6
III	0,0	0,0	0,1	6,1	5,5	85,1	1,4
IV	0,0	0,0	0,0	5,5	1,2	91,8	1,5
V	0,0	0,0	0,0	5,6	0,2	90,9	1,5

### **Восточная часть Восточно-Сибирского моря.**

#### *Возраст дрейфующего льда.*

К началу ледообразования в восточной части моря количество остаточного льда в среднем может составлять до 32%. Во второй декаде октября количество серо-белого льда составляет около 30%, в третьей 38,6%, а к середине ноября 42,8%. По мере увеличения количества серо-белого льда, количество серого сокращается от 20 % в первой декаде ноября и до конца сезона его количество уже не превышает 0,7%. Однолетние тонкие льды начинают появляться со второй декады октября, их количество постоянно увеличивается и к середине декабря достигает максимума в 42,7%. Однолетние средние льды с момента образования в октябре, в конце декабря составляют 24%, а с первой декады января их количество преобладает и к концу января составляет уже более 50%. К первой декаде февраля на акватории моря образуется толстый однолетний лёд, количество которого начинает преобладать со 2 декады февраля, а в середине мая достигает максимума 53,2%.

#### *Возраст припайного льда.*

С начала становления припая, в середине октября в нем преобладает серо-белый лёд, количество которого к концу месяца составляет около 51%. Затем начинает появляться однолетний тонкий лёд и в конце ноября его уже 81,6%. Однолетний средний лёд появляется в припае в первой декаде декабря, его количество постоянно увеличивается до середины января (более 72%). С первой декады января в припае появляются и однолетние толстые льды, однако переход средних льдов в толстые происходит медленнее, нежели однолетних тонких в средние. В первой декаде февраля толстые льды уже преобладают 48,7%, далее их количество постоянно увеличивается до максимального значения в середине мая 87%. Начиная с середины января, в припае встречаются также и старые льды, их количество незначительно колеблется в пределах 5-7%.

Таблица 3. Сезонные изменения возрастного состава (толщины) дрейфующих льдов в период нарастания ледяного покрова в восточной части Восточно-Сибирского моря по данным за 1997-2017 гг, %

Месяц	Начальные виды (<10 см)	Молодые льды		Однолетние льды			Старые льды (>200 см)
		Серый (10-15 см)	Серебелый (15-30 см)	Тонкий (30-70 см)	Средний (70-120 см)	Толстый (>120 см)	
X	20,5	14,7	28,6	2,6	1,4	0,0	26,1
XI	2,6	9,5	38,9	26,9	2,1	0,0	19,6
XII	0,6	1,1	21,8	41,0	16,4	0,0	19,0
I	0,2	0,4	12,2	21,7	45,2	2,4	17,7
II	0,4	0,2	10,1	7,6	49,1	15,3	17,3
III	0,3	0,3	10,0	4,5	29,0	39,9	15,9
IV	0,5	0,1	9,9	6,0	16,5	52,0	15,0
V	0,5	0,1	9,6	5,6	17,0	50,9	14,2

Таблица 4. Сезонные изменения возрастного состава (толщины) льдов в припае в период нарастания ледяного покрова в восточной части Восточно-Сибирского моря по данным за 1997-2017 гг, %

Месяц	Начальные виды (<10 см)	Молодые льды		Однолетние льды			Старые льды (>200 см)
		Серый (10-15 см)	Серебелый (15-30 см)	Тонкий (30-70 см)	Средний (70-120 см)	Толстый (>120 см)	
X	0,0	3,5	23,3	2,6	0,8	0,0	0,0
XI	0,0	1,1	25,7	63,6	1,6	0,0	0,0
XII	0,0	0,4	7,6	45,3	43,5	0,0	0,1
I	0,0	0,0	1,5	9,2	66,6	17,0	4,0
II	0,0	0,0	0,0	4,7	32,6	55,4	5,4
III	0,0	0,0	0,0	6,2	9,8	77,6	4,6
IV	0,0	0,0	0,0	5,4	4,0	84,4	6,1
V	0,0	0,0	0,0	5,6	0,7	85,0	6,9

### Выводы.

Изменение возрастного состава льдов в зимний период носит последовательный, волнообразный характер, при котором преобладание какого-либо возрастного состава льда достигая своего максимума начинает снижаться. За этим следует нарастание и достижения преобладающего количества льдов следующего возрастного состава.

Анализ возрастного состава льдов показал преобладание однолетнего толстого льда в дрейфующих и припайных льдах Восточно-Сибирского моря.

К концу зимнего периода количество дрейфующего однолетнего толстого льда в западной и восточной частях Восточно-Сибирского моря составило 40-50%. В западной части однолетние толстые льды формируются в среднем на месяц раньше, чем в восточной.

Таким образом, выполненное исследование для Восточно-Сибирского моря подтверждает, выявленную ранее закономерность для других арктических морей, что в припайных льдах переход льдов в старшую возрастную градацию происходит раньше на 2- 6 декады [3]. В припае к концу зимнего периода однолетний толстый лед составляет 87-93% площади льдов.



### **Литература**

1. Наблюдения за ледовой обстановкой: Учебное пособие. СПб. ГУ «АНИИ», 2009. -360 с.
2. 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.
3. Хотченков Формирование возрастного состава ледяного покрова в море Лаптевых. СПб, Проблемы Арктики и Антарктики. 2017.№4 (114), С. 5-15.

## ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ РЕЧНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА (НА ПРИМЕРЕ ГП Р. УРАЛ – Г. ОРЕНБУРГ)

Ю.В. Шарина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE REAL-TIME RIVER RUNOFF CALCULATION IN THE CONDITIONS OF UNSTEADY FLOW AND VARYING BACKWATER (ON THE EXAMPLE OF THE RIVER URAL IN THE ORENBURG GAGING SECTION)

Yu.V. Sharina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Представлена методика оперативного учёта стока в условиях неустановившегося режима и переменного подпора, основанная на методе оптимальной экстраполяции относительных отклонений измеренных расходов воды от опорной кривой расходов.*

*The technique of the real-time runoff calculation in the conditions of unsteady flow and varying backwater based on the method of the optimal extrapolation of the measured discharges relative deviations from the basic discharge curve is presented.*

Оперативный вариант учёта речного стока подразумевает вычисление значений расходов воды практически в режиме реального времени для обеспечения задач прогнозирования и предупреждения опасных гидрологических явлений, а также ежедневного контроля водности рек и информационного обеспечения функционирования объектов водного хозяйства в речных бассейнах. Наиболее сложной задачей оперативного учёта стока становится в случае наличия неоднозначной зависимости расходов от уровней воды  $Q(H)$ .

Одной из причин нарушения однозначности зависимости  $Q(H)$  является неустановившийся режим, когда связь между расходом и уровнем в створе гидрологического поста (ГП) нарушается при прохождении паводочных волн или волн попусков из водохранилища. Характерным признаком данной категории является образование точками измеренных расходов ( $Q$ ,  $H$ ) петлеобразной кривой, именуемой «паводочной петлёй» (рис. 1).

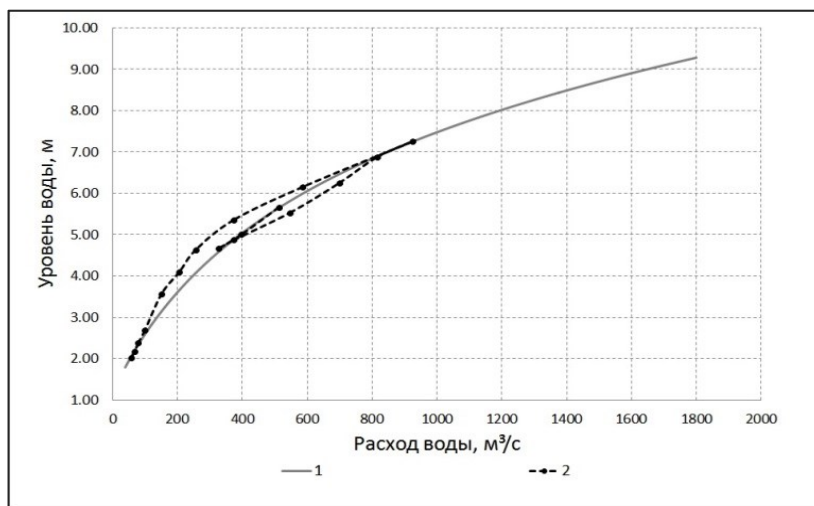


Рис. 1. Петлеобразная зависимость расходов и уровней воды в сравнении с кривой расходов при отсутствии неустановившегося режима в створе ГП р. Урал – г. Оренбург

В некоторых случаях неустановившийся режим в створе ГП сопровождается деформациями русла и переменным подпором. При этом петлеобразная связь  $Q(H)$  может принимать более сложную форму и менять своё положение из года в год, как это отмечено на реке Урал в створе

ГП г. Оренбург. В ходе анализа данных наблюдений установлено, что на гидрологический режим р. Урал на участке ГП г. Оренбург оказывают влияние попуски из Ириклинского водохранилища, расположенного в 515 км выше г. Оренбург. Кроме того, на участке ГП в периоды половодья наблюдается подпор уровня воды от р. Сакмары, которая впадает в р. Урал в 8.8 км ниже ГП г. Оренбург.

В соответствии с Рекомендациями [1] в качестве первого приближения к значению расхода воды принимается значение расхода воды, полученное по аналитическому уравнению регрессии расходов воды по уровням – опорной кривой расходов (КР) – для текущего уровня воды  $H_t$ . 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) [2], [3].

В общем случае значение оперативного расхода воды на момент времени (срок)  $t$  вычисляется по формуле

$$Q_{ont} = Q(H_t)(1 + \tilde{q}_t), \quad (1)$$

где –  $Q(H_t)$  – расход воды, полученный по опорной КР для уровня  $H_t$ , зафиксированного в момент времени  $t$ , м<sup>3</sup>/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 измеренных расходов воды (ИРВ)  $\tilde{q}_i$  от опорной зависимости  $Q(H)$ .

$$\tilde{q}_i = \frac{Q_i - Q(H_i)}{Q(H_i)}, \quad (2)$$

где  $Q_i$  – измеренный расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$Q(H_i)$  – расход воды, полученный по опорной КР для уровня  $H_i$ , зафиксированного во время измерения расхода воды  $Q_i$ , м<sup>3</sup>/с.

При нарушении однозначности связи  $Q(H)$  временной ряд относительных отклонений  $\tilde{q}(t)$  включает в себя две составляющие:

– сигнал  $\tilde{q}_S(t)$ , отражающую изменения гидравлично-морфологических условий протекания потока; при вычислении ежедневных расходов воды (ЕРВ) должна учитываться лишь эта составляющая;

– белый шум  $\tilde{q}_N(t)$ , обусловленную случайными погрешностями измерения расходов воды [4]; для исключения этой составляющей используем метод оптимальной экстраполяции, в формулы для вычисления весовых коэффициентов которого входит мера погрешности измерения  $\eta$  [2].

Для применения метода оптимальной экстраполяции требуется надёжная оценка статистических характеристик процесса  $\tilde{q}(t)$  (автокорреляционной функции (АКФ) и дисперсии). Такая оценка выполняется по данным прошлых лет.

На основе анализа хронологических графиков относительных отклонений установлено [3], [5], что, как правило, изменение характеристик пропускной способности русла во времени принимает циклический (квазициклический) характер, образуя полные или частичные реализации цикла за период нарушения однозначности связи  $Q(H)$   $T_H$ . В некоторых случаях хронологический ход относительных отклонений  $\tilde{q}(t)$  можно представить в виде косинусоиды. Нормированная АКФ случайного процесса относительных отклонений  $\tilde{q}(t)$  в таком случае может быть представлена в виде тригонометрической функции, имеющей вид

$$r(t) = \cos(2\pi t/T_H), \quad (3)$$

где  $T_H$  – продолжительность периода, в течение которого связь  $Q(H)$  неоднозначна;

$\tau$  – параметр сдвига в долях  $T_H$ .

Такое представление автокорреляционной функции позволяет оценить значения корреляционной связанности во времени характеристик пропускной способности русла и использовать для их экстраполяции значений поправок  $\tilde{q}_t$ .

Значение  $\tilde{q}_t$  на любую дату в интервале от даты последнего измерения расхода воды до расчётной даты представляется в виде суммы взвешенных результатов относительных отклонений 1-2-х последних ИРВ

$$\tilde{q}_t = p_1 q_1 + p_2 q_2 + (1 - \sum_{i=1}^n p_i) m_{\tilde{q}}, \quad (4)$$

где  $p_i$  – весовые коэффициенты, которые вычисляются в зависимости от значений АКФ и меры погрешности;

$m_{\tilde{q}}$  – оценка математического ожидания (среднего значения) ряда элементов  $\tilde{q}_i$ .

В результате анализа данных наблюдений за период с 2000 по 2016 гг. на ГП р. Урал – г. Оренбург было установлено, что в 2000, 2004 и 2008 гг. точки ИРВ отклоняются от годовых КР не более, чем на 6-7%, что соответствует точности измерения расходов воды. Данные об ИРВ за периоды свободного русла 2000, 2004 и 2008 гг. использовались для получения опорной многолетней кривой расходов (МКР).

Для оценки АКФ были выбраны периоды половодья лет с наибольшим количеством надёжных ИРВ (2002, 2005, 2007, 2013 гг.), выполнен расчёт относительных отклонений ИРВ за периоды половодья этих лет от опорной МКР. Полученная АКФ представлена на рис. 2. Для аппроксимации эмпирической АКФ использовалась аналитическая АКФ, вычисленная по формуле (3). Параметр  $T_H$  в формуле (3) был принят равным осреднённой продолжительности половодья в сут.

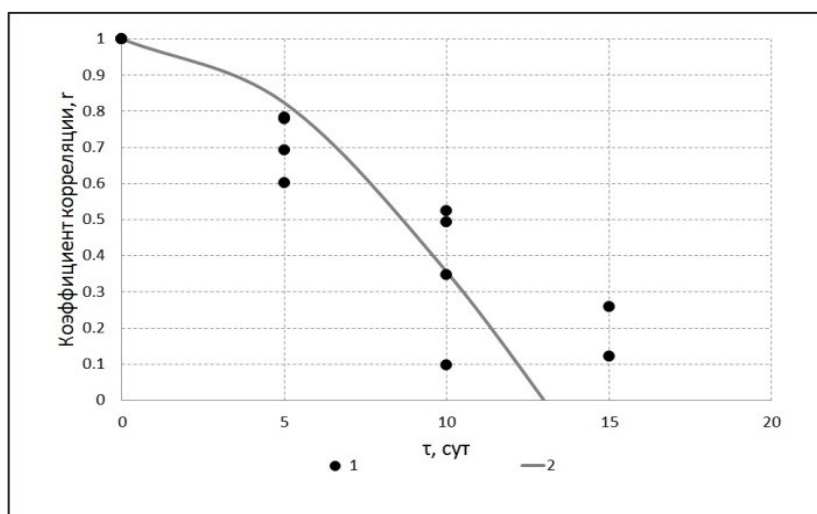


Рис. 2. Эмпирическая (1) и аналитическая (2) АКФ процесса относительных отклонений  $\tilde{q}$  за периоды неустановившегося режима в створе ГП р. Урал – г. Оренбург

Расчёт по методу оптимальной экстраполяции начинается после поступления данных о первом измеренном расходе воды при свободном состоянии русла. Для каждого поступившего значения измеренного расхода воды производится расчёт его относительного отклонения от опорной МКР по формуле (2). Начиная с даты, следующей после измерения расхода воды, вычисляются экстраполированные значения относительных отклонений  $\tilde{q}_t$  по формуле (4). Расчёт оперативных расходов воды для каждого поступившего срочного значения уровня воды осуществляется по формуле (1), где в качестве значения поправки  $\tilde{q}_t$  принимается экстраполированное значение относительного отклонения, вычисленное по формуле (4).

На рис. 3 представлены режимный гидрограф (линия 1) р. Урал за период половодья 2014 г., полученный по данным об ЕРВ из справочника водного кадастра «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» и оперативный гидрограф (линия 2), полученный по методу оптимальной экстраполяции. Белыми кружками показаны ИРВ. Как видно из рисунка, режимные и оперативные значения ЕРВ оказались достаточно близки.

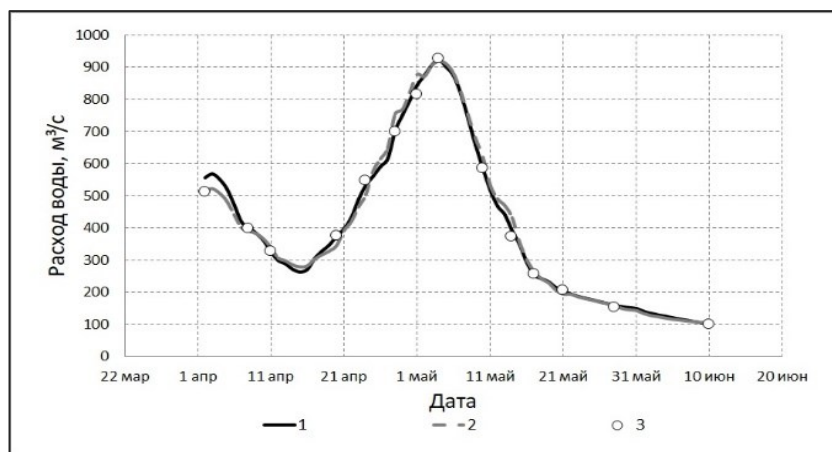


Рис. 3. Гидрограф половодья 2014 г. р. Урал в створе г. Оренбург

Результаты оценки эффективности предлагаемой методики оперативного учёта стока, выполненной по результатам сравнения данных оперативного и режимного учёта стока, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Оценка точности оперативного учёта стока р. Урал в створе ГП г. Оренбург в условиях неустойчивого режима

Период половодья	Опорная МКР, годы	Систематическая погрешность $\delta_{оп t}$ осреднённая за весь период, %	Количество суток, когда $\delta_{оп t} > 10\%$ , в % от общего числа суток в периоде	Случайная среднеквадратическая погрешность оперативного учёта стока $\sigma_{оп}$
07.04.2010-31.05.2010	2000, 2004, 2008	-0,2	6	7,9
06.04.2013-10.06.2013	2000, 2004, 2008	-0,1	6	7,7
02.04.2014-10.06.2014	2000, 2004, 2008	-0,2	0	4,6
14.04.2015-09.06.2015	2000, 2004, 2008	1,0	2	5,9
04.04.2016-06.06.2016	2000, 2004, 2008	-1,3	0	4,7

Предлагаемая методика позволяет на объективной основе учитывать изменения ПСР при неустойчивом режиме и переменном подпоре. Оценка погрешностей свидетельствует о высокой эффективности методики. Дальнейшее изучение методики будет направлено на проверку её точности в последующие годы, а также в проверке применимости методики на других ГП со схожими условиями.

### Литература

1. Оперативный учет стока на водотоках. Методы обработки наблюдений за уровнями и расходами воды. СПб.: 2018. 107 стр.
2. Яковлева Т.И. Оценка изменчивости пропускной способности русла на основе модели «сигнал плюс шум» // Вопросы гидрологии суши. 1991. С. 209–214.
3. Карасев И.Ф., Яковлева Т.И. Усовершенствованные методы гидрометрического учета стока // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. М.: Росгидромет, 2006. С. 156–163.
4. Карасев И.Ф., Яковлева Т.И. Экстраполяционно-аналитический метод оперативного учета стока рек с неустойчивым руслом (на примере р. Амурары) // Труды ГТИ. 1988. Вып. 325. С. 19–30.
5. Шарина Ю.В. Методика оперативного учета стока в условиях зарастания русла (на примере реки Матыра в створе села Крутое) // Водное хозяйство России. 2017. № 2. С. 73–92.

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

А.Ю. Шаронов<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, М.А. Мамаева<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY IN MODERN EDUCATION

A.Yu. Sharonov<sup>1</sup>, Cand. Sc., M.A. Mamaeva<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*В настоящей работе будут обсуждаться базовые представления о системесовременного образования в России в области гидрометеорологии и экологии. Кроме того, будет представлен анализ системы подготовки кадров в России в области охраны окружающей среды.*

*This paper will discuss basic ideas about the system of modern education in Russia in the field of hydrometeorology and ecology. In addition, a comparative analysis of the system of personnel training in Russia in the field of environmental protection will be presented.*

Ежегодный Государственный доклад представляет собой информационно-аналитический материал, содержащий систематизированные данные о фактическом состоянии окружающей природной среды России за прошедший год или годы. В том числе в этом докладе представлены материалы и информация о состоянии отдельных компонентов природной среды и видов природных ресурсов, естественных экосистем, о происходящих процессах и явлениях, о природных и антропогенных факторах, в том числе основных отраслях экономической деятельности, влияющих на состояние окружающей среды, анализ, тенденции и прогноз их воздействия на окружающую среду, об основных достижениях в государственном регулировании охраны окружающей среды и природопользования [1]. И что особенно важно в нём важное место занимают вопросы экологического образования в Российской Федерации.

В соответствии с Основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, утверждёнными Президентом Российской Федерации 30 апреля 2012 г., одной из стратегических задач является формирование экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания различных групп населения.

В 12 регионах нашей страны действуют законы об экологическом образовании, просвещении и формировании экологической культуры (в частности, в республиках Дагестан и Башкортостан, Саха (Якутия), Приморском и Камчатском краях, Ульяновской, Ивановской, Костромской, Волгоградской, Тюменской, Иркутской областях, Ханты-Мансийском АО). В 60 субъектах РФ приняты постановления администраций или правительств субъектов РФ, касающиеся вопросов экологического образования. В соответствии со ст. 71 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» в целях формирования экологической культуры и профессиональной подготовки специалистов в области охраны окружающей среды устанавливается система всеобщего и комплексного экологического образования, включающая в себя общее образование, среднее профессиональное образование, высшее образование и дополнительное профессиональное образование специалистов. С 2012 г. содержание формального образования определяется Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) [1]. Программы высшего профессионального экологического образования открыты в вузах нашей страны - от Калининграда до Сахалина и Камчатки [1]. Наибольшее число вузов, реализующих подготовку образовательного стандарта в области экологии находится преимущественно в г. Москве и г. Санкт-Петербурге. Так, по направлению «Экология и природопользование» бакалавриат открыт в 18 вузах г. Москвы, в 9 вузах г. Санкт-Петербурга, в 9 вузах Тюменской области и 8 вузах Краснодарского края, в остальных регионах их значительно меньше (рис. 1) [1]. Интересные инициативы в области экологического образования реализуются на ряде факультетов МГУ (включая экономический, юридический, химический, политологический факультеты), МГИМО и др.



Рис. 1. Распределение вузов по субъектам РФ, готовящим специалистов по направлению «Экология и природопользование» [1]

Особенностью в развитии отечественного общего экологического образования в 2016 г. явилась активизация действий группы ведущих ученых нашей страны – членов Научного совета по экологическому образованию Российской академии образования (РАО) по преодолению возникшего противоречия между новой нормативно-правовой базой экологического образования и неадекватным ее методологическим и учебно-методическим сопровождением в образовательной практике, а также отсутствием соответствующей подготовки работников образования к реализации современной модели экообразования с учетом мировых тенденций в этой области, основам государственной политики в области экологического развития Российской Федерации до 2030 г. и распоряжения Правительства России от 23.01.2014 г. № 64-р о действиях по реализации Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Пункт 72 данного распоряжения поручает Минобрнауки России обеспечить до 2020 г. разработку «Методологического, программного и учебно-методического сопровождения реализации экологической составляющей федеральных государственных образовательных стандартов начального, основного и среднего (полного) общего образования на основе Концепции общего экологического образования». Однако эта системная многоуровневая задача, неформальное решение которой, требует создание специального научного коллектива, не получила отражение ни в одной из перспективных государственных программ развития отечественного образования на обозначенный период.

Достижение качества экологического образования определяется рядом условий, среди которых два имеют ключевое значение:

- особенности конструирования содержания экообразования как системы непрерывного, преемственно организованного по ступеням школьного образовательного-воспитательного процесса на основе социально-педагогического партнерства педагогов, детей и родителей;
- подготовка педагогических кадров к профессиональному взаимодействию, направленному на достижение нового социально востребованного общеобразовательного результата – современной экокультуры, культуры здорового и безопасного образа жизни.

По данным Межрегиональной ассоциации образования и просвещения по экологии и устойчивому развитию, экологическое образование реализуется в отдельных образовательных организациях страны фрагментарно, в виде представления отдельных элементов экологического направления в содержании учебных дисциплин государственного образовательного стандарта.

В настоящее время существует серьёзная проблема с пониманием содержания экологического образования у преподавателей, которые его реализуют самостоятельно и не всегда «полноценно» по целому ряду причин. В связи с этим, практически повсеместно, где речь идёт о реализации экологического образования в той или иной форме, наблюдается подмена системного экологического образования зачастую не имеющими в основе своей экологического содержания, но провозглашёнными «экологическими». Такая ситуация является вполне закономерной, поскольку в настоящее время существует проблема подготовленности преподавательских кадров в сфере экологического образования и сложности современного осмысления проблемы взаимосвязи гидрометеорологии и экологии в различных географических зонах, что существенно затрудняет процесс реализации «Основ Государственной политики в области экологического развития и образования Российской Федерации». Прежде всего это сказывается на формировании понятийного аппарата в области экологии. В настоящее время чаще всего под экологией и экологическими вопросами в образовании ошибочно понимаются, прежде всего, вопросы охраны окружающей среды. Охрана окружающей среды включает охрану природы в качестве одного из своих компонентов. В центре внимания охраны природы находятся вопросы сохранения биосферы и составляющих её биогеоценозов, а в рамках охраны окружающей среды на первый план выдвигается удовлетворение экологических потребностей человека, включая поддержание благоприятных для него локальных и региональных условий существования (например, в городской среде).

Прикладная экология - дисциплина, изучающая механизмы антропогенного воздействия на биосферу, способы предотвращения негативных процессов и разрабатывающая принципы рационального использования природных ресурсов без деградации среды обитания.

Прикладная экология выясняет различные аспекты воздействия факторов окружающей среды на биосистемы и направлена на решение главным образом практических вопросов.

Прикладная экология, как наука, рассматривает вопросы экологического профиля в области образования, обеспечения экологической безопасности, безопасного обращения с отходами, охраны атмосферного воздуха и водной среды, экологического аудита, экологического менеджмента, радиационной безопасности и радиационного контроля, промышленной безопасности и охраны труда. Прикладная морская экология (ПМЭ) — направление в морской экологии, занимающееся вопросами оптимизации взаимодействия человека с морскими экосистемами. Объектом ПМЭ являются морские экосистемы независимо от их масштаба, сложности структуры и степени испытываемого воздействия со стороны человека. ПМЭ, как направление экологии, изучает, оценивает и прогнозирует положительные и отрицательные эффекты воздействия деятельности человека на морские экосистемы. В зависимости от масштаба решаемых задач, ПМЭ рассматривает морские экосистемы на локальном, региональном и глобальном уровнях. Для планирования природопользования в морской среде представляет практический интерес описание основных характеристик экосистем, или их паспортизация. Определение характеристик, подлежащих описанию, и их количественная оценка - сложная задача, которая может быть решена только в результате проведения комплексных натурных исследований. Главной задачей таких исследований является поиск показателей, отражающих состояние экосистемы, или её экологический статус.

Наличие квалифицированного персонала в области гидрометеорологии имеет важнейшее значение для успешной работы не только научно-технических учреждений гидрометеорологических организаций национальных гидрометеорологических служб и гидрологических бюро, но и потребителей метеорологической информации.

Как указано в Конвенции Всемирной Метеорологической Организации (ВМО)[2], одной из ее целей является поощрение деятельности по подготовке кадров в области метеорологии и других смежных областях, а также содействие координации международных аспектов этой деятельности. В связи с этим ВМО с самого начала своего образования в 1950 году вносила значительный вклад в развитие деятельности по образованию и подготовке кадров в области метеорологии, а после того как ее мандат был расширен — также и в области гидрологии и экологии [1].

Общая система классификации занятого в области метеорологии персонала и рекомендуемые квалификационные требования к персоналу в рамках определённой категории предназначена для обеспечения соответствующей международной структуры, которую члены ВМО могут внедрить,



адаптировать для удовлетворения своих конкретных потребностей или использовать в качестве эталона для оценки своих собственных национальных схем. Чёткое разграничение между классификацией персонала и профессиональными задачами, выполняемыми в рамках национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) имеет отношение к квалификационным требованиям, в то время как профессиональные задачи связаны с компетенциями. Страны-члены ВМО сами отвечают за привязку конкретных профессиональных задач к различным категориям персонала.

Не вызывает сомнения то, что метеорологический персонал может быть классифицирован различными способами, каждый из которых имеет свои конкретные достоинства и недостатки. Однако вполне очевидно, что ни одна система не сможет адекватно определить все категории требуемого персонала. Поэтому необходимо принять такую компромиссную классификацию, которая полностью сознавая её недостатки и ограничения позволяла бы гибко реагировать на запросы практики при подготовке первоначального образованию и профессиональной подготовке в области метеорологии и экологии, которые требуются персоналу для соответствия различным категориям классификации в гидрометеорологии. Дополнительное образование и подготовка, необходимые для обеспечения компетенций, требующихся метеорологическому и гидрологическому персоналу для выполнения широкого круга своих общих профессиональных задач, изложены в Техническом регламенте (ВМО-№ 49), том I [3].

Завершение обучения по программе, обеспечивающей получение гидрометеорологического образования на университетском уровне с получением диплома, должно рассматриваться как ключевой фактор в современном образовании.

Руководящие принципы и система классификации гидрометеорологического персонала нуждаются в постоянном пересмотре по следующим причинам:

- в гидрометеорологии, как прикладной науке, наблюдается значительный прогресс вследствие улучшения понимания поведения взаимосвязанной системы «атмосфера-гидросфера-океан-суша», применения усовершенствованных методов прогнозирования и происходящей революции в области информационных и коммуникационных технологий;

- экономические, социальные и политические структуры продолжают эволюционировать во многих частях мира, в результате чего возникают новые и изменяющиеся потребности в метеорологическом и гидрологическом обслуживании, ориентированном на интересы пользователя и последовательно осуществляемом с обеспечением контроля качества;

- значительные изменения происходят в подходе к профессиональному образованию и специализации, в частности, как результат всевозрастающей важности, придаваемой непрерывному образованию и подготовке кадров, и конкретизации компетенций (т. е. знаний, профессиональных навыков и типа поведения, необходимых для той или иной работы) [1].

В заключении следует отметить, что вопросы экологического образования неразрывно связаны с подготовкой кадров не только в области гидрометеорологии, но и достаточно широкого круга потребителей гидрометеорологической информации и продукции. Для решения задач экологического благополучия в нашей стране необходимо готовить кадры, обладающие знаниями и компетенциями в области экологии, которые необходимы в решении широкого круга задач.

## Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». - М.: Минприроды России; НИИ-Природа. - 2017. - 760 с.
2. Официальный сайт Всемирной метеорологической организации [Электронный ресурс]. URL: <http://wmo.int> (дата обращения 02.10.2018)
3. Технический регламент ВМО, ВМО-№49 [Электронный ресурс]. URL: [https://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_49-v1-2012\\_ru.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_49-v1-2012_ru.pdf) (дата обращения 02.10.2018)

## РЕЖИМ ОХОТСКОГО АНТИЦИКЛОНА И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЭКСТРЕМУМЫ В КУРИЛО-ХОККАЙДСКОМ РЕГИОНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1950-2017 ГГ

Т.А. Шатилина<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, Г.Ш. Цициашвили<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, Т.В. Радченкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Институт прикладной математики Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия

## THE REGIME OF THE KHOTO ANTICYCLONE AND CLIMATIC EXTREMUMS IN THE KURILO-KHOKKAID REGION DURING THE SUMMER PERIOD 1950-2017

T.A. Shatilina<sup>1</sup>, Cand.Sc., G.Sh Tsitsiashvili<sup>2</sup>, Dr.Sc., T.V Radchenkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pacific Fisheries Research Centre, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia

*Исследуется режим охотского антициклона (ОА) в 1950-2017гг. Особое внимание уделяется его экстремальному развитию. Выявляются климатические экстремумы температуры воды и воздуха. Представлен механизм влияния ОА на формирование термического режима вод, прилегающих к о. Хоккайдо и Южным Курильским островам.*

*Okhotsk anticyclone (OA) regime in 1950-2017 is under investigation. Particular attention is paid to its extreme development. Climatic water and air temperature extremes are revealed. Mechanism of the OA influence on the formation of thermal regime of waters adjacent to Hokkaido and the South Kuril Islands is presented.*

В последние годы наблюдается снижение численности горбуши в Сахалино – Курильском регионе [1]. Результаты анализа этого явления показывают решающую роль экстремальных факторов среды в формировании численности горбуши [1].

Одним из циркуляционных факторов, формирующих региональные гидрометеорологические условия (в том числе и экстремальные) в районах нагула молоди горбуши является охотский антициклон.

Охотский антициклон (ОА) это сезонная область высокого давления, часто наблюдающаяся над Охотским морем в период с мая по август. При развитом антициклоне над Охотским морем происходит вынос холодного и влажного морского воздуха на Сахалин, Японию, Курильские острова. Охотский антициклон блокирует движение циклонов на восток, вследствие чего в Приамурье в летнее время образуется квазипостоянная область низкого давления.

Интенсивность ОА, рассчитана как средние месячные значения приземного атмосферного давления над всей акваторией Охотского моря, определённые по результатам реанализа NCEP/NCAR в узлах регулярной сетки 2.5°x2.5° в период с 1948 г. по 2017 гг.

На рисунке 1 представлена межгодовая изменчивость приземного давления над Охотским морем, характеризующая интенсивность ОА в июне и июле за 1948-2017 гг.

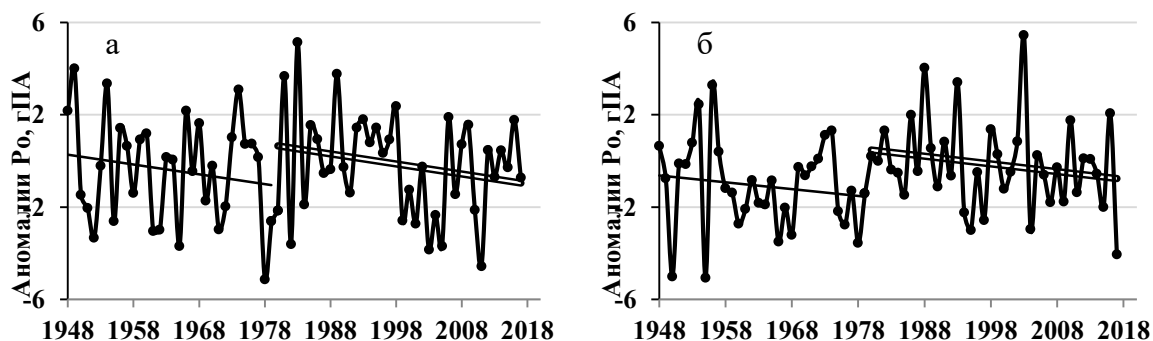


Рис. 1. Многолетняя изменчивость аномалий приземного давления над Охотским морем июне (а), июле (б) в 1948-2017 гг.

Видно, что с 80-х годов в июне отмечается тенденция ослабления ОА. Это было отмечено также в работе [2]. В июне наибольшие значения приземного давления (наибольшая интенсивность ОА) отмечались в 1954, 1974, 1981, 1983, 1989 гг. (Рис 1а). В июле наибольшая интенсивность ОА была в 1954, 1956, 1988, 1993 и 2003 гг. (Рис. 1 б).

Отмечено, что в июне и июле доминирующими циклами в режиме ОА были 3- летние и 6 - 7 летние.

Значительные флуктуации в интенсивности ОА обусловили изменчивость температуры воздуха и воды в Курило-Хоккайдском районе и появление экстремумов.

На рисунке 2 представлена межгодовая изменчивость аномалий температуры воздуха в июне и июле на ГМС, расположенных на о. Хоккайдо.

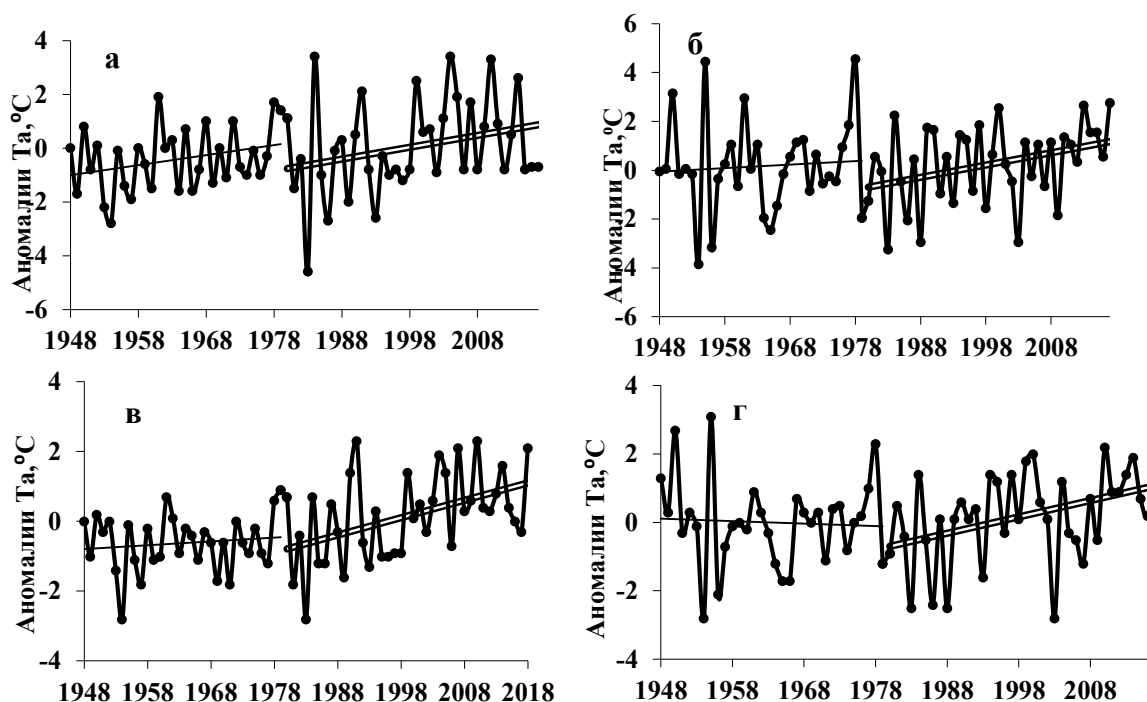


Рис. 2. Межгодовая изменчивость аномалий температуры воздуха на ГМС Абасири в июне (а), в июле (б), на станции Суттсу в июне (в) и в июле (г).

Значимость тренда для температуры воздуха в период 1980-2017 для ГМС Суттсу составляет 0,04, для ГМС Абасири тренд не значим.

Экстремальное повышение температуры воздуха (более 2<sup>0</sup>С) на ГМС Абасири в июне отмечалось в 1984, 1991, 1999, 2004, 2010 и 2014 гг. А экстремальные похолодания в этом месяце были в 1954, 1983, 1986, 1993 гг. Можно заметить, что экстремальное повышение температуры воздуха в июне на этой станции соответствует ослаблению ОА. А экстремальные похолодания соответствуют усилению охотского антициклона (Рис.1).

В июле максимальный рост температуры воздуха (более 3<sup>0</sup>С) на ГМС Абасири, расположенной на северо-восточном побережье о. Хоккайдо, отмечался в 1950, 1955, 1961, 1978 гг., а значительное похолодание (минус 3<sup>0</sup>С) наблюдалось в июле 1954, 1956, 1983, 1988, 2003. Отмечено, что экстремально низкая температура воздуха в июле соответствовала интенсивному развитию в ОА.

На ГМС Суттсу, расположенной на юго-западном побережье о. Хоккайдо, в июне экстремальное повышение температуры воздуха отмечалось в 1991, 2010, 2018 гг., а экстремальное понижение было в 1954 и 1983 гг. В июле экстремальное потепление отмечались в 1950, 1955, 1978 и 2010 гг., а экстремальные похолодания были в 1954, 1956, 1983, 1986, 1988 и 2003 гг., т.е. в годы наибольшей интенсивности ОА.

На рисунке 3 представлен межгодовой ход аномалий температуры воды в районе пролива Лаперуза (Японское море) и к юго-востоку от о. Хоккайдо (СЗТО).

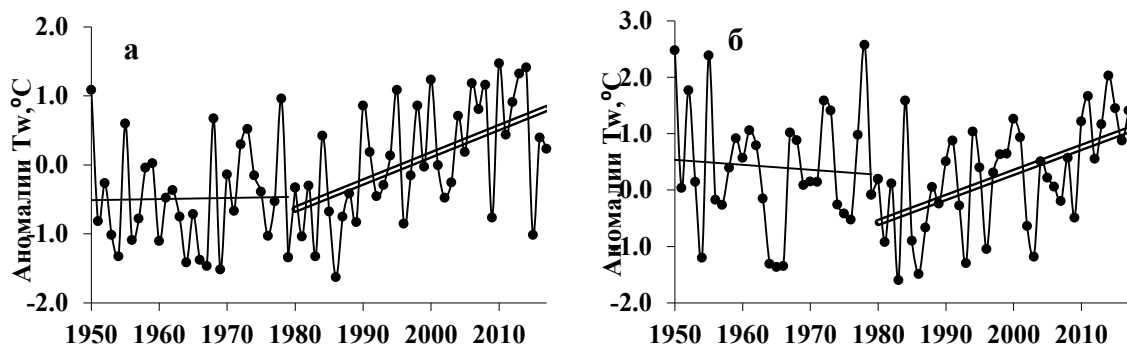


Рис. 3. Аномалии температуры воды у пр. Лаперуза (а) и к юго-востоку от о. Хоккайдо (б).

Для температуры воды в период 1980-2017 значимость тренда составляет 0,06. В районе пролива Лаперуза понижение температуры воды в июле отмечалось в годы: 1954, 1964, 1967, 1986 и 2015. К юго-востоку от о. Хоккайдо – 1954, 1964, 1966, 1983, 1986, 1993 и 2003 гг.

Интенсивность ОА влияет на термический режим прибрежных вод, омывающих берега Курильских о-в и о. Хоккайдо. Влияние ОА на режим вод у Южных Курильских о-в было показано в работе [3].

На рисунке 4 представлен внутригодовой ход аномалий температуры воды в Южно-Курильском районе, к юго-востоку о. Хоккайдо и к юго-западу о. Хоккайдо (Японское море) в годы интенсивного развития ОА (1983, 1993, 2003 гг.) и в годы ослабления ОА (1978, 2014 гг.).

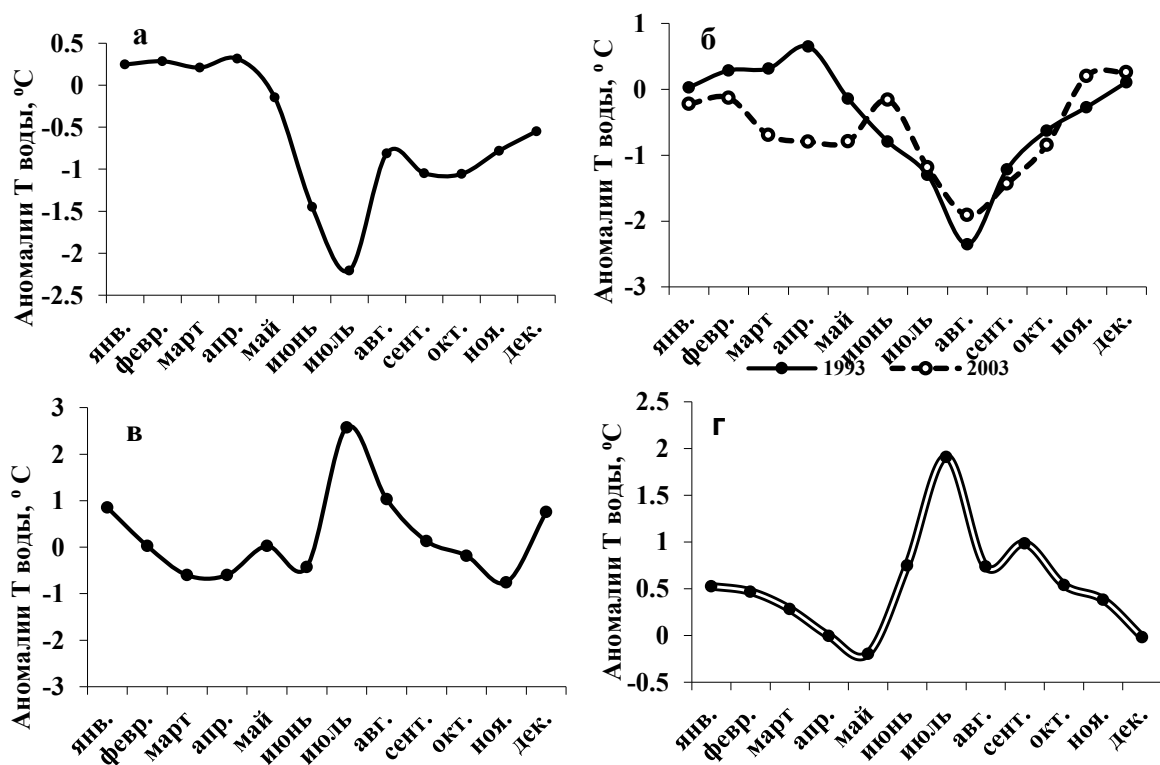


Рис. 4. Внутригодовой ход аномалий температуры воды в Южно-Курильском районе в 1983 г. (а) и к юго-востоку о. Хоккайдо (б) в годы интенсивного развития ОА и в годы ослабления ОА в 1978 г. (в), в 2014 г. (г).

Видно, что в 1983 году, когда давление в июне над Охотским морем превышало норму на 5 гПа, в Южно-Курильском районе наблюдалась отрицательная аномалия поверхностной температуры воды, достигающая в июле минус 2,5 °С (Рис 4а, б). Эти условия негативно отразились на промысле сайры. Резкое похолодание воды отмечалось к юго-востоку от

о. Хоккайдо в 1993 и 2003, когда охотский антициклон был интенсивен. Значительный рост температуры воды отмечался при ослаблении влияния на эти районы ОА, что хорошо видно на рисунках 4 (в, г), на которых показан внутригодовой ход аномалий температуры воды в 1978 и 2014 гг.

На рисунке 5 представлен возможный механизм формирования отрицательных аномалий температуры воды и воздуха в районе о. Хоккайдо и ЮКР в июне 1983 года.

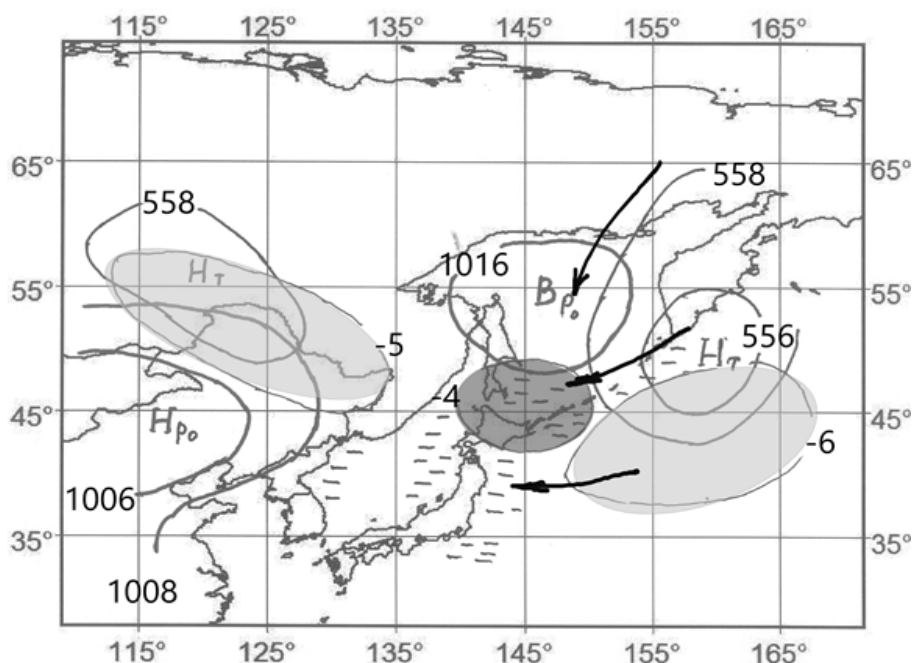


Рис. 5. Характерная структура приземного поля ( $P_0$ ) и геопотенциала ( $H_{500}$ ), положение экстремальных областей геопотенциала ( $H_{500}$ ) и приземной температуры воздуха ( $T_a$ ) в июне 1983 года. Условные обозначения:  $HP_0$  – центр дальневосточной депрессии,  $H_T$  – центр тропосферной депрессии,  $BP_0$  – центр приземного охотского антициклона. Черным цветом выделена область с экстремально низкой температурой воздуха у земли, серым цветом обозначены области низких аномалий  $H_{500}$ , штриховкой выделены области с отрицательными значениями поверхностной температуры воды, стрелкой показано направление холодных воздушных масс у земли и на изобарической поверхности  $AT_{500}$ .

Рис. 5 позволяет представить механизм воздействия охотского антициклона на термический режим вод Курило-Хоккайдского региона в июне. На этом рисунке также видно, что климатические экстремумы имеют локальный характер, что может быть одной из причин низкой корреляции между региональными индексами и температурой воды [2].

В области локализации холодных воздушных масс наблюдается резкое понижение температуры воды (Рис. 4 а).

### Литература

1. Каев А.М. Снижение численности горбуши (*oncorhynchus gorbuscha*) в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды //Иzv. ТИНРО. 2018– том.192. - С. 3-14.
2. Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Межгодовая изменчивость центров действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом и ее оценка уточненными методами математической статистики//Тезисы всероссийской конференции «Гидрометеорология и Экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития» 19-20 декабря 2017 г. - Санкт-Петербург, 2017, С. 491-494.
3. Шатилина Т.А., Кравченко Р.Б. Результаты классификации временного ряда температуры воды в Южно-Курильском районе и связь с региональными атмосферными индексами //Иzv. ТИНРО. – 2013. – Т. 172. - С. 208-223.

## ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЗОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТЕОДАНЫХ

И.Б. Шейкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## INTEGRAL CRITERIA FOR THE ESTIMATION OF THE SEASONAL CHARACTERISTICS OF METEODATA

I.B. Sheykin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Сезонный характер изменчивости параметров является типичным для гидрометеорологических измерений (температура воздуха, ветер, течения, осадки и др.). Для определения сезонов обычно используют пороговые критерии. Однако использование стандартных критериев для оценки сезонных характеристик в полярных районах бывает затруднительным из-за неустойчивости перехода пороговых значений. В этом случае хорошие результаты дают интегральные критерии. Дело в том, что работа с интегральными (кумулятивными) образами метеоданных сводит задачу поиска пороговых значений к стандартным алгоритмам определения локальных экстремумов временных рядов. Такие решения являются объективными и в большинстве случаев однозначными. Преимущество интегральных критериев и оценок демонстрируется на примере анализа метеоданных дрейфующей станции СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-2015 и добывающей платформы на шельфе о. Сахалин.*

*Seasonal variations are typical for meteodata. Usually, different threshold criteria are used to estimate seasonal parameters. However, the application of these methods in the polar region is difficult due to the instability in the transitions threshold values. In such conditions integral criteria work well. Thus, the problem of determining the threshold parameters is reduced to the problem of finding local extrema of integral transformations of meteodata. Such decisions are objective and in most cases unambiguous. The advantage of integral criteria and estimates is demonstrated by the analysis of meteodata of the drifting station "North Pole-2015" and the oil production platform on the shelf of Sakhalin Island.*

### **Описание метода анализа и некоторые результаты.**

Сезонный характер изменчивости параметров является типичным для гидрометеорологических измерений (температура воздуха, ветер, течения, осадки и др.).

Для определения сезонов обычно используют пороговые критерии. Так устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через пороговые значения 0°C и 15°C определяет границы зимы, лета и межсезонья. Различные стадии вегетации сельскохозяйственных культур связаны с пороговыми значениями температур (-5 °C, +5 °C, +10 °C). Прогноз дат перехода оказывает существенную помощь в планировании деятельности ряда отраслей экономики. Даты смены сезонов, их продолжительность, а также усредненные амплитуды являются сезонными характеристиками метеоданных. Особенность сезонных характеристик состоит в том, что они свободны от ошибок, связанных с календарным летоисчислением, и вследствие этого дают более точные и надежные результаты для долгосрочных прогнозов и оценки климатических трендов. Аналогичные пороговые критерии могут быть использованы также для определения сезонов дождей, ветров, течений и др.

Однако использование стандартных критериев для оценки сезонных характеристик иногда бывает затруднительным из-за неустойчивости перехода пороговых значений. Такие трудности возникают, например, в арктических условиях, где период положительных температур является очень коротким и неустойчивым. В этом случае хорошие результаты для оценки сезонных характеристик метеорологических рядов дают интегральные критерии. Дело в том, что работа с интегральными (кумулятивными) образами метеоданных сводит задачу поиска пороговых значений к стандартным алгоритмам определения локальных экстремумов временных рядов. Такие решения являются объективными и в большинстве случаев однозначными. Отметим, что при интегрировании отношение сигнал-шум возрастает, что улучшает качество графического представления данных и повышает точность оценок тенденций и трендов. Элементы интегрального представления рядов температуры воздуха в виде градусо-дней мороза давно использовались в инженерной практике для расчета и прогноза средней толщины льда [1,2].

Кумулятивный анализ метеоданных применялся также для исследования длиннопериодных флуктуаций и трендов [3].

Интегральная температура воздуха рассчитывалась на основе исходных данных путем вычисления средних значений по измерениям за сутки и их последовательного суммирования.

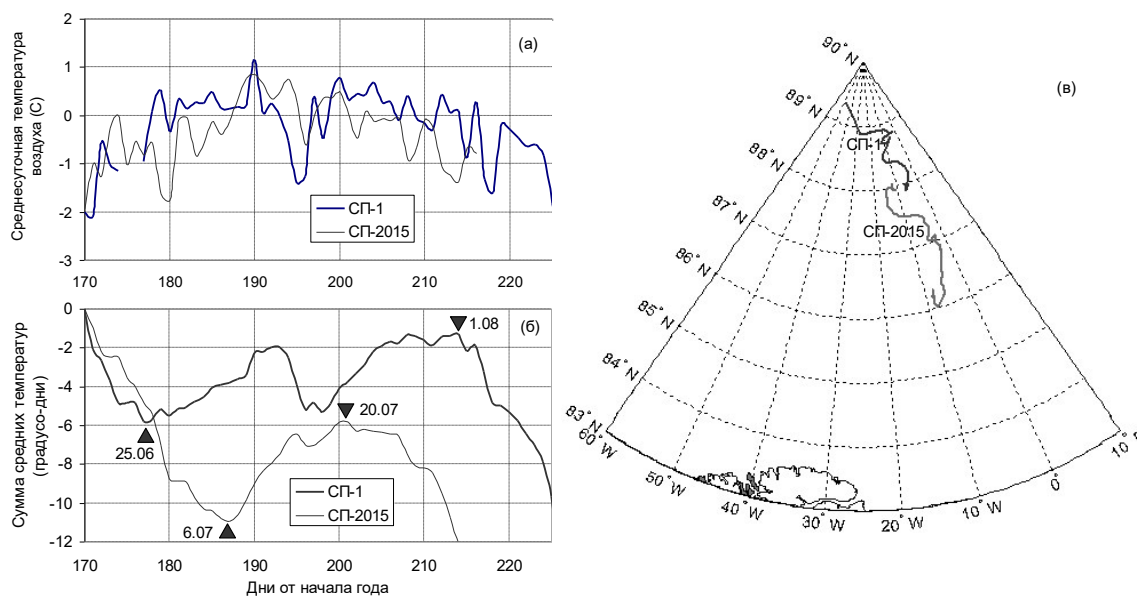


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха по метеоданным дрейфующих станций СП-1 и СП-2015 (а), интегральные кривые и их экстремумы (б), траектории дрейфа станций (в)

Пример расчета представлен на рис. 1, где показаны исходные данные метеоизмерений в летний период на дрейфующих станциях СП-1 (1937 г) и СП-2015 (а), соответствующие интегральные температуры (б) и траектории дрейфа (в). Точка перехода средней температуры воздуха в область положительных значений определяется как локальный экстремум с минимальной интегральной температурой, а точка обратного перехода – как локальный экстремум с максимальной интегральной температурой. Эти точки на рисунке обозначены маркерами. Таким образом, сезон положительных температур характеризуется возрастанием интегральной температуры от минимальных до максимальных значений. Отметим, что интегральный критерий определения сезонных характеристик надежно работает в самых неблагоприятных условиях, когда сумма положительных температур минимальна и составляет около 5 градусо-дней, а общее количество переходов через ноль для СП-1 - около 20. По результатам измерений продолжительность летнего периода в районе СП-1 составляет 37 суток, что значительно больше, чем в районе СП-2015, которая находилась к тому же примерно в 100 милях южнее относительно СП-1. Очевидно, что полученные оценки не согласуются с климатическими тенденциями последних десятилетий.

Для выяснения причин такого разногласия был выполнен анализ данных ледового масс-баланс (ЛМБ) буя, установленного на ледяном поле СП-2015 специалистами из США по программе NPEO (North Pole Invironmental Observatory, USA). В состав ЛМБ буя входит датчик температуры воздуха на высоте около 2м над поверхностью льда, данные которого и были использованы для сравнения. Измерительный полигон NPEO располагался примерно в 600 м от метеоплощадки СП-2015. На рис.2 представлены исходные данные температуры воздуха на метеоплощадке СП-2015 и на полигоне NPEO (а), соответствующие интегральные температуры (б) и схема расположения измерительных площадок (в). Анализ показал, что имеет место значительное различие сезонных характеристик как по интенсивности, так и по продолжительности. Это можно видеть в таблице 1, где собраны основные сезонные характеристики по трем рядам данных. Так сумма градусо-дней тепла для ЛМБ буя в летний период составила около 22, что значительно больше, чем на метеоплощадке СП-2015.

Продолжительность сезона положительных температур составила 31 и 15 суток, соответственно. В среднем за сезон температура воздуха в районе NPEO примерно на 0,4 °С выше.

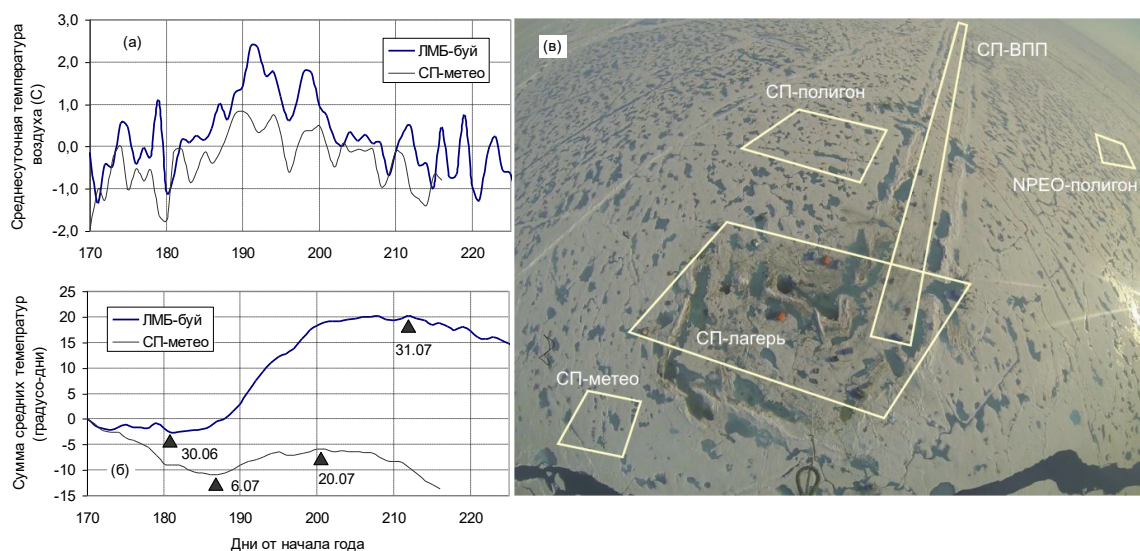


Рис. 2. Среднесуточная температура воздуха по метео данным дрейфующих станций СП-2015 и ЛМБ буй NPEO (а), интегральные кривые и их экстремумы (б), схема расположения лагеря, измерительных площадок и взлетно-посадочной полосы (ВПП) на ледяном поле СП (в)

Таблица 1. Сезонные характеристики для периода положительных температур

Источник данных	Сезонная сумма градусо-дней	Продолжительность сезона, сутки	Средне-сезонная температура, °С	Дата начала	Дата окончания
СП-1	5	37	0,14	25.06	01.08
СП-2015	5	15	0,33	06.07	20.07
ЛМБ буй	22	31	0,71	30.06	31.07

Такое различие сезонных характеристик может быть связано с влиянием развода на локальную циркуляцию воздушных масс в условиях вертикальной инверсии температуры, когда слои у поверхности льда прогреты меньше, чем сверху. Если в районе развода, где расположена метеоплощадка СП-2015, преобладают восходящие потоки, то в центральную часть ледяного поля поступает теплый воздух сверху. Таким образом, распределение температуры воздуха в приповерхностном слое ледяного покрова в летний период неоднородно, и это необходимо учитывать при анализе межгодовой изменчивости и трендов.

Для повышения точности оценок климатических тенденций возможно использование многоточечных измерительных систем, когда на ледяном поле в разных местах устанавливаются несколько датчиков, а результаты измерений усредняются. Использование односточечных измерений для оценки изменчивости сезонных характеристик затруднительно, и это относится как к измерениям на метеоплощадке СП, так и к автоматическим станциям NPEO. Из таблицы 1 видно, что большинство сезонных характеристик имеют большой разброс и не дают удовлетворительных трендов. Исключение составляет средне-сезонная температура воздуха, которая имеет тенденцию к повышению от 0,14 °С в 1937 году до 0,53 °С (в среднем) в 2015 году, что согласуется с климатическими тенденциями последних десятилетий.

Пример расчета кумулятивной температуры воздуха по данным измерений на добывающей платформе МОЛИКПАК представлен на рис. 3, где показаны также оценки средних за сутки значений температуры. Сезонная цикличность является доминантой обоих рядов, однако во втором случае она маскируется флуктуациями, интенсивность которых достигает 50% динамического диапазона. Для кумулятивной температуры флуктуации составляют не более



процента, что позволяет сделать достаточно точные графические оценки межсезонной и межгодовой изменчивости, а также получить оценки многолетних тенденций.

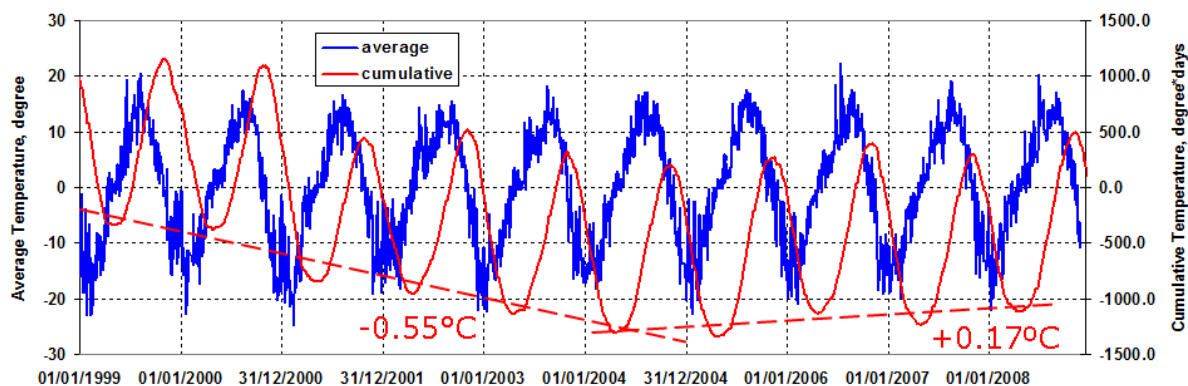


Рис. 3. Среднесуточная и кумулятивная температура воздуха по метеоданным добывающей платформы МОЛИКПАК (шельф о. Сахалин)

В частности, на рис. 3 видно изменение тенденции кумулятивной температуры с отрицательной на положительную в 2004 году, что соответствует увеличению среднегодовой температуры воздуха примерно на один градус от  $-0.55^{\circ}\text{C}$  до  $+0.17^{\circ}\text{C}$ . Приведенный пример демонстрирует возможности использования кумулятивной температуры для оценки долгопериодных составляющих изменчивости временных рядов и показывает простоту физической интерпретации и наглядность этой характеристики.

#### Основные выводы.

- Интегральные критерии и оценки сезонных характеристик хорошо работают и дают удовлетворительные результаты во всех климатических зонах.
- Сезонные характеристики, основанные на однократных измерениях в условиях дрейфующего льда, не позволяют получить оценки трендов и тенденций из-за большой пространственной неоднородности. Наилучшие результаты для оценки температурных трендов дает такая характеристика, как средне-сезонная температура.
- интегральные характеристики и критерии дают наглядный результат при оценке долгопериодных составляющих изменчивости временных рядов.

#### Литература

1. Stefan J, Uber die theorie des Eisbildung, unbesondere uber die Eisbildung in Polarmeere. Ann. Phys. Chem. (Widermann's), 3-rd Series (42), p.269-386.
2. Зубов Н.Н. Льды Арктики. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 360 с.
3. Трусков П.А., Шейкин И.Б., Писчальник В.М. Кумулятивный анализ метеорологических рядов для оценки и прогноза ледовых условий и изменений климата (по данным НДП МОЛИКПАК за 1999-2009 гг.). – Труды 9-й международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа российской Арктики (RAO/CIS Offshore 2009. 15-18 сентября 2009 года Санкт-Петербург – СПб.; ХИМИЗДАТ, 2009. –Т.1 - 324с.

## ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЫБОРОЧНЫХ ОЦЕНОК ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ НАБЛЮДЕНИЙ

В.А. Шелутко<sup>1</sup>, Е.С. Урусова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## THE APPLICATION OF THE METHOD OF STATISTICAL TESTS (THE MONTE CARLO METHOD) FOR ESTIMATING THE ERRORS OF SAMPLE ESTIMATES OF NUMERICAL CHARACTERISTICS FROM THE TIME SERIES OF OBSERVATIONS

V.A. Shelutko<sup>1</sup>, E.S. Urusova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St.Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются вопросы применения метода Монте-Карло для оценки погрешностей расчетов числовых характеристик стока по имеющимся рядам наблюдений. В результате показывается, что принятый алгоритм использования метода Монте-Карло, послуживший основой официальных рекомендаций по расчету числовых характеристик стока, приводит к значительному преувеличению отрицательного смещения числовых характеристик рассеивания. В связи с этим делается вывод о необходимости существенного уточнения этих рекомендаций.*

*The application of the Monte Carlo method for estimating the errors in calculating the numerical characteristics of runoff by available series of observations is considered. As a result, it is shown that the adopted algorithm for using the Monte Carlo method, which served as the basis for official recommendations for calculating the numerical characteristics of the runoff, leads to a significant exaggeration of the negative displacement of the numerical characteristics of scattering. In this regard, it is concluded that there is a need for a substantial refinement of these recommendations.*

С конца шестидесятих годов прошлого века, широкое распространение для оценки погрешностей выборочных оценок получил метод Монте-Карло. Именно на его основе были разработаны рекомендации по оценке случайных погрешностей и смещенности оценок числовых характеристик, получившие широкое признание в России и достаточно полное отражение в руководящих документах по расчету числовых характеристик стока [1,2].

Вместе с тем при реализации этих алгоритмов возник ряд вопросов, пока еще недостаточно освещенных в литературе.

Первый вопрос связан с тем, что для моделирования методом статистических испытаний использовались таблицы, например, таблица нормированных ординат биномиальной кривой обеспеченности, Пирсона III-го типа. При этом значения ординат в таблицах задавались для обеспеченностей в пределах от 0,01 до 99,9 %. Отсюда, при большом количестве испытаний возникает проблема экстраполяции за пределы данных приведенных в таблицах.

Второй вопрос связан с тем, что в некоторых случаях по кривым обеспеченности Пирсона III-го типа, построенным по временным рядам годового стока, получаются отрицательные значения, что противоречит физической сущности речного стока [3]. Появляются отрицательные значения и при розыгрыше рядов годового стока методом статистических испытаний на основе закона распределения Пирсона III-го типа [4]. Причина появления отрицательных значений, по нашему мнению, изучена недостаточно.

Третий вопрос. Для того чтобы исключить появление отрицательных значений авторы руководящих документов [1, 2] использовали при моделировании рядов стока метод нормализации и линеаризации связей Г.А. Алексеева [5]. При этом не учитывался сглаживающий эффект этого метода [6], что могло привести к увеличению отрицательного смещения характеристик рассеивания. Влияние применения этого метода на конечные результаты моделирования, вообще говоря, не исследовалось.

Четвертый вопрос. Моделирование исходных рядов методом Монте-Карло производилось по теоретическим кривым обеспеченности. При этом, каких либо исследований по вопросу влияния

учета разброса точек эмпирических кривых обеспеченности точек относительно теоретических кривых на конечный результат моделирования не проводилось.

В докладе подробно рассмотрены поставленные вопросы и в результате получены следующие основные выводы:

1. Принятые методики моделирования рядов стока, основанные на использовании одномерных законов распределения случайной величины, могут с достаточной обоснованностью применяться только при отсутствии внутрирядной связи или в крайнем случае, когда коэффициент корреляции связи смежных значений меньше 0,3.

2. Применение при моделировании рядов стока методом Монте-Карло метода нормализации и линеаризации связей Алексеева приводит к неоправданному увеличению отрицательного смещения числовых характеристик рассеивания.

3. Моделирование рядов стока методом Монте-Карло по методике, принятой при разработке руководящих документов по расчету числовых характеристик [1, 2], не учитывает разброс эмпирических точек относительно теоретической кривой обеспеченности. Это неизбежно приводит к занижению (отрицательному смещению) числовых характеристик рассеивания на 10 % и более.

4. Современные рекомендации по учету отрицательного смещения числовых характеристик рассеивания [1, 2], основанные на применении метода Монте-Карло, не учитывали сглаживающего влияния метода линеаризации и нормализации связей, а также разброс значений эмпирической кривой обеспеченности относительно теоретической кривой обеспеченности. Это привело к значительному уменьшению числовых характеристик рассеивания и преувеличению рекомендуемых значений отрицательного смещения.

5. Таким образом, рекомендации по оценке погрешностей расчетных гидрологических характеристик на основе метода Монте-Карло, представленные в руководящих документах [1, 2], нуждаются в существенной доработке.

#### **Литература**

1. СНиП 2.01.14-83 Определение расчётных гидрологических характеристик – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
2. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик – М. Госстрой России, 2004.
3. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: 1968. – 539 с.
4. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик – Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
5. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей – Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
6. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 238 с.

## ФОНОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

К.В. Шеманаев<sup>1</sup>, В.А. Кузьмин<sup>1,2</sup>, д-р. техн. наук, Е.С. Бородин<sup>1,2</sup>, М.А. Мамаева<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## BACKGROUND RIVER RUNOFF FORECASTING AS A KEY ELEMENT OF WATER RESOURCES MANAGEMENT SYSTEMS

K.V. Shemanaev<sup>1</sup>, V.A. Kuzmin<sup>1,2</sup>, Dr. Sc., E.S. Borodin<sup>1,2</sup>, M.A. Mamaeva<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Фоновое прогнозирование речного стока - это качественное прогнозирование уровня опасности гидрологических явлений, осуществляемое в рутинном режиме для сравнительно крупных территорий, позволяющее оптимизировать использование имеющихся информационных, вычислительных, человеческих и иных ресурсов. При обнаружении возможного повышения уровня опасности гидрологического явления происходит перераспределение этих ресурсов (из зон с пониженным уровнем риска в зоны с повышенным уровнем риска), что, в свою очередь, позволяет повысить эффективность систем управления водными ресурсами и снизить уязвимость экономики и населения РФ по отношению к опасным гидрологическим явлениям.*

*Background forecasting of river run-off is a qualitative prediction of level of danger of hydrological hazards, carried out routinely for relatively large areas. It allows to optimize the use of available information, computing, human and other resources. When possible increase in level of danger of hydrological phenomenon is detected, these resources are redistributed (from zones of reduced risk level to zones of increased risk level). This makes it possible to increase the effectiveness of water management systems and reduce vulnerability of the economy and population of the Russian Federation to hydrological hazards.*

В Российской Федерации протекает более 2,5 миллионов водотоков, более 80% из которых относятся к неизученным и малоизученным в гидрометеорологическом отношении. На водосборах таких водотоков крайне мало или вообще нет постов и станций метеорологического и гидрологического наблюдения, что делает прогнозирование паводкового стока на таких водных объектах практически невозможным.

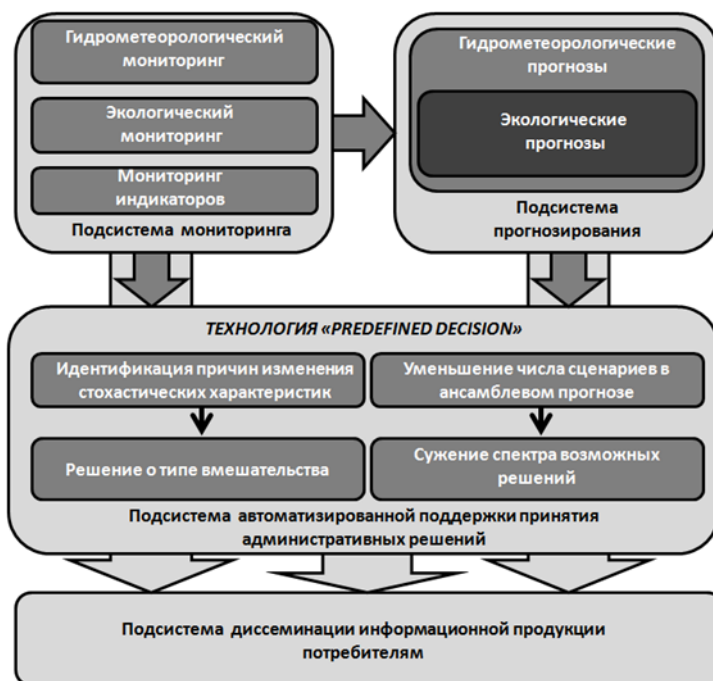
Своевременное автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических явлений является одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед международным гидрологическим сообществом. Главенствующей стратегией развития является автоматизация систем как фонового (т. е. приближенного, качественного), так и уточненного прогнозирования стока. Также, идет тенденция к созданию автоматических интеллектуальных систем управления принятия решений, в которых предполагается интеграция гидрометеорологических блоков, ответственных за предупреждение опасных гидрологических явлений.

Отдельное место в системах помощи принятия решений занимает фоновое прогнозирование стока. Оно дает возможность давать в виде прогноза качественную оценку для принятия решения. Это позволяет осуществлять прогноз при меньшем количестве входных данных на малоизученных в гидрологическом смысле водосборах. А при необходимости получения конкретных значений, можно переходить к уточненному прогнозу. Такое двухуровневое моделирование позволяет оптимизировать сам процесс прикладного прогнозирования стока.

Для принятия решений по предупреждению или снижению ущерба от ожидаемых опасных гидрометеорологических явлений можно использовать несколько стратегий, наиболее популярных в мире. Некоторые из них подразумевают использование детерминистических прогнозов, выпускаемых в виде некоего однозначного сценария развития рассматриваемого опасного явления, в то время как другие изначально учитывают их стохастическую природу и базируются на использовании вероятностных прогнозов, выпускаемых либо в виде возможных ансамблей опасных явлений, либо в виде эволюции распределения их вероятности, либо, в простейшем случае, в виде только их граничных и средних (или модальных) сценариев. Ансамблевые прогнозы являются наиболее предпочтительными, поскольку для их выпуска не

требуется какое-либо специальное программное обеспечение, при этом они весьма эффективно отражают возможные источники неопределённости прогноза.

Необходимо заметить, что нами широко использован теоретический задел, технологии «Predefined Decision», которая заключается в предварительном моделировании возможных сценариев, определении возможных решений для каждого из них, составлении первичных кластеров матрицы возможных решений, методичном объединении кластеров, соответствующих одинаковым решениям.



При возникновении риска формирования опасного гидрологического явления выполняется прогнозирование параметров кластера, для которого уже существует готовое решение, либо принятое экспертами в спокойной обстановке, либо сгенерированное автоматически и затем прошедшее процедуру экспертной валидации.

Заметим, что принятие решений экспертами или руководителями целесообразно при сравнительно небольшом количестве учитываемых факторов, определяющих размерность массива кластеров. При его большой размерности рекомендуется автоматизированное генерирование решений, минимизирующее возможное негативное влияние «человеческого фактора».

Основными элементами метода автоматизированной поддержки решений по предупреждению ОГЯ в крупных речных системах, недостаточно освещённых гидрометеорологическими наблюдениями являются: построение массива кластеров решений; примеры определения решений; объединение первичных кластеров во вторичные; определение окончательного решения.

При наличии большего объёма информации, геоинформационного программного обеспечения и достаточных вычислительных ресурсов массив кластеров строится в следующем порядке:

- при помощи ГИС-технологий определяются пороговые значения уровня воды, соответствующие началу затопления отдельных населенных пунктов, предприятий и объектов инфраструктуры;
- определяется численность населения и стоимость материальных ценностей в каждой  $i$ -той полосе между пороговыми значениями уровня воды;
- определяются ресурсы, необходимые для эвакуации из каждой  $i$ -той полосы между пороговыми значениями уровня воды населения и материальных ценностей, а также стоимость эвакуационных процедур;
- исходя из соотношения имеющихся ресурсов и ценностей, подвергшихся риску затопления, рассчитываются сценарии применения этих ресурсов для случаев затопления только 1-ой

(ближайшей к реке) полосы, только 1-ой и 2-ой, с 1-ой по 3-ю и так далее вплоть до полного затопления рассматриваемой территории.

В результате получаем полный комплект возможных решений, заранее определенных для вторичных кластеров, границы между которыми соответствуют пороговым значениям уровня воды. Нетрудно заметить, что при любом количестве и качестве имеющейся информации целью является прогнозирование или оценивание – с той или иной степенью достоверности – ожидаемого уровня воды и его эволюции во времени и пространстве.

Порядок определения решений заполнения матрицы решений выполняется следующим образом.

Для каждого  $i$ -ого фактора-причины определяются нижняя и верхняя границы ( $X_{(i,inf)}$  и  $X_{(i,sup)}$ ). Затем полученный диапазон разбивается на отдельные интервалы (путём определения их границ – неких пороговых значений). Если определить точные значения нижней и верхней границы не представляется возможным, достаточно указать наибольшее и наименьшее пороговые значения, а области слева от наименьшего и справа от наибольшего задать при помощи символов «меньше» и «больше», соответственно. Пороговые значения могут быть заданы на основе рекомендаций или требований нормативной литературы или на основе экспертных оценок. В некоторых случаях они задаются естественным образом. Например, если принимается решение об эвакуации персонала, то пороговые значения будут соответствовать пассажироместимости целого числа имеющихся транспортных средств. В результате выполнения этой процедуры получают первичные секторы (кластеры), каждому из которых соответствует то или иное административное решение.

Для снижения числа возможных решений необходимо выполнить объединение первичных кластеров (построенных с фиксированной дискретностью для каждого из факторов, влияющих на принятие решения) во вторичные, которые далее будут использованы для вынесения конкретного решения из их сравнительно ограниченного набора. Каждому из них соответствует одно и то же решение и которые соприкасаются гранями, можно объединять в группы; в этом случае объединённые однотипные первичные кластеры образуют вторичные (окончательные) кластеры решений, каждому из которых соответствует некое фиксированное решение (например, категория опасности, присваиваемая наводнению, или число транспортных средств – самосвалов с песком, катеров или вертолётов).

В случае, если единичный сценарий формирующегося наводнения, получаемый при детерминистическом прогнозировании, или же ансамбль сценариев, получаемый при вероятностном прогнозировании, проходит через 2 или более вторичных кластеров, можно определить интервалы возможных параметров потенциального решения. Например, уровень опасности – не ниже жёлтого, но и не выше оранжевого; число катеров для эвакуации населения и материальных ценностей – не менее 10, но и не более 18 и т.д. Разумеется, наибольший интерес представляют отметки затопления – уровень, который гарантированно будет превышен, и уровень, который гарантированно превышен не будет, поскольку у большинства спасательных служб мира есть собственные методики принятия решения, основанные исключительно на этих данных.

По мере приближения события, его неопределенность уменьшается, и в некоторый момент времени единичный сценарий или ансамбль сценариев начинают проходить через один и тот же вторичный кластер. В этот момент сужаются интервалы возможных параметров потенциального решения и, наконец, делается вывод и целесообразности вынесения соответствующего решения.

В данной статье представлен вновь разработанный метод автоматизированной поддержки решений по предупреждению опасных гидрологических явлений в крупных речных системах, недостаточно освещённых гидрометеорологическими наблюдениями, который может быть использован для любого крупного речного бассейна для фоновое прогнозирования стока. Рассмотрены источники и виды гидрометеорологической информации, используемой для принятия решений по предупреждению опасных гидрологических явлений, представлены порядок определения решений, принципы объединения первичных кластеров во вторичные и определение окончательного решения при снижении неопределенности имеющихся прогнозов рассматриваемого явления.

## **Литература**

1. Карлин Л.Н., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Шилов Д.В. Мониторинг и прогнозирование опасных гидрометеорологических явлений на основе комплексного использования данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений. СПб, СПб ВМИ, Сборник научных трудов СПб ВМИ, 2012, №2, стр. 17–27.
2. Дикинис А.В., Кузьмин В.А., Галкин И.А., Сурков А.Г., Шилов Д.В. Автоматизированная поддержка принятия решений на основе ансамблевых гидрометеорологических прогнозов. СПб, ОАО ГНИНГИ, Навигация и гидрография, 2012, № 34.
3. Илларионов А.В., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Галкин И.А., Шилов Д.В. Автоматизированное прогнозирование уровня режима водотоков у железнодорожных насыпей и мостовых переходов. СПб, СПб ВМИ, Сборник научных трудов СПб ВМИ, 2012, №3, стр. 11-24.
4. Кузьмин В.А., Сурков А.Г., Шеманаев К.В. Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // СПб. Ученые записки РГГМУ 2012 №22. – С. 28-38.
5. Кузьмин В.А., Гаврилов И.С., Ерёмина С.В., Шеманаев К.В. Оценивание влияния антропогенных и климатических изменений на формирование стока // Ученые записки РГГМУ 2013 №29. – С. 36-43.

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ

Е.Н. Шестакова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический 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<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>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 (БПК<sub>5</sub>) 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 ИЭРиЖУрО РАН (2001 год)
6	Щучья	д. Лаборовая (1965-2010)	экспедиционные данные ИЭРиЖУрО РАН (1978, 2001-2004)	экспедиционные данные ИЭРиЖУрО РАН (1978, 2001-2004)
7	Правая Хетта	пгт. Пангоды (1979-1993)	пгт. Пангоды (1980-2014)	-
8	Сось	пгт. Харп (1952-1910)	С. Картовож (1990-2014)	экспедиционные данные ИЭРиЖУрО 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	Индибирка	пос. Индигирский, Вороцново (1936-1992)	п. Индигирский (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.

## 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. 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 устьевого участка 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.

*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».*

*The study was carried out with financial support from St. Petersburg State University as part of the St. Petersburg State University research project (activity 1) “Urbanized ecosystems of the Arctic belt of the Russian Federation: dynamics, state and sustainable development” and the RFBR grant 18-05-60291 “Adaptation of the Arctic Limnosystems to Rapid Climate Change”.*

## УПРАВЛЕНИЕ ПЛАВАЮЩИМ МУСОРОМ В РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ С ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

М.Б. Шилин<sup>1</sup>, Ю.С. Васильев<sup>1</sup>, В.И. Масликов<sup>1</sup>, А.Н. Чусов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

## MANAGEMENT OF FLOATING LITTER IN RIVER SYSTEMS WITH WATER POWER STATIONS

M.B. Shilin<sup>1</sup>, Yu.S. Vasiljev<sup>1</sup>, V.I. Maslikov<sup>1</sup>, A.N. Chusov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Peter the Great Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*Обсуждается важность и актуальность проблемы управления потоками плавающего мусора в реках с гидроэлектростанциями. Оценивается роль гидроэлектростанций в управлении потоками плавающего мусора. Предлагается алгоритм управления мусорными потоками в зарегулированных речных системах с использованием потенциала гидроэлектростанций.*

*Discussed is the importance and urgency of the problem of litter flows' management in rivers with water power stations. The role of hydroelectric power stations in managing the flow of floating litter is discussed. An algorithm for managing litter flows in regulated river systems using the potential of hydroelectric power stations is proposed.*

В Российской Федерации большое количество отходов антропогенной деятельности различными путями поступает в водотоки (реки, каналы), образуя «плавающий мусор» (ПМ) [1,2]. При попадании в водоток ПМ может транспортироваться на десятки километров вниз по течению от места сброса, образуя скопления у естественных и / или искусственных преград, прежде всего – в верхних бьефах водохранилищ гидроэлектростанций (ГЭС). ПМ практически всегда присутствует в водохранилищах, начиная с момента их наполнения. Нередко его объём может достигать таких значений, что становится препятствием для эксплуатации ГЭС. В недавнем прошлом мусор в основном состоял из древесины и торфов затопленных лесов и болот. В настоящее время ПМ близок по составу и морфологии к твердым бытовым отходам (ТБО). Он состоит в основном из полиэтиленовых пакетов и посуды, пластиковых упаковок, автомобильных шин и их фрагментов, алюминиевых отходов, мертвых веток и стволов деревьев и органических отходов [3].

За последнее время проблема ПМ обострилась, так как резко возрос объём скапливающихся в водохранилищах плавающих бытовых отходов, в основном - выносимых речным стоком во время паводков и половодья. Эти отходы вызывают ухудшение качества водной среды, придают неприглядный вид водным объектам и затрудняют эксплуатацию ГЭС. Большая часть отходов, представленная лёгкими плавающими фракциями (в основном от изделий из пластика), скапливается в поверхностном слое воды толщиной 0,5 - 0,7 м. Тяжелые фракции («топляк») скапливаются в более глубоких слоях и оседают на дне. В результате практически вся толща воды перед плотиной оказывается засоренной.

Традиционные способы удаления плавающего бытового мусора оказались недостаточно эффективными. К началу XXI в. возникла необходимость разработки дорогостоящих специальных мероприятий по очистке водохранилищ путём создания новых типов боновых ограждений, устройств очистки сороудерживающих решёток, плавучих мусоросборщиков и т.п. Проводимые на водохранилищах мероприятия лишь частично решают проблему ПМ, так как предназначены только для обеспечения бесперебойной работы оборудования ГЭС. На сороудерживающих решётках извлекается относительно небольшой объём отходов. При этом дальнейшую утилизацию извлеченных из воды отходов оплачивает ГЭС, что увеличивает себестоимость выработки электроэнергии. Основной объём ПМ, скапливающегося у плотин, сбрасывается в нижний бьеф через водосливы и далее выносится в устья рек и морские акватории, что ухудшает экологическую ситуацию в прибрежно-морских экосистемах. Учитывая, что всё большее количество крупных, средних и малых рек регулируется водохранилищами ГЭС [1,2,4], целесообразно возложить на них дополнительную функцию защиты бьефов от ПМ. Для этого в зависимости от конкретных условий эксплуатации ГЭС необходимо разработать эффективные мероприятия по контролю мусорных потоков и удалению ПМ из водной среды.

На всей территории России в настоящее время эксплуатируется 99 крупных и сотни малых ГЭС. Количество населения, сконцентрированного в береговой зоне созданных водохранилищ, составляет миллионы человек. В процессе своей жизнедеятельности эти люди производят огромное количество мусора. Отходы попадают в воду в результате несанкционированного сброса или с прибрежных рекреационных зон.

На многих ГЭС перед водозаборами установлены сороудерживающие механизмы, основная задача которых - защитить оборудование, удерживая плавающие обломки и ПМ от попадания в турбину. Система сороудерживающих механизмов состоит непосредственно из самой решетки и компонентов её очистки и мониторинга.

Скапливание ПМ на относительно небольшом участке перед плотиной ГЭС упрощает процесс его сбора с поверхности воды различной спецтехникой. Масса выловленного мусора на различных ГЭС может варьироваться от десятков до сотен тонн мусора в год. Таким образом, ГЭС являются «мусорными фильтрами» рек, выполняя важную природоохранную функцию.

Для сбора ПМ с поверхности воды основным средством являются суда – мусоросборщики. Если применение спецсудов нерентабельно или невозможно, используются различные экскаваторы.

Для управления мусорными потоками в зарегулированных водотоках предложен алгоритм. В соответствии с этим алгоритмом, могут быть выделены следующие этапы организации процесса управления.

1. Определить конструктивные особенности ГЭС:

- длина/высота дамбы;
- наличие сороудерживающих механизмов;
- наличие дополнительных сооружений, таких как шлюзы или судоподъёмники.

2. Определить гидрологический режим водотока.

3. Определить количественный и качественный состав мусора поступающего в водоток.

4. Исходя из первых трёх пунктов, выбрать основные способы сбора мусора из водотока.

Например, в межень целесообразно проводить очистку водотока по всей глубине экскаваторами-амфибиями, в паводок - сбор мусора непосредственно у дамбы ГЭС и т.д.

5. Определить способ утилизации собранного мусора, исходя из особенностей расположения ГЭС:

- удалённость от полигонов ТБО;
- удалённость от мусороперерабатывающих предприятий;
- транспортная доступность.

В зависимости от особенностей расположения, возможны следующие способы утилизации собранного ПМ:

- организация вывоза мусора до полигона ТБО или мусороперерабатывающего предприятия;

- строительство мусороперерабатывающего предприятия или организация нового полигона ТБО в непосредственной близости от ГЭС.

Данный алгоритм необходимо использовать для составления документа (акта), регулирующего деятельность ГЭС по управлению мусорными потоками.

Необходимость составления данного документа обусловлена фактическим отсутствием в настоящее время документа, регламентирующего деятельность ГЭС в вопросах регулирования мусорных потоков.

Управление мусорными потоками - трудоёмкий и дорогостоящий процесс. На зарегулированных водотоках со значительным объемом мусорных потоков целесообразно строительство мусороперерабатывающих предприятий непосредственно вблизи ГЭС. Таким образом можно существенно снизить затраты на транспортировку собранного мусора, а также обеспечить дешевой электроэнергией мусороперерабатывающее предприятие.

Для решения проблемы мусорных потоков необходим комплексный подход, который бы устранил не только последствия, но и причины попадания мусора в водотоки. Важными компонентами комплексного подхода должна стать система экологического воспитания и пропаганды экологической культуры.

В рекреационных зонах необходимо устанавливать мусорные баки, организовать постоянный вывоз мусора из них; вести контроль чистоты прибрежных территорий; ввести штрафы за выброс мусора в неустановленных местах; организовывать акции по сбору мусора в зонах отдыха.

На ГЭС необходимо вести учёт всех поступающих к плотине компонентов ПМ. Учёт следует проводить в стандартизированной форме: распределение количества ПМ по месяцам, его морфологический состав в процентном соотношении и т.д.

На местном и федеральном уровне необходимо разработать соответствующее законодательство в отношении поступающего к плотине ПМ, регламентирующее его сбор и последующую утилизацию, учитывая то, что ГЭС, как было сказано ранее, являются своеобразными фильтрами отходов, не дающими им попасть в воды Мирового океана.

Одновременно необходимо совершенствовать технологии и вести новые разработки в области сбора и переработки ПМ.

### **Литература**

1. Васильев Ю.С., Добрынин С.Н., И Масликов В.И. Тихонова Т.С., Кудряшева И.Г. Экспертно-информационная система «Экологическая безопасность ГЭС» // Гидротехническое строительство. №3. 2000. С35-41.
2. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Масликов В.И. О повышении «экологической чистоты ГЭС» // Безопасность энергетических сооружений. Научно-технический и производственный сборник. Вып.6. АО НИИЭС. М. 2000. С.37-44.
3. Петров Н.А. Оценка образования полимерных отходов в России и пути его переработки. Полимерные материалы, №14, 2008. с. 4-7.
4. Федоров М.П., Чусов А.Н., Шилин М.Б., Голубев Д.А. Прикладная экология акваномов. - СПб: изд-во Политехнического ун-та, 2012: 254 с.

## РАСЧЕТЫ РЕЧНЫХ НАНОСОВ

М.В. Шмакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

## RIVER SEDIMENT CALCULATIONS

M.V. Shmakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia

*Перенос речным потоком твердого вещества (наносов) является определяющим в русловых процессах. При имеющемся многообразии формул расхода наносов качество расчетов по этим формулам очевидно недостаточное. В настоящей работе проводится сравнительный анализ результатов расчетов по некоторым формулам общего расхода наносов и расхода взвешенных и влекомых наносов.*

*The transfer of sediment by the river flow is crucial in channel processes. With the variety of sediment flow formulas available, the quality of calculations using these formulas is obviously insufficient. In this paper, a comparative analysis of the results of calculations for some formulas of the total sediment and the suspended and bed sediment.*

Изменения отметок дна водоемов и водотоков – процесс естественный, обусловленный взаимодействием движущихся водных масс и наносов, поступающих из вышерасположенных створов в результате размыва русла и с поверхности водосбора в результате почвенной эрозии.

Это взаимодействие является следствием неравновесности системы «водный поток – донные отложения – наносы», когда имеет место несоответствие переносимых потоком наносов и транспортирующей способности потока. Признаками неравновесной системы является изменение вклада кинетической энергии потока воды и движущихся наносов, а также потенциальной энергии донного и берегового грунта в общий энергетический баланс системы. В случае равенства между поступлением наносов и транспортирующей способностью потока русловая система находится в равновесии. В этом случае «русловые деформации сводятся к перемещению мелких аккумулятивных образований – донных гряд. В этом случае местные размывы уравниваются заилением» [1].

В неравновесной системе речной поток стремится минимизировать энергию движения, что приводит к переформированию как гидравлической структуры речного потока, соотношения жидкой и твердой фазы в нем, так и формы речного русла. Интенсивность этих переформирований зависит от степени несоответствия между расходом наносов и транспортирующей способностью потока. Однако характер переформирований связан с типом пород, которыми представлены дно и берега водотока.

Несомненно, что расчеты русловых деформаций неразрывно связаны с количественной оценкой расхода твердого вещества, переносимого речным потоком. На заре исследований процессов перемещения твердого материала в водотоках было принято разделение общего расхода наносов на влекомую и взвешенную составляющие. Однако, очевидно, как из анализа физики процесса неустановившегося неравномерного двухфазного массопереноса, так и из данных почти вековых наблюдений за речными потоками, что в зависимости от характера движения, фазы его неустановившегося режима деление наносов по признаку взвешенные и влекомые крайне условный. В современной литературе многократно рассматривались вопросы условий перехода из одного состояния в другое. «Перемещение наносов не является процессом непрерывным, частицы временами выпадают на дно потока, а затем взвешиваются вновь и переносятся далее. Процесс постоянно наблюдающегося взвешивания и осаждения наносов определяет процесс деформации русла» [1]. «По участию в формировании речного русла наносы, перемещаемые потоком, условно делятся на руслоформирующие (русловые) и транзитные (нерусловые). ...Взвешенные наносы перемещаются во взвешенном состоянии в слое, толщина которого соизмерима с глубиной потока или равна ей, и могут быть как руслоформирующими, так и транзитными» [5]. «Влекомые наносы всегда входят в состав руслообразующих; доля взвешенных наносов в нем очень изменчива...» [6].

При этом, в математическом моделировании двухфазного потока вычисление отдельно расходов взвешенных и влекомых наносов полностью противоречит физике процесса. С одной

стороны, все переменные состояния потока связаны между собой, и рассчитывать гидравлические характеристики потока (глубину и скорость) без учета взвешенной нагрузки некорректно. С другой стороны, отдельный невзаимосвязанный расчет расхода влекомого и взвешенного наносов также не соответствует единому физическому закону движения твердого вещества в водном потоке. Очевидно, что представление одного и того же физического закона в математической модели разными эмпирическими формулами для взвешенной и для влекомого формы перемещения наносов ошибочны.

При достаточно большом количестве формул расходов влекомого наносов, формулы общего расхода наносов и расхода взвешенных наносов не так распространены. Однако, при часто эмпирической природе формул расходов взвешенных и влекомого наносов, формулы общего расхода наносов нередко более физически обоснованы.

В настоящей работе проводится сравнительный анализ результатов расчетов по некоторым формулам общего расхода наносов и расхода взвешенных и влекомого наносов с использованием данных наблюдений за расходами взвешенных и влекомого наносов на водотоках с различными гидравлическими характеристиками.

#### **Общий расход наносов.**

Общий расход наносов является функцией гидравлических характеристик потока – средней скорости потока, глубины, расхода воды, уклона, размера, гидравлической крупности и плотности частиц, а также касательного напряжения на твердой границе потока.

В качестве расчетного материала использовались данные наблюдений на 15 гидрометрических створах, расположенных на американских реках штатов Аляска, Айдахо, Колорадо, Вашингтон и Висконсин [8].

Среднее относительное отклонение по всем исследуемым водотокам составило 55% (аналитическая формула расхода наносов [7]), 64% (формула Карима-Кеннеди), 64% (формула Бэгнольда) и 72% (формула Энгелунда-Хансена). Формулы общего расхода наносов Янга, Молинаса и Ву, Карасева и Гончарова показали плохие результаты (превышение над наблюдаемыми расходами наносов составило более 1000%, также имели место отрицательные значения)

#### **Расход влекомого наносов.**

Как известно, оценка расхода влекомого наносов естественных водотоков является одной из наиболее сложных гидравлических задач. К сожалению, приходится констатировать, что в последнее время активность в развитии новых подходов к решению данной проблемы является недостаточной. При этом, основное затруднение заключается в отсутствии надежной верификации предлагаемых расчетных формул по данным натурных наблюдений.

Формулы расхода влекомого наносов могут быть ориентированы как на непосредственно движение отдельных частиц влекомого наносов, так и на грядовую форму движения наносов. Формулы, описывающие грядовую форму движения наносов, учитывают геометрические характеристики гряд – длину, высоту и так далее, и могут использоваться для рек с песчаным дном. Такие формулы обеспечены относительно достоверными данными наблюдений за расходами наносов, что позволяет оптимизировать как структуру формулы, так и ее параметры.

Наибольшую сложность в измерении расхода наносов представляют влекомые наносы в реках с галечно-гравийным дном. Это, соответственно, затрудняет апробацию формул расхода влекомого наносов и оптимизацию структуры и параметров этих формул.

В связи с этим особенную ценность представляют данные наблюдений за влекомыми наносами на водотоках, произведенные в рамках уникальных авторских исследований твердого стока. К такому исследованию относятся наблюдения за режимом горной реки Ала-арча и измерение ее гидравлических характеристик, проведенные в середине 80-х годов прошлого столетия [4]. Данные, полученные в результате этого исследования можно использовать для верификации соответствующих формул для вычисления расходов влекомого наносов.

Вычисления расхода влекомого наносов проводились для данных экспериментов на гидравлическом лотке [2] и для горной реки Ала-арча, расположенной в Киргизском Алатау (Тянь-Шань) [4].

В таблице 1 приведены результаты расчета по некоторым формулам расхода влекомого наносов и по аналитической формуле расхода наносов [7]. Для горных потоков в условиях, когда



основную часть стока наносов представляют влекомые, эта формула может быть использована для расчета расхода влекомых наносов.

В расчетах были задействованы формулы расхода влекомых наносов А. Шоклича, Г.И.Шамова, И.В. Егизарова, К.В.Гришанина, В.Н.Гончарова, И.И. Леви, формула, рекомендованная ВСН-83 (для рек с  $I > 0.01$ ) и аналитическая формула расхода наносов. Приемлемые средние относительные отклонения между рассчитанными и наблюдаемыми расходами влекомых наносов показали: формула А.Шоклича (по данным экспериментам на лотках) – 49%; формула, рекомендованная ВСН-83; аналитическая формула расхода наносов – 32% (по данным экспериментам на лотках) и 42% (р. Ала-арча).

Расчеты по прочим формулам показали большие отклонения и в ряде случаев имели место отрицательные значения.

#### **Расход взвешенных наносов.**

Разработка формул расхода взвешенных наносов, к сожалению, почти не нашла своего места в практике гидравлических расчетов. При этом большое внимание в исследовании взвешенных наносов отечественными учеными уделялось распределению мутности по вертикали и по длине реки. Также проводились большие исследования уже другого масштаба осреднения по анализу обобщенных материалов пространственно-временного распределения мутности (А.В. Караушев, Г.И. Шамов).

А в качестве формулы расхода взвешенных наносов в нормативах и прикладных трудах предлагаются формулы расчета транспортирующей способности потока. В учебной же и научной литературе для расчета расхода взвешенных наносов представлено уравнение распространения примеси, основанное на диффузионной теории движения наносов (Дж. Тейлор, В. Шмидт, В.М. Маккавеев, А.В. Караушев). Однако, ни в первом случае (формулы транспортирующей способности потока), ни во втором (уравнение распространения примеси) задача расчета концентрации взвешенного вещества в потоке в окончательном виде не решена. Очевидно, что взвесенесущая нагрузка речного потока не всегда соответствует его транспортирующей способности. Также и уравнение распространения примеси, являющееся элементарным уравнением неразрывности при уже известной концентрации взвешенного вещества в потоке, оставляет вопрос оценки этой концентрации открытым. Некоторые попытки выводы формулы расчета расхода взвешенных наносов также прошлого века были также основаны на знании информации о концентрации взвешенных наносов в придонном слое  $s_0$  и фактически сводились к интегральному расчету эпюры концентрации взвешенных наносов  $s$ .

В целом, недостаточное внимание к проблеме разработки формул расхода взвешенных наносов вызывает недоумение. Поскольку в отличие от низкой точности измерения расхода влекомых наносов и, как следствие, наличие определенных сложностей с построением и верификацией соответствующих формул и калибровки параметров этих формул, точность измерения расхода взвешенных наносов достаточно высока, имеет уже весьма продолжительный период в инструментальном исследовании речных потоков и систематический характер.

Определенное пренебрежение вниманием к расчетным методам расхода взвешенных наносов можно объяснить тем, что ряд ученых полагал влияние на процессы переформирования дна (русловые процессы) исключительно влекомых наносов, тогда как взвешенные рассматриваются лишь в качестве транзитных. «Необходимость четкого разграничения взвешенных и донных наносов при морфологическом рассмотрении вопроса вытекает из того, что эти наносы играют различную роль в русловом процессе. Донные наносы формируют русло, и в деформациях, происходящих в самом русле, взвешенные наносы практически не участвуют» [3].

Однако, вопрос несомненного вклада взвешенных наносов в процессы формирования русла в настоящее время признан многими исследователями (см. выше).

В качестве объектов исследования было выбрано шесть североамериканских рек, результаты расчетов общего расхода наносов по которым уже приводились в настоящей работе. Эти реки характеризуются крайне незначительным вкладом расхода влекомых наносов в общий расход наносов. Этот вклад составляет от 0.3 до 9.5%, то есть находится в пределах точности измерения.

Среднее относительное отклонение по всем исследуемым водотокам составило 41% (аналитическая формула расхода наносов [7]), 51% (формула А.В. Караушева), 58% (формула Бэгнольда), 62% (формула Ван Рейна), 83% (формула Карима-Кеннеди), 97% (формула

Энгелунда-Хансена). Расчеты по формуле И.Ф. Карасева показали большие отклонения – превышение над наблюдаемыми расходами наносов для ряда водотоков составило более 1000%.

#### **Выводы.**

Основой успешного моделирования русловых деформаций является правильное понимание и соответствующая математическая интерпретация процессов, определяющих эти деформации. Одним из таких процессов, несомненно, является перенос речным потоком твердого вещества – наносов. При имеющемся многообразии формул расхода влекомых наносов, достаточном количестве формул общего расхода наносов и относительно небольшом наборе формул расхода взвешенных наносов качество расчетов по этим формулам является очевидно недостаточным. Определенный вклад в соответствие рассчитанных и наблюдаемых значений привносит также и точность измерения расхода взвешенных и влекомых наносов. Например, при очевидно более высокой точности измерения расхода взвешенных наносов, формулы, имеющие теоретическую основу, показывают значительно лучшие результаты, чем теоретические формулы при расчете расхода влекомых наносов. Также, как и в расчетах по формулам общего расхода наносов, в формулах расхода взвешенных наносов в 89% случаев разброс всех значений среднего относительного отклонения по водотокам не превышает 100%.

#### **Литература**

1. Караушев А. В. Проблемы динамики естественных водных потоков. Л.: Гидрометеиздат. 1960. 392 с.
2. Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов. СО 34.21.204 – 2005
3. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Том 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. Москва: URSS, 2011. 960 с.
4. <http://pubs.usgs.gov/of/1989/0067/report.pdf>
5. Шмакова М.В. Теория и практика математического моделирования речных потоков. СПб: Издательство Лема, 2013. 142 с.
6. Поздняков Ш.Р. Проблемы расчета и измерения характеристик наносов в водных объектах. СПб: Лема, 2012. 226 с.
7. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. СПб: Нестор-История, 2011. 544 с.
8. Кондратьев Н.Е. Русловые процессы рек и деформации берегов водохранилищ. С.-Петербург: Изд. «Знак», 2000. 258 с.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2018-0003 (№ гос. регистрации: № 01201363379) при частичном финансовом обеспечении за счет средств федерального бюджета.*

*The work was performed within the framework of the state assignment of the Institute of Scientific Education of the Russian Academy of Sciences on the subject No. 0154-2018-0003 (state registration number: No. 01201363379) with partial financial support from the federal budget.*

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

А.В. Штанников<sup>1</sup>, О.В. Муждаба<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## THE STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF THE HYDROLOGICAL NETWORK IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Shtannikov<sup>1</sup>, O.V. Muzhdaba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Рассматривается современное состояние, модернизация и проблемы государственной сети гидрологических наблюдений в Арктической зоне РФ. Обсуждаются возможные перспективы её восстановления и развития.*

*A current state, modernisation and problems of the state network of hydrological observations in the Arctic zone of the Russian Federation are considered in this paper. Possible perspectives for its reconstruction and development are discussed.*

Согласно действующему в системе Росгидромета положению [1], ААНИИ является головным по всем видам наблюдений в Арктике (кроме загрязнения) и осуществляет научно-методическое руководство сетью гидрометеорологических наблюдений на поверхностных водных объектах суши Арктической зоны РФ (АЗРФ). Сухопутные территории, отнесенные к Арктической зоне РФ, определяются в соответствии с Указами Президента РФ № 296 от 2 мая 2014 г. и № 287 от 27 июня 2017 г. «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» и занимают площадь чуть менее 4 млн. км<sup>2</sup>. При этом подчеркнём, что в современных границах АЗРФ расположено 20 устьевых областей больших и полизональных рек, рассматриваемых как самостоятельные географические и водные объекты. В настоящее время сеть гидрологических наблюдений в АЗРФ находится в ведении семи Управлений гидрометеорологической службы Росгидромета (УГМС) - Мурманского, Северо-Западного, Северного, Обь-Иртышского, Среднесибирского, Якутского и Чукотского. Ежегодно в ААНИИ поступают сведения о состоянии и работе гидрологической сети, а также проводятся научно-методические инспекции в Управлениях и сетевых подразделениях. На основе обобщения этих материалов выполнен анализ современного состояния действующих наблюдательных подразделений (НП) государственной сети гидрологических наблюдений в Арктической зоне РФ, сформулированы основные проблемы и даны рекомендации по ее восстановлению и развитию.

В 2018 году общее число пунктов наблюдений в АЗРФ (рис.1), на которых должны производиться гидрологические наблюдения составило 331 НП. Из них фактически работало только 234 станции и постов, что соответствует 70,7 % списочного состава сети (таблица 1).

Гидрологическая сеть в Арктической зоне, как и в целом по России, была наиболее развитой в 1980-х годах (рис.2а). С этого времени произошло резкое (на 47 % в целом) сокращение НП по всем водным объектам АЗРФ, в том числе: речных на 43 %, в устьевых областях рек на 48 %, морских на 61 %. Таким образом, количественный состав сети на 1 января 2018 года соответствует, примерно, уровню 40-х годов прошлого века. Кроме того приходится констатировать, что среди закрытых НП имеются станции и посты с периодами наблюдений более 100 лет, которые требуют особой защиты как национальное и мировое достояние.

Как следует из представленных в ААНИИ материалов о работе сети, критически мала плотность размещения сети на местных водосборах в границах Арктической зоны бассейнов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Берингова, полностью прекратились наблюдения на водосборе Чукотского моря.

Несмотря на значительные усилия большинства УГМС по сохранению работоспособности сети в АЗРФ, тенденция её сокращения в настоящее время сохраняется. Одновременно с этим продолжает сокращаться объём трудоёмких видов наблюдений и измерений, таких как за стоком воды и наносов. Только 83% НП, действующих по программестоковым постов,

фактически измеряют расходы воды. За последние пять лет в АЗРФ не было открыто ни одного нового гидрологического поста. Восстановление длительное время неработающей (законсервированной) сети проведено только в Ямало-Ненецком АО.

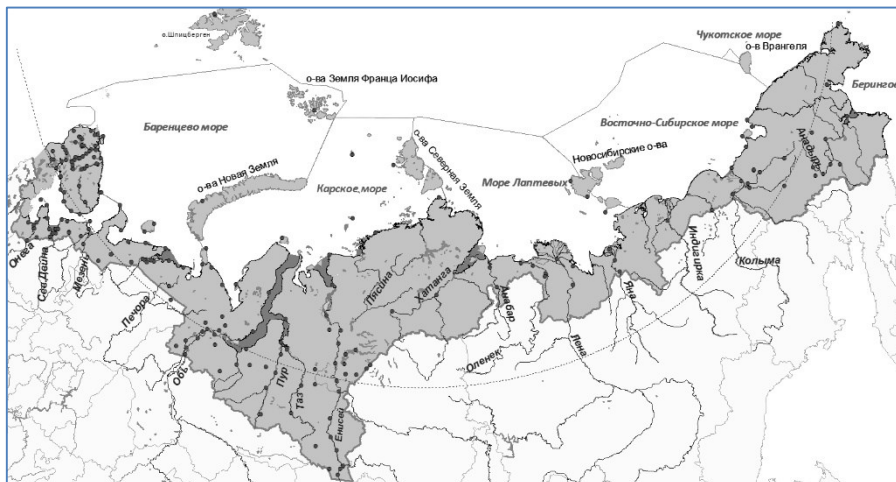


Рис.1. Действующая гидрологическая наблюдательная сеть Росгидромета в Арктической зоне РФ в 2018 г.

Таблица 1. Состав действующей гидрологической и гидрометеорологической сети Росгидромета, расположенной в Арктической зоне РФ по состоянию на 01.01.2018

Водосбор моря в границах АЗРФ	Действующие НП	Фактически работающие НП	Доля работающих НП, %	Труднодоступные	По видам наблюдений из фактически работающих						
					морские	устьевые*	речные	озерные	стоковые	наличие в 2017 г. ИРВ	наличие в 2017 г. ИРН
Баренцево	66	46	69.7	16	11	7	21	7	23	23	1
Белое	89	74	83.1	24	13	12	41	8	42	40	-
Карское	82	66	80.5	22	8	21	35	2	25	19	5
Лаптевых	27	20	74.1	13	4	12	4		9	6	2
Восточно-Сибирское	38	17	44.7	7	4	5	8		8	3	2
Чукотское	6	2	33.3	1	2	-	-	-	-	-	-
Берингово	23	9	39.1	3	1	1	7		2	-	-
<b>Всего</b>	<b>331</b>	<b>234</b>	<b>70.7</b>	<b>86</b>	<b>43</b>	<b>58</b>	<b>116</b>	<b>18</b>	<b>109</b>	<b>91</b>	<b>10</b>

\*Посты и станции, ведущие наблюдения на устьевых участках (ниже замыкающего створа реки) на устьевом взморье реки.

Сокращения: ИРВ – измеренные расходы воды; ИРН – измеренные расходы взвешенных наносов.

После ликвидации в 90-х годах Амдерминского, Диксонского и Тиксинского УГМС, целевое финансирование Росгидрометом государственной наблюдательной сети в Арктике прекратилось. Значительные финансовые и материальные вложения в восстановление программ работ и оборудования постов по Проектам Росгидромета не решают проблемы улучшения качества гидрологических наблюдений, поскольку практически не затрагивают труднодоступные районы АЗРФ. Особенно неблагоприятная обстановка сложилась в её азиатской части, где сеть наблюдений за стоком воды подверглась наибольшему разрушению. Плотность стоковой сети на этих территориях в 10 раз ниже, чем предусматривается нормами и рекомендациями ВМО (рис.26). Минимальная плотность стоковой гидрологической сети в

населённых районах должна быть на уровне – 1 пост на 2000 км<sup>2</sup>, в полярных районах – 1 пост на 20 000 км<sup>2</sup> [2].

В течение двух последних десятилетий дефицит квалифицированных кадров, недостаток плавучих средств и наземного транспорта приводит к срыву круглогодичных наблюдений за расходами воды на замыкающих створах крупных рек, впадающих в арктические моря. С середины 90-х годов нет измерений расходов воды на всех замыкающих створах больших рек бассейнов Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей. Для восстановления наблюдений за стоком на замыкающих створах таких рек как Енисей, Хатанга и Лена необходимо обеспечение судами, класс Регистра которых соответствует данным водным объектам. Только на замыкающих створах рек Северная Двина, Печора, Обь и Оленёк качество и количество наблюдений за стоком воды можно признать удовлетворительным.

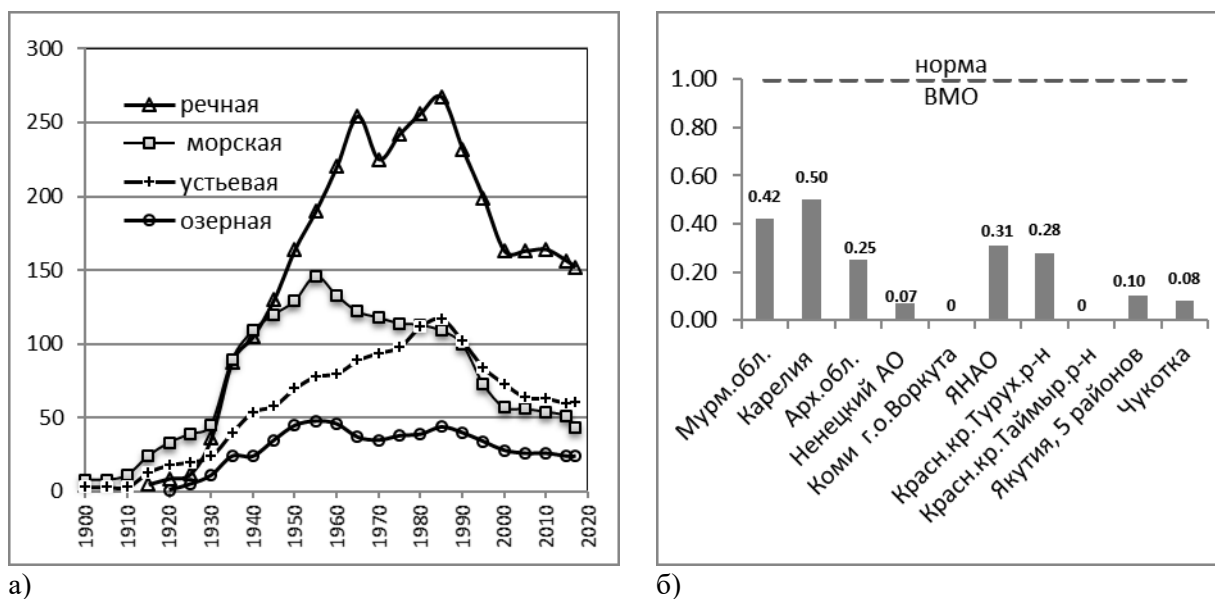


Рис. 2. а) Динамика численности гидрологической сети по типам водных объектов современных границ АЗРФ за период инструментальных наблюдений б) Плотность стоковой сети по арктическим регионам РФ, в единицах плотности по нормам ВМО

Полностью разрушена система специальных наблюдений на устьевой сети в Обско-Тазовской, Енисейской и Хатангской устьевых областях. Все гидрологические посты, расположенные на устьевых участках рек, в зоне переменного подпора со стороны моря, работают по программам речных постов и не оснащены самописцами уровня воды. При этом, на местных водосборах и акваториях устьевых областей идет активное освоение месторождений углеводородных и других сырьевых ресурсов. Это обуславливает необходимость развития системы гидрометеорологического обеспечения речной и морской навигации, исследований гидрологического режима рек для обеспечения водопользования и строительства гидротехнических сооружений, для формирования системы прогнозирования и предупреждения опасных явлений, а также обеспечения экологического мониторинга.

К минимуму сведены гидрологические наблюдения в устьевых областях рек Анабар, Яна, Индигирка, Колыма и Анадырь. Отсутствуют измерения взвешенных и влекомых наносов на устьевых барах Яны и Индигирки, в дельтах Оби и Енисея. Результаты этих наблюдений обязательны при анализе процессов дельтообразования и востребованы при проведении гидрографических работ в навигацию, особенно при обеспечении Северного завоза.

Рекомендуется обеспечить прибрежную сеть, в том числе на устьевых взморьях крупных рек новыми самописцами уровня моря, современными надежными приборами для наблюдений за соленостью и температурой воды. Предусмотреть установку автономных станций на морских границах крупных устьевых областей рек, и в первую очередь Северной Двины, Оби, Енисея, Хатанги и Анадыря.

В рамках модернизации в 2012-2017 годах на наблюдательную сеть было поставлено определенное количество современных приборов, оборудования, средств измерений и транспортных средств. Однако распределение мероприятий по модернизации НП сети, когда её центры управления находятся вне АЗРФ – в Архангельске, Омске, Красноярске и Якутске, происходит не в пользу арктической зоны. УГМС испытывают финансовыезатруднения с логистикой по доставке оборудования в труднодоступные районы АЗРФ, а также его установкой из-за отсутствия квалифицированных специалистов. При разработке нормативов на закупаемые транспортные и плавучие средства для сети АЗРФ следует учитывать специфику их использования в суровых климатических условиях на обширных акваториях. Необходимо оснастить труднодоступные станции резервными средствами для энергоснабжения и обеспечить современными рациями, поддерживающими сигнал в высоких широтах. Кроме того, решить проблемы ремонта и поверки средств измерений, возникающие из-за удаленности арктической сети в УГМС, путём создания обменного фонда приборов.

На протяжении последних десятилетий остаётся критической ситуация с кадровым составом и обеспечением квалифицированными специалистами труднодоступной гидрологической сети Арктической зоны. Отток квалифицированных и профессиональных кадров из регионов Крайнего Севера продолжается. Очаговый характер расположения населенных пунктов в Арктике и современные требования к программам и средствам наблюдений ограничивают возможность трудоустройства на сеть местного населения. Никакие инновации и автоматизация наблюдений не исправят положение с наблюдениями на сети и обработкой данных без специалистов соответствующих профессий, которые будут обеспечены достойной зарплатой в соответствии с их квалификацией и трудовым опытом. Приток молодых специалистов в службы Росгидромета сдерживается низкой заработной платой при высоком прожиточном минимуме, трудностями в обеспечении жильем и социальной незащищенностью – особенно в арктических подразделениях.

Из приведенных сведений можно заключить, что объём и качество наблюдений гидрологической сети на территории АЗРФ не соответствующим современным запросам хозяйствующих субъектов и международным стандартам. Стратегическая программа по планированию развития гидрологической сети на долгосрочную перспективу в настоящее время в Росгидромете отсутствует, что недопустимо, учитывая важность развития этого макрорегиона России. В период с 2012 по 2014 год, в рамках ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 год», в ГГИ и ААНИИ был разработан детальный системный проект развития гидрологической сети в Енисейском бассейновом округе, включая Енисейскую и Хатангскую устьевые области. Также, начата работа над эскизными проектами по восстановлению и развитию гидрологической сети в устьевых областях рек азиатской части Российской Арктики (Обско-Тазовской, Анабарской, Оленёкской, Ленской, Янской, Индигирской и Колымской) [3]. Однако с 2015 года финансирование этих работ прекратилось и реализация системных проектов в УГМС не началась. По нашему мнению, мероприятия, направленные на развитие и оптимизацию работы арктической наблюдательной гидрологической сети, должны быть в приоритетном порядке включены в ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 годах», а также в ФЦП «Развитие инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации на 2018-2027 годы».

### **Литература**

1. РД 52.04.567-2003. Руководящий документ. Положение о государственной наблюдательной сети. СПб., 2003. – 45 с.
2. ВМО-№168 Руководство по гидрологической практике. Том I. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. Женева: ВМО, 2011. - 314 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.

## НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ У МЫСА КАМЕННЫЙ (ОБСКАЯ ГУБА КАРСКОГО МОРЯ). ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗА

Е.А. Яговкина<sup>1</sup>, О.В. Хаймина<sup>1,2</sup>, Н.В. Кубышкин<sup>2</sup>, К. Г. Смирнов<sup>3</sup>, Ю.П. Гудошников<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО «Арктик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS CAPE KAMENYY (OB BAY OF THE KARA SEA). FLUCTUATION FEATURES AND FORECAST POSSIBILITY

E.A. Yagovkina<sup>1</sup>, O.V. Khaimina<sup>1,2</sup>, N.V. Kubyshkin<sup>2</sup>, K. G. Smirnov<sup>3</sup>, Yu.P. Gudoshnikov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>LLC “Arctic Shelf Consulting”, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Возросшая интенсивность судоходства в Обской губе, в том числе круглогодичная отгрузка нефти с Новопортовского месторождения через терминал «Ворота Арктики» (мыс Каменный) с проходом танкеров через сравнительно мелководные участки с глубинами 9-10 м, требует прогнозов уровня моря с высокой точностью. Мониторинг уровня в данном районе осуществляется силами ООО «ОНЕГО ШИППИНГ ЛТД» и ООО «Арктик Шельф Консалтинг» в сотрудничестве с лабораторией Арктик Шельф ФБГУ «АНИИ». Цель исследования – типизация ситуаций сгонно-нагонных колебаний уровня моря у мыса Каменный Обской губы и разработка методов их краткосрочного прогнозирования. Для анализа использованы ряды ежечасных значений уровня моря в 2017 году после исключения приливной квазигармоники. Проанализирована повторяемость приращений уровня моря за 1 час. Выполнен анализ синоптических условий, при которых наблюдались наиболее значительные по амплитуде сгонно-нагонные колебания уровня моря. На основании данных ежечасного мониторинга уровня моря без учета типизации сгонно-нагонных явлений построены различные прогностические модели. При разработке метода краткосрочного прогноза (с заблаговременностью до 9 часов) использовались статистико-вероятностный и физико-статистический подходы. Наилучшей из построенных моделей является модель, учитывающая значения предшествующего уровня и эффективные градиенты атмосферного давления. Выполнены оценки качества прогноза. Намечены пути совершенствования методик прогнозирования непериодических колебаний уровня у мыса Каменный. Работа выполнена в концепции сотрудничества «ВУЗ - НИИ- Производственная компания» в целях подготовки кадров.*

*The increased shipping intensity in the Gulf of Ob, including the year-round shipment of oil from the Novoport terminal (Cape Kamenny) with the passage of tankers through relatively shallow areas with depths of 9-10 m, requires forecasts of sea level with high accuracy. Level monitoring in this area is carried out by LLC ONEGO SHIPPING LTD and LLC Arctic Shelf Consulting in cooperation with the laboratory of Arctic Shelf of the FSAA AARI. The purpose of this study was to standardize situations of sea level surges at Cape Kamenny, Ob Bay, and to develop methods for their short-term forecasting. For our analysis we used the series of hourly sea level values excluding the tidal quasi-harmonic. The occurrence of 1-hour sea level increments were analysed. The analysis of the synoptic situations during the most significant surge fluctuations of the sea level were analyzed. When developing the method of the short-term forecast (with a lead time of up to 9 hours), statistical probabilistic and physico-statistical approaches were used. Based on the hourly data of sea level monitoring, various forecast models were constructed, excluding typification of driving-surge events, the best is the model that takes into account the previous level values and effective gradients of atmospheric pressure. Estimates of the quality of the forecast were made. Improvement paths for forecast methods of non-periodic fluctuations of the level at Cape Kamenny are outlined. The work was done within the cooperation concept “University - Research Institute - Production Company” for the purpose of training.*

Возросшая интенсивность судоходства в Обской губе, в том числе круглогодичная отгрузка нефти с Новопортовского месторождения через терминал «Ворота Арктики» (мыс Каменный) [1] с проходом танкеров через сравнительно мелководные участки губы с глубинами 9-10 м, требует прогнозов уровня моря с высокой точностью. С февраля 2017 г. гидрологи ООО «Арктик Шельф Консалтинг» по заказу ООО «Онего Шиппинг Лтд» осуществляют круглогодичный мониторинг уровня воды в районе Мыса Каменный. Ежечасные наблюдения выполняются при помощи отечественных автономных буйковых уровнемеров WLG-30 (производство ООО

«Марлин-Юг», Севастополь) с передачей данных по спутниковому каналу Argos. Непрерывность наблюдений в периоды осеннего ледообразования (до становления припая) и весенне-летнего разрушения и дрейфа льда обеспечивается временными перестановками приборов на относительно безопасные с точки зрения воздействия льда прибрежные участки: осенью в район быстро формирующейся подошвы припая; летом – в прибрежные закраины, образующиеся еще до взлома основного припая. Все перестановки приборов сопровождаются привязкой положения датчиков к Балтийской системе высот (БСВ-77).

Во время загрузки очередного танкера на терминал передается информация о текущем уровне, тенденции его изменения с учетом предвычисленного прилива. Предвычисление приливных колебаний осуществляется по методике Г.Н. Войнова [2], которая позволяет учитывать влияние на приливы ледового покрова Обской губы.

Оправдываемость прогнозов уровня моря в заданном пункте (точке) определяется знанием механизмов формирования колебаний уровня моря, используемыми методами прогноза, качеством исходных данных и требованиями со стороны потребителей (рис. 1). Благодаря организации мониторинга уровня моря у мыса Каменный частично решена проблема качества и доступности исходных данных, регулярно осуществляется предвычисление приливов. Судоводителям необходим прогноз уровня на 4-6 часов с точностью до 5 см. Наиболее простыми по затратам на разработку и апробацию являются статистико-вероятностный и физико-статистический методы прогноза.



Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма факторов, определяющих оправдываемость прогноза уровня моря у мыса Каменный (Обская губа Карского моря)

Для выявления закономерностей изменчивости непериодических колебаний уровня моря были использованы данные ежечасных наблюдений, полученные у мыса Каменный в 2017 году, после исключения приливной квазигармоники и удаления внутригодового хода. Анализ повторяемости приращений уровня моря за 1 час показал, что их максимальные значения не превышали 9 см, а доля приращений уровня моря в диапазоне от 5 до 9 см составила около 1,5 % от всей длины ряда наблюдений. Сохранение знака тенденции изменения уровня моря было зафиксировано на интервалах от 2-х часов до 80 часов. Количество случаев сохранения знака тенденции изменения уровня моря на протяжении свыше 12 часов составило около 25 %. Наиболее длительный подъем уровня наблюдался единожды (17.11-20.11.2017), длился 80 часов и составил всего ~ 40 см. Наиболее продолжительные снижения уровня наблюдались дважды (01.05 – 03.05.2017 и 02.08. – 04.08.2017), длились по 53 часа каждое, при этом падение уровня моря наблюдалось на ~ 40 см и ~ 80 см соответственно. Наиболее интенсивный подъем уровня составил 130 см за 12 часов.



На рисунке 2 представлены примеры синоптических ситуаций над акваторией Обской губы. Максимальный подъем уровня моря у мыса Каменный) был зафиксирован в момент прохождения глубокого циклона (07.08-08.08.2017, рис. 2в), сформировавшегося южнее губы. В результате этого над губой господствовали ветра северных румбов. Максимальный сгон наблюдался 17-18.10. 2017 (рис.2г) при подходе глубокого циклона, в результате чего над акваторией Обской губы господствовали ветра южных румбов. Синоптические ситуации, представленные на рисунках 2а и 2б, также соответствуют условиям нагона и стога соответственно, однако амплитуда колебаний уровня в этих случаях не превысила 50 см.

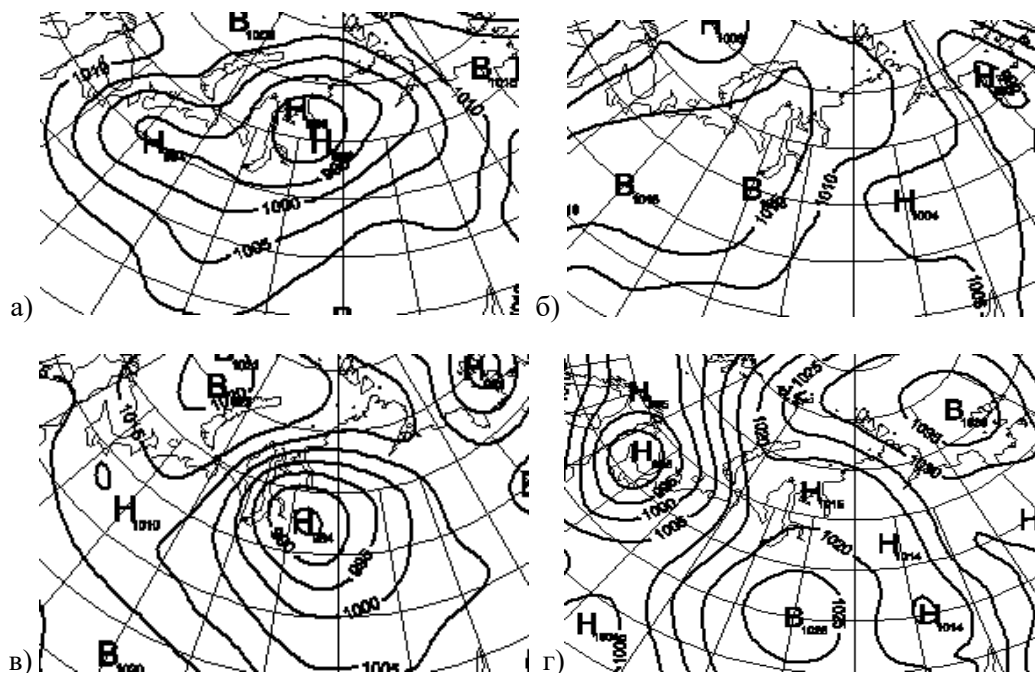


Рис. 2. Фрагменты приземных метеорологических карт [3] для района Обской губы Карского моря: а) на 29.06.2017; б) на 12.07.2017; в) на 08.08.2017; в) на 17.10.2017

Используя данные зависимой выборки с 28 мая по 30 июня 2017 года были разработаны несколько вариантов прогностических зависимостей с заблаговременностью от 3-х до 9-ти часов, учитывающих значения уровня моря у мыса Каменный за предшествующие три ( $H_{i-3}$ ), шесть ( $H_{i-6}$ ) и девять часов, разность атмосферного давления между пунктами Диксон и о. Белый на момент прогноза ( $G_{дб}$ ), за три часа ( $G_{дб-3}$ ) и шесть часов, а также разности давления между другими пунктами (возможность использования разностей давления в качестве предикторов для прогноза уровня моря в Обской губе была показана в работах В.Г. Корты [4,5]). Примеры прогностических зависимостей и оценки оправдываемости прогнозов уровня моря для представленных на рисунке 2 синоптических ситуаций, приведены в таблице. При использовании в качестве критерия оценивания допустимой ошибки  $\pm 0,674\sigma$  ( $\sigma$  – стандартное отклонение уровня моря в пределах выборки), доля оправдавшихся прогнозов во всех случаях превышает 80%. При ужесточении требований к качеству прогноза до допустимой ошибки в  $\pm 5$  см, доля оправдавшихся прогнозов снижается в среднем до 60-65%. При этом на отдельных участках ряда оправдываемость близка к 100%, что связано с характерной низкой изменчивостью уровня моря в анализируемые промежутки времени. При увеличении заблаговременности прогноза учет разности давления незначительно, но улучшает качество прогнозов, однако определяющую роль играют значения уровня за один-два предшествующих срока наблюдения.

Таким образом, показано, что прогностические зависимости, учитывающие информацию о предшествующих уровнях не обеспечивают необходимую точность при увеличении заблаговременности уже до 3-х часов. В тоже время возрастает значимость учета градиентов атмосферного давления. Поэтому авторы видят дальнейшей задачей типизацию синоптических ситуаций над акваторией Обской губы и выявление характерных траекторий движения циклонов, приводящих к значительным и достаточно быстрым изменениям уровня моря у мыса

Каменный. Это позволит более корректно учитывать интенсивность сгонно-нагонных явлений в прогностических зависимостях. Исследования непериодических колебаний уровня моря у мыса Каменный будут продолжены с учетом накопленных данных наблюдений за 2018 год.

Таблица 1. Примеры моделей прогноза уровня моря у мыса Каменный (Обская губа) и оценки качества прогнозов на зависимой и независимых выборках

Уравнение	Выборка	Синоптическая ситуация	$\sigma$	Доля прогнозов, %		Коэффициент детерминации
				с ошибками $\pm 0,674\sigma$	с ошибками $\pm 5\text{см}$	
$H_t = 0,966H_{t-3} - 0,005G_{\text{дб}t-3} + 0,004$	зависимая 28.06.2017-30.06.2017	Рис. 2а	0,26	100	64	0,98
	независимая 11.07.2017-13.07.2017	Рис. 2б	0,10	83	65	0,96
	независимая 07.08.2017-09.08.2017	Рис. 2в	0,42	100	50	0,98
	независимая 17.10.2017-19.10.2017	Рис.2г	0,38	100	54	0,99
$H_t = 1,536H_{t-3} - 0,567H_{t-6} - 0,003G_{\text{дб}t-3} + 0,001$	зависимая 28.06.2017-30.06.2017	Рис. 2а	0,26	100	63	0,98
	независимая 11.07.2017-13.07.2017	Рис. 2б	0,10	96	96	0,97
	независимая 07.08.2017-09.08.2017	Рис. 2в	0,42	100	65	0,99
	независимая 17.10.2017-19.10.2017	Рис.2г	0,38	100	57	0,99
$H_t = 1,538H_{t-3} - 0,568H_{t-6} - 0,003G_{\text{дб}t-3} + 0,001$	зависимая 28.06.2017-30.06.2017	Рис. 2а	0,26	100	63	0,98
	независимая 11.07.2017-13.07.2017	Рис. 2б	0,10	100	100	0,97
	независимая 07.08.2017-09.08.2017	Рис. 2в	0,42	100	59	0,99
	независимая 17.10.2017-19.10.2017	Рис.2г	0,38	100	59	0,99

Работа выполнена в концепции сотрудничества «ВУЗ - НИИ- Производственная компания» в целях подготовки кадров на базе РГГМУ, АНИИ и ООО «Арктик Шельф Консалтинг». В исследованиях использованы данные уровенных наблюдений на мысе Каменный, полученные компанией ООО «Арктик Шельф Консалтинг» по заказу и при финансировании ООО «Онего Шиппинг Лтд».

### Литература

1. Ворота Арктики [Электронный ресурс].– URL: <http://gazpromn.tilda.ws/novyport>
2. Войнов Г.Н. О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. – 2004. – Т. 44. – № 2. С. 172–178.
3. Сайт ФГБУ «АНИИ». Приземные и высотные метеорологические карты.– URL: [http://www.aari.ru/odata/\\_d0010.php](http://www.aari.ru/odata/_d0010.php)
4. Корт В.Г. Непериодические колебания уровня воды в Арктических морях и способы их прогноза// Тр. АНИИ. 1941.– Т. 175. – 163 с.
5. Корт В.Г. К вопросу о колебаниях уровенной поверхности Обской губы // Тр. АНИИ. 1949.– Т. 13. – С. 100–118

## ТРЕНДЫ И ЦИКЛИЧНОСТИ ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ И ПРЭСНОЙ ВОДЫ В КУПОЛЕ ХОЛОДНЫХ ВОД МОРЯ ЛАБРАДОР

Д. А. Яковлева<sup>1</sup>, И. Л. Башмачников<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

## TRENDS AND CYCLES OF HEAT AND FRESHWATER CONTENTS IN THE COLD WATER DOME OF THE LABRADOR SEA

D. A. Iakovleva<sup>1</sup>, I. L. Bashmachnikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>NIERSC- Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, St. Petersburg, Russia

*В работе исследуется межгодовая изменчивость теплосодержания и содержания пресной воды в море Лабрадор на основе массива ARMOR-3D (1993-2016 гг.), в котором совместно используются натурные и спутниковые наблюдения. В верхнем 500-метровом слое были выявлены значимые тенденции к увеличению теплосодержания и слабовыраженные тенденции к уменьшению содержания пресной воды в верхнем 500-м слое, а также отрицательные корреляции этих характеристик. В межгодовой изменчивости выделены доминирующие цикличности –2-4 года и 5-8 лет. Показана связь термохалинных характеристик с индексом Северо-Атлантической осцилляции (NAOI), а также получена высокая когерентность индекса с теплосодержанием для 2х и 5-8и лет. На этих временных масштабах выявлено запаздывание NAO на четверть периода относительно теплосодержания, что интерпретируется как возможное наличие влияния температуры поверхностных вод моря Лабрадор на фазу/интенсивность NAO.*

*The interannual variability of heat content and freshwater content in the Labrador Sea is estimated using ARMOR-3D data-set (1993-2016), which combines in situ and satellite observations. Significant trends in increasing of the heat content and weak trends in decreasing of the freshwater content in the upper 500th layer were detected. High negative correlation between these characteristics was obtained. The interannual variability was dominated by 2-4 year and 5-8 year cycles. Correlation of the heat content with the North Atlantic Oscillation Index (NAOI) was negative and significant. High coherence of the index with the heat content for the 2-year and 5-8 year cycles was derived. On these time scales, it was found a delay of NAOI by a quarter of the period relative to the heat content, interpreted as a possible effect of the Labrador Sea water temperature on the phase/intensity of NAO.*

### Введение.

Море Лабрадор относится к субполярным морям Северной Атлантики. Этот район является одним из немногих, где происходит глубокая зимняя конвекция. В море Лабрадор конвекция может достигать 2000 м и возникает при интенсивном осенне-зимнем охлаждении (термическая конвекция) и усиливается при осолонении из-за льдообразования (соленостная конвекция).

Термохалинный режим верхнего слоя обусловлен тепло и влагообменом с атмосферой, а также адвекцией тепла и солей течениями. Холодные и распресненные воды поступают в море из Северо-Ледовитого океана. Ограниченное количество более теплых и соленых субтропических вод поступают от Северо-Атлантического течения, в основном через течение Ирмингера. Усиление меридиональной океанической циркуляции, в целом, приводит к увеличению адвекции вод из субтропиков в субполярные регионы [1].

Задача этой работы состоит в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости теплосодержания и содержания пресной воды в верхнем 500-метровом слое моря Лабрадор, а также выявления их связи межгодовой изменчивостью атмосферной циркуляции, характеризуемой индексом Северо-Атлантической осцилляции (NAOI – the North Atlantic Oscillation Index).

### Материалы и методы.

В работе исследовалась межгодовая изменчивость в котловине глубоководной части моря Лабрадор, 55-63°с.ш. и 44-60°з.д. Температура и соленость воды брались по данным массива комбинированных in-situ и спутниковых наблюдений ARMOR-3D (<http://marine.copernicus.eu/>).

Для расчета теплосодержания верхнего слоя океана использовалась формула [2]:

$$Q = \rho \times C_p \times (T - T_{ref}) \times dz, \quad (1)$$

где  $\rho=1027$  (кг/м<sup>3</sup>) – плотность воды,  $C_p=4200$  (Дж/кг\*°C) – удельная теплоемкость воды,  $T$  – температура (°C),  $dz$  – толщина слоя (м). В качестве базовой температуры ( $T_{ref}$ ) бралась температура замерзания морской воды  $-1.8$  °C.

Расчет содержания пресной воды производился по формуле [2]:

$$F = \frac{S_{ref}-S}{S_{ref}} dz, \quad (2)$$

где  $S_{ref}= 35$ ,  $S$  – соленость воды в слое.

Ежемесячные значения NAOI были загружены с сайтов NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> и <https://www.esrl.noaa.gov/>).

### Результаты.

В среднем по району исследования, сезонная изменчивость температуры воды на поверхности моря (рис. 1а) имеет выраженный максимум в августе, когда наблюдается максимальное количество приходящей солнечной радиации. А минимумы на всех горизонтах приходится на март-апрель, когда развитие глубокой конвекции максимально [3]. Соленость воды (рис. 1б) имеет противоположный сезонный ход с максимумом в марте и минимумом в августе, который согласуется с сезонной динамикой выноса пресной воды из Арктики [4]. На 100 м и глубже максимум  $T$  смещается к ноябрю-декабрю и выражен слабо. Аналогичная картина на этих глубинах наблюдается в сезонном ходе  $S$ .

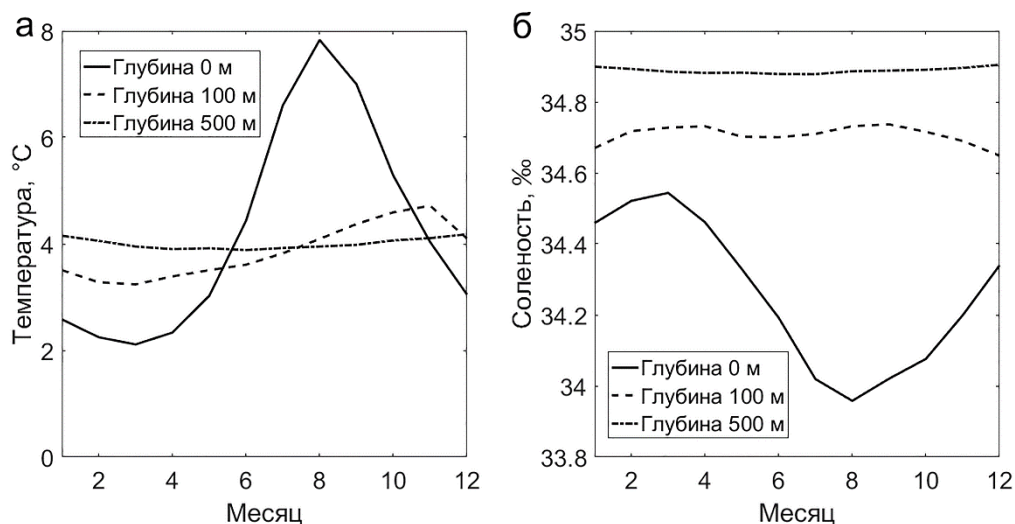


Рис. 1. Сезонный ход температуры (а) и солености (б) воды на разных горизонтах

Летом вертикальные градиенты температуры и солености свидетельствуют об устойчивой стратификации, зимой и весной наблюдается инверсия температуры и ослабление градиента солености, что позволяет предположить регулярное развитие конвекции в верхнем 500-м слое.

Межгодовая изменчивость оценивалась отдельно для каждого сезона. Среднегодовые значения теплосодержания в верхнем 500-м слое (рис. 2а) увеличились с  $1.18 \times 10^{10}$  Дж\*м<sup>2</sup> в 1993 г. до  $1.39 \times 10^{10}$  Дж\*м<sup>2</sup> в 2010 г. (на 18%), после чего началось падение. Линейный тренд, за весь период наблюдений, был положительным и значимым. Содержание пресной воды имело противоположный ход (рис. 2б), аналогичный межгодовой изменчивости NAOI (рис. 2в). Помимо противоположных значений тренда, теплосодержание и содержание пресной воды показывают достаточно высокую отрицательную корреляцию ( $-0.56$ ) после удаления квадратичного тренда. Экстремумы NAOI часто соответствуют экстремумам содержания пресной воды с тем же знаком и теплосодержания – с противоположным знаком. Так, аномальный по обоим характеристикам 2010г. также выделяется в NAOI, как год экстремально низких значений индекса. Это позволяет предположить, что причиной аномально теплой и соленой воды в море Лабрадор в этот год является смещение к западу оси юго-западного переноса в тропосфере, которое в период низких NAOI проходит через центральную и восточную части моря Лабрадор. Получены значимые корреляции зимнего NAOI (январь-март) с теплосодержанием ( $-0.64$ ) и с содержанием пресной воды ( $0.580$ ) в море Лабрадор.

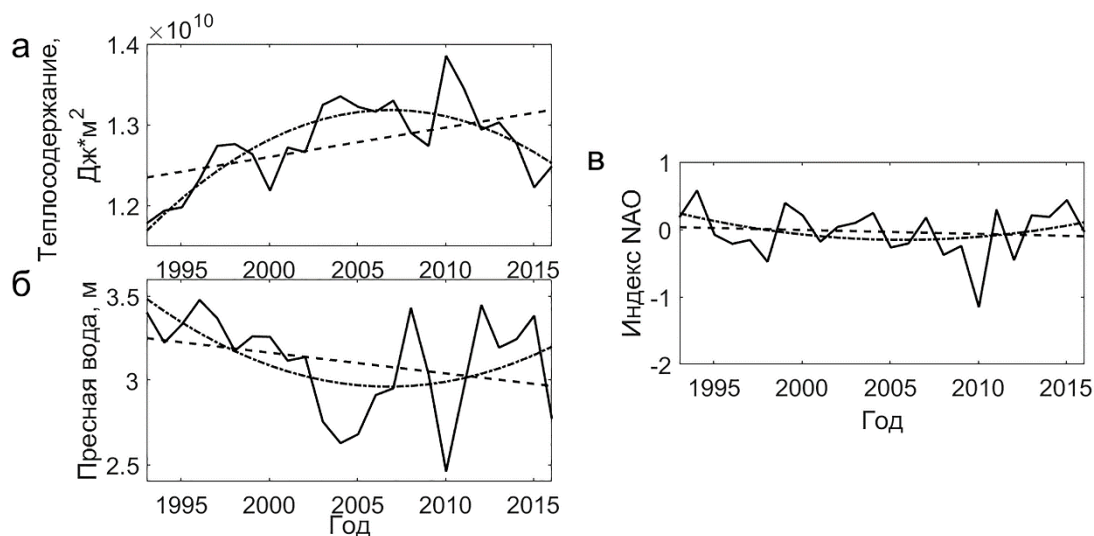


Рис. 2. Межгодовая изменчивость среднегодовых значений: а – теплосодержания, б – содержания пресной воды, в – NAO. Сплошная линия – среднегодовые значения, пунктирная – линейный тренд, штрих-пунктирная – квадратичный тренд

В вейвлет-анализе теплосодержания и пресной воды (рис. 3а, б) выделяются сезонная изменчивость, цикличность 5-8 лет и, после 2000 г., 2-4-летняя цикличность. Сезонная изменчивость содержания пресной воды уменьшается после 2000 г., а теплосодержания – наоборот, увеличивается. В NAOI (рис. 3в) также выделяются те же циклы (рис 3в).

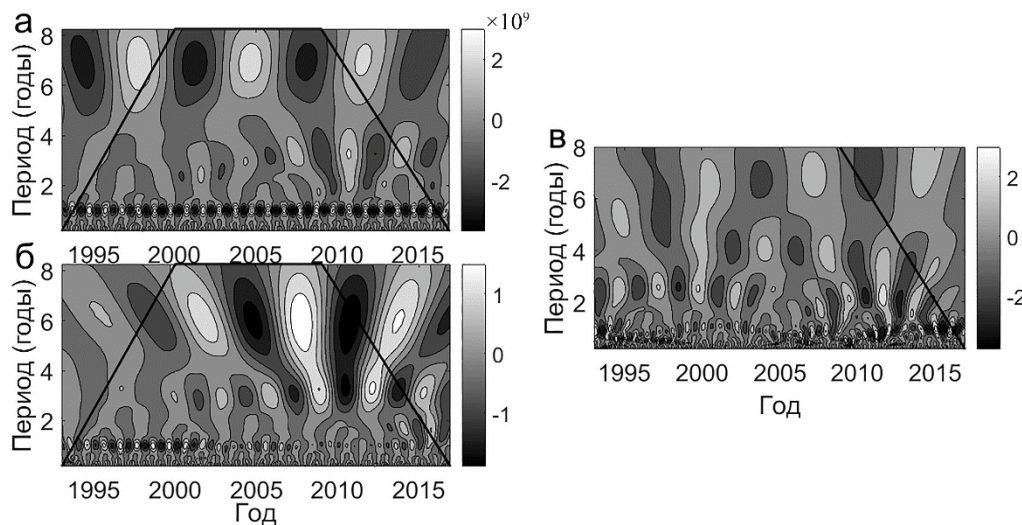


Рис. 3. Результаты вейвлет-анализа: а – теплосодержания, б – содержания пресной воды, в – индекса NAOI; ряды с исходной месячной дискретностью. Сплошными линиями обозначены треугольники достоверности

Кросс-вейвлет анализ теплосодержания и NAOI (рис. 4а) показывает высокую когерентность на периодах 2 года и 5-8 лет. Значимая когерентность на периодах сезонной изменчивости проявляется только в годы повышенных значений амплитуд сезонного хода NAOI. Практически на всех периодах наблюдается запаздывание NAOI на четверть периода по сравнению с колебаниями теплосодержания. Можно предположить, что как NAOI влияет на теплосодержание, так и теплосодержание в море Лабрадор опосредовано влияет на индекс NAOI. Так, в работе [5] показано, что уменьшение температуры моря Лабрадор может формировать структуру поля давления, похожую на положительную фазу NAOI. В содержании пресной воды (рис. 4б), помимо когерентностей в периоды наибольших амплитуд сезонных

колебаний NAOI, прослеживаются когерентности только на 7-8 летних циклах, с близкой к 0 разностью фаз.

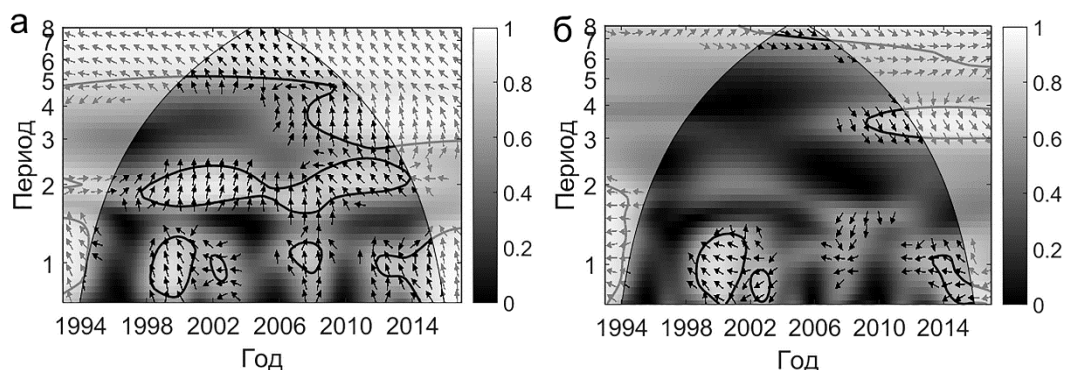


Рис. 4. Вейвлет-когерентности: а – теплосодержания и NAOI, б – содержания пресной воды и NAOI

#### Выводы.

- С 1993г. линейные тренды температуры воды во все сезоны и на всех горизонтах положительны; солености – также положительны на всех горизонтах, за исключением зимних месяцев.
- Изменения теплосодержания и содержания пресной воды в море Лабрадор противоположны как на декадных, так и на межгодовых масштабах изменчивости
- Получены значимые корреляции межгодовой изменчивости теплосодержания и содержания пресной воды в море Лабрадор с зимним индексом NAOI, -0.64 и 0.58, соответственно.
- В межгодовой изменчивости теплосодержания, содержания пресной воды и NAOI выделяются цикличности 5-8 лет и 2-4 года (после 2000 г.).
- Высокая когерентность теплосодержания и NAOI проявляется на периодах 2 года и 5-8 лет; содержания пресной воды и NAOI – на периодах 7-8-лет.

#### Литература

1. Lohmann, K., Drange, H., & Bentsen, M., 2009. Response of the North Atlantic subpolar gyre to persistent North Atlantic oscillation like forcing. *Climate dynamics*, 32(2-3), 273-285.
2. Björk, G., Gustafsson, B. G., & Stigebrandt, A., 2001. Upper layer circulation of the Nordic seas as inferred from the spatial distribution of heat and freshwater content and potential energy. *Polar Research*, 20(2), 161-168.
3. Федоров А.М., Башмачников И.Л., Белоненко Т.В., 2018. Локализация областей глубокой конвекции в морях Северо-Европейского бассейна, Лабрадор и Ирмингера, Вестник СПбГУ.
4. Serreze, M.C., Barrett, A.P., Slater, A.G., Woodgate, R.A., Aagaard, K., Lammers, R.B., Steele, M., Moritz, R., Meredith, M., & Lee, C.M., 2006. The large-scale freshwater cycle of the Arctic. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C11), doi:10.1029/2005JC003424
5. Gnatuik, N., Vihma, T., & Bobylev, L., 2018. Inter-seasonal teleconnections between Earth surface temperature and near-surface air temperature. POLAR-2018 (A SCAR & IASC Conference), 15-26.05.2018, Davos, Switzerland.

*Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).*

*The work was done through a grant from the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01151).*

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКИХ РУСЛОВЫХ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ ДЛЯ ЗАМЫКАЮЩИХ СТВОРОВ ПРИТОКОВ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТВОРА Г. КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ

Т.И. Яковлева<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Ю.В. Шарина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

THE SHORT-TERM DAILY DISCHARGE FORECAST USING REGRESSION MODELS AND THE METHOD OF DYNAMIC CHANNEL WATER BALANCES FOR THE OUTFALLS OF THE KRASNODAR RESERVOIR TRIBUTARIES AND KOMSOMOLSK-ON-AMUR GAUGING SECTION

T.I. Yakovleva<sup>1</sup>, Cand. Sc., Yu.V. Sharina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются два подхода при разработке методов краткосрочного прогноза расходов воды: с использованием принципа соответственных расходов и уровней воды, и на основе расчета динамических русловых водных балансов.*

*Two approaches in the development of the short-term daily discharge forecast methods are considered: using the principle of the corresponding discharges and water levels, and based on the calculation of dynamic channel water balances.*

Структура моделей краткосрочного прогноза, основанная на принципе соответственных расходов и уровней воды с использованием метода множественной регрессии, выбиралась для различных участков в зависимости от особенностей формирования и перемещения паводочной волны на рассматриваемом участке. В качестве одного из предикторов уравнения, учитывающего значение сформировавшегося в верхних створах притока воды, принимался расход в верхнем створе расчетного участка или сумма расходов в верхних створах, наиболее удаленных от расчетного. При движении сформировавшихся в расчетных створах расходов воды по руслам рек происходит их изменение ( $\Delta Q_p$ ) за счет распластывания. Учитывая, что величина  $\Delta Q_p$  зависит от самого перемещающегося расхода воды и от степени заполнения русел на рассматриваемом участке, она может быть приближенно оценена через расходы воды, характеризующие крутизну волны паводка, т.е. расходы в ограничивающих створах [1].

Методики краткосрочного прогноза расходов воды разработаны для замыкающих створов на реках Кубань и Лаба: гидрологических постов (ГП): ст-ца Ладожская и х. Догужиев.

Закономерности перемещения паводочной волны на бесприточном участке реки Кубань от г. Армавир до станицы Ладожской оценивались двумя способами: на основе идентификации параметров зависимости множественной линейной регрессии, включающей в качестве предикторов расходы воды в ограничивающих створах с различной заблаговременностью; на основе решения уравнения кинематической волны.

Регрессионная зависимость для прогноза расходов воды в створе ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская с заблаговременностью 2 суток получена в следующем виде:

$$Q_{\text{Лад}_t} = 7,5 + 0,237Q_{\text{Лад}_{(t-2)}} + 0,737Q_{\text{Арм}_{(t-2)}} \quad (1)$$

Здесь  $Q_{\text{Лад}_{(t-2)}}$  и  $Q_{\text{Арм}_{(t-2)}}$  – расходы воды в день выпуска прогноза соответственно по ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская и г. Армавир.

Идентификация параметров уравнения (1) выполнялась по данным прошлых лет, когда гидрометрический учет стока в этих створах по нашим оценкам признан наиболее надежным, а именно, по данным 1978 и 1980 годов.

Расчетное уравнение для краткосрочного прогноза с использованием уравнения кинематической волны [2] для участка р. Кубань от г. Армавир до ст-цы Ладожская имеет вид:

$$Q_{\text{Лад}_t} = Q_{\text{Лад}_{(t-\Delta t)}} - (Q_{\text{Лад}_{(t-\Delta t)}} - Q_{\text{Арм}_{(t-\Delta t)}}) \frac{\Delta t}{\tau} \quad (2)$$

При расчетах по предложенной модели время добега  $\tau$  (в часах) определялось по зависимости, представленной на рисунке 1.

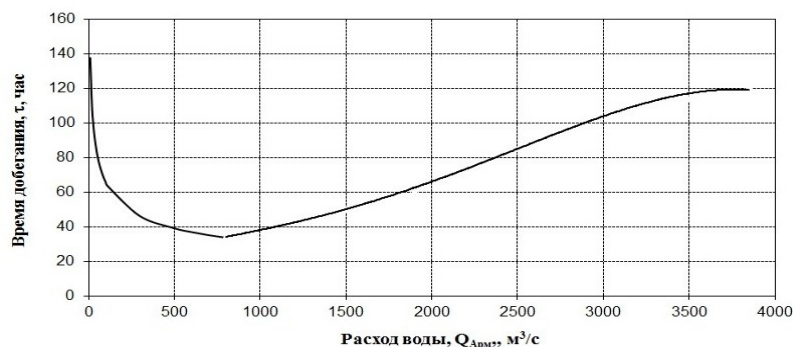


Рис. 1. Зависимость времени добега  $\tau$  на участке р. Кубань г. Армавир – ст-ца Ладожская от расхода воды  $Q_{Арм}$  на ГП Армавир

Интервал  $\Delta t$  выбирается таким образом, чтобы была обеспечена устойчивость расчетов, то есть заблаговременность прогноза  $\Delta t_{не}$  должна превышать значения времени добега  $\tau$  на участке.

При прохождении паводков, сопровождающихся выходом воды на пойму, на участке от г. Армавир до ст-цы Ладожская происходит значительное распластывание паводочной волны, как это произошло в июне 2002 г. В такие периоды при использовании любой, предложенной выше модели прогноза необходимо учитывать эффект пойменного регулирования. Прогноз на период с 21 июня по 10 июля 2002 г. составлен с учетом расхода пойменного регулирования на участке, который вычислялся по формулам, приведенным в [3] с использованием материалов полевых обследований участка.

Прогнозное значение расхода воды для ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская в период с 21 июня по 10 июля 2002 г вычислялось по уравнению (1) или (2) с учетом значения расхода воды пойменного регулирования. Как видно из графика (рис.2) расходы, поступавшие на пойму во время прохождения их максимальных значений, превышали 1000  $m^3/c$ . И, напротив, на ветви спада паводка наблюдался дополнительный приток воды в русло со стороны поймы.

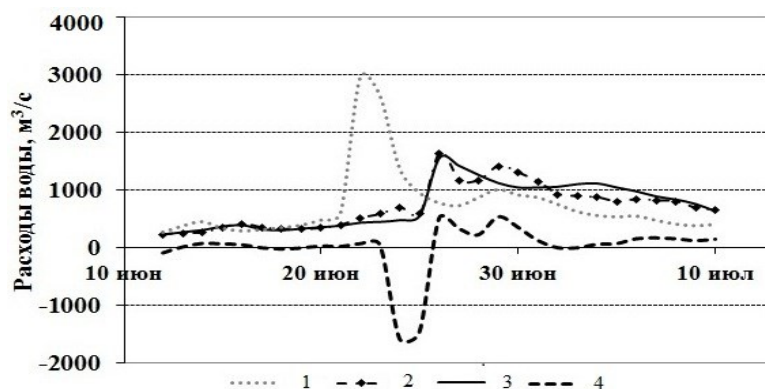


Рис. 2. Фактические и рассчитанные гидрографы июньского паводка 2002 г. в створах р. Кубань: Армавир (1-факт.), Ладожская (2 – факт. 3 – прогноз) и ход пойменного регулирования (4)

Для регрессионной модели прогноза расходов воды в нижнем створе р. Лаба – х. Догужиев использовались данные на участке от верхнего створа р. Большая Лаба – ниже Азиатского моста до х. Догужиев. В качестве первого предиктора используется сумма расходов воды в день выпуска прогноза по наиболее удаленным от замыкающего створа гидрологическим постам: р. Большая Лаба – ниже Азиатского моста и р. Малая Лаба – с. Бурное ( $\sum Q_{в.п.р(t-2)}$ ); второй переменной в расчетном уравнении является сумма расходов воды в день выпуска прогноза по водпостам: на ниже впадающих притоках: р. Ходзь – ст-ца Бесленевская, р. Фарс – ст-ца Дондуковская и р.



Чамлык – ст-ца Вознесенская ( $\sum Q_{y,np(t-2)}$ ). Для учета расплывания паводочной волны в уравнение включен в качестве дополнительной переменной расход воды в самом замыкающем створе х. Догужиев в день выпуска прогноза ( $Q_{Дог(t-2)}$ ).

Для прогноза расходов воды в замыкающем створе р. Лаба для условий прохождения катастрофического паводка 2002 г уравнение приобретает вид:

$$Q_{Дог_t} = -3,9 + 0,576Q_{Дог(t-1)} + 0,40 \sum_1^2 Q_{в.п.р(t-2)} + 0,999 \sum_1^3 Q_{н.п.р(t-2)} \quad (3)$$

Фактический и прогнозный гидрографы стока в створе р. Лаба – х. Догужиев в июне 2002 г. приведены на рисунке 3:

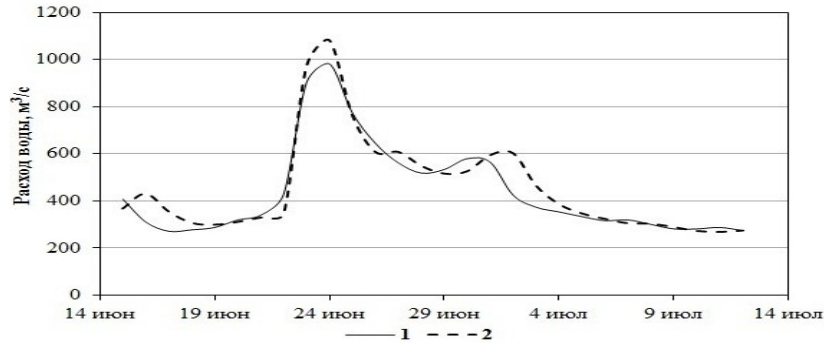


Рис. 3. Фактический (1) и прогнозный (2) гидрографы июньского паводка 2002 г. в створе р. Лаба – х. Догужиев

Эффективность предложенных моделей прогноза оценивалась с учетом требований [4] по данным независимых совокупностей с 1981 по 2006 г. По результатам такой оценки выявлено, что для ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская для маловодных лет более эффективна модель, построенная на основе кинематической волны, а для многоводных – регрессионная модель. Для ГП р. Лаба – х. Догужиев предложенная модель оказалась эффективна для 20 лет из проверенных 26.

В подходе, основанном на расчете динамических русловых водных балансов (РВБ), для прогноза используются данные расчета элементов руслового водного баланса для участка реки [3]: расходов воды в замыкающих створах, руслового и пойменного регулирования, бокового притока и потерь стока на расчетном участке. При расчете РВБ за короткие промежутки времени (сутки) учитывается время добегания и трансформации волны паводка на участке.

Для участка р. Амур от г. Хабаровска до г. Комсомольска в период свободного ото льда русла уравнение РВБ по гидрометрическим данным записывается в виде:

$$Q_{с} - Q_{н} + Q_{близ} + Q_{бопрасч} + \dots \pm Q_{рр} - Q_{нрп} + Q_0 = 0, \quad (4)$$

в котором представлены лишь элементы, определяемые гидрометрическим способом или по планам русловых съемок ( $Q_{рр}$ ). Здесь  $Q_{близ}$  – расход боковых притоков, определенный гидрометрическим способом;  $Q_{бопрасч}$  – рассчитанный расходы неучтенного бокового притока;  $Q_{нрп}$  – суммарные потери стока в русле и на пойме на испарение, заполнение бессточных участков поймы, а также инфильтрацию при выходе воды на надпойменные террасы.

Основной вклад в уравнение РВБ вносят значения расходов в ограничивающих участок створах на гидрологических постах Хабаровск и Комсомольск. На расчетном участке наблюдения за стоком ведутся также на трех притоках в створах ГП: р. Тунгуска – с. Архангеловка, р. Манома – с. Манома 1-я, р. Гур – пос. Снежный. Неосвещенная наблюдениями площадь водосбора на участке составляет 60320 км<sup>2</sup>. Сток с этой территории оценивался по методу аналогии с корректирующим коэффициентом 0,9. В качестве аналогов использованы все три притока, на которых ведется учет стока воды. В отдельные годы не наблюдался также сток по постам – с. Архангеловка, с. Манома 1-я, и пос. Снежный. При отсутствии данных по какому-то из этих постов использовались связи расходов воды на них с расходами соседних притоков. Коэффициенты этих связей получены по данным совместных наблюдений

Оценка безвозвратных потерь стока на участке выполнена по эмпирической зависимости, полученной по данным многолетних 1958, 1959, 1984 и 2013 годов.

Для учета расплывания паводочной волны на участке г. Хабаровск – г. Комсомольск на основе решения оптимизационной задачи с учетом времени добегания были рассчитаны параметры трансформации элементов суточных РВБ (см. таблицу 1).

Таблица 1. Коэффициенты трансформации элементов РВБ для суточных интервалов времени

Элемент РВБ	Коэффициенты трансформации		
	$t-5$	$t-4$	$t-3$
Заблаговременность в период половодья	$t-5$	$t-4$	$t-3$
Заблаговременность в период дождевых паводков	$t-7$	$t-6$	$t-5$
Расход по ГП Хабаровск; расходы руслового и пойменного регулирования; потери стока на участке	0,8	0,1	0,1
Боковой приток	0,7	0,1	0,2

Разработанная методика расчета динамических русловых водных балансов позволила по данным о расходах в г. Хабаровске и боковых притоков на этом участке рассчитать ежедневные расходы воды в период открытого русла 2013 года в г. Комсомольске с заблаговременностью 4-5 суток. На рисунке 4 приведены совмещенные фактический и рассчитанный на основе суточных РВБ гидрографы стока 2013 года в створе р. Амур – г. Комсомольск Среднеквадратическая погрешность расчета расходов воды в г. Комсомольск с заблаговременностью 4 суток за период паводка 2013 г. составила 7,2 %.

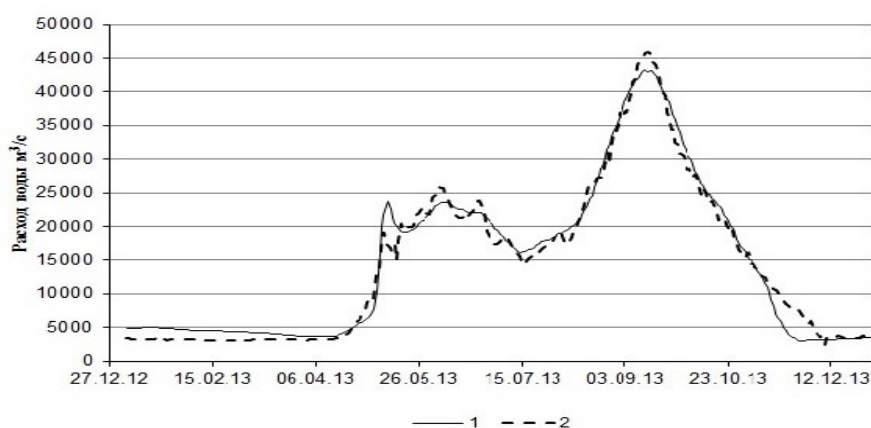


Рис. 4. Фактический (1) и расчетный (2) гидрографы стока 2013 г., р. Амур – г. Комсомольск

Методика расчета динамических РВБ была проверена и на материале прошлых многолетних лет: 1958, 1959, 1984 гг. Во все эти годы получены удовлетворительные результаты сходимости данных расчетных и фактических гидрографов стока: для периодов свободного состояния русла: средние квадратические расхождения ежедневных расходов воды составили 7-8 %. Это свидетельствует о том, что полученная методика может быть предложена для использования в оперативной работе Дальневосточного УГМС для составления краткосрочных прогнозов расходов воды реки Амур в г. Комсомольск с заблаговременностью 4-5 суток.

### Литература

1. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. - Л., Гидрометеиздат, 1974, 419 с.
2. Коваленко В.В., Старостин В.Л., Сергеев Ю.В. Краткосрочный прогноз расходов воды среднего течения рек Амударьи и Сырдарьи. – Моделирование и прогнозы гидрологических процессов. Сборник научных трудов РГТМУ, Санкт-Петербург, 1992, С. 16-24.
3. Методические указания управлениям гидрометслужбы, № 90 – Л., Гидрометеиздат, 1977, 104 с.
4. Руководство по гидрологическим прогнозам, вып 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Гидрометиздат, Л., 1989, 245.

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ В Г. КАЗАНИ

Ю.Р. Янгличева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский инновационный университет, Казань, Россия

## POLLUTION OF ATMOSPHERE IN KAZAN

Y.R. Yanglicheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan Innovative University, Kazan, Russia

*Проведено исследование уровня загрязнения атмосферы г. Казань, исследовано влияние метеорологических величин и явлений на формирование уровня загрязнения атмосферы крупного города, изучены ареалы распространения загрязняющих веществ, выявлены основные стационарные источники загрязняющих веществ, для сравнительной оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха и выявления тенденций его изменения был использован комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА). Статистически обрабатывались данные о температуре воздуха и частоте инверсий, направлениях и скорости ветра, влажности воздуха, осадках и туманах. При анализе качества атмосферного воздуха были рассмотрены срочные, ежедневные, месячные и годовые концентрации.*

*We made a comprehensive assessment of the pollution level of the atmosphere in Kazan; studied the effect of meteorological variables and phenomena in the formation of the level of pollution of the atmosphere of a big city, studied areas of distribution of pollutants, identified the major stationary sources of pollution, for a comparative assessment of the level of air pollution and the identify trends his change was used air pollution index in Kazan (CIAP5). We statistically processed the data on air temperature, frequency of inversions, wind direction and speed, humidity, precipitation and fog. At analysis of quality air was used daily, monthly and annual concentrations.*

В г. Казани высокое загрязнение атмосферы наиболее часто наблюдается при скоростях ветра 3-5 м/с зимой и 1-2 м/с летом. Эта закономерность лучше выражена в зимние месяцы по сравнению с летними. В пределах этих градаций скоростей ветра наблюдается от 60 до 73 % дней с высоким загрязнением зимой и от 40 до 78 % дней летом. На формирование уровня загрязнения атмосферы также оказывает влияние и направление ветра, что обусловлено пространственным расположением источников выбросов. Для г. Казани наиболее неблагоприятным является южное и юго-восточное направление ветра, при котором наблюдается повышенное загрязнение атмосферы [1].

Осредненный коэффициент самоочищения (К) атмосферы для г. Казань имеет наибольшее значение в марте, июле и сентябре - 0,89, 1,10 и 1,05 соответственно. В утренние часы городская атмосфера имеет наиболее благоприятные условия для накопления примесей в атмосфере, а к 18 ч - менее благоприятные. Основной вклад в высокое значение К вносит большая повторяемость слабых ветров и туманов, малая повторяемость слабых ветров и туманов, а также сильных ветров и осадков. На основании определения коэффициента самоочищения установлено, что воздушная среда города имеет ограниченно благоприятные способности к самоочищению в июле (1,25) и в сентябре (1,22), в другие месяцы условия для рассеивания примесей благоприятные. Низкие значения осредненного значения потенциала загрязнения атмосферы отмечаются в период с января по март (2,4 - 2,7).

При исследовании зависимости уровня загрязнения атмосферы от метеорологических факторов целесообразно использовать не только отдельные метеорологические величины и явления, но и комплексные характеристики, которые соответствуют определенной погодной ситуации. Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) широко используется для оценки влияния комплекса метеорологических величин и явлений на рассеивание выбросов загрязняющих веществ в атмосфере. Анализ годового хода осредненного ПЗА для г. Казань за период 2002 - 2013 года показывает, что низкие значения (ПЗА) отмечались в январе (2,4), феврале (2,1), марте (2,4) и ноябре (2,3), умеренные значения ПЗА, равные 2,6 наблюдаются в апреле, мае и октябре. Низкие значения ПЗА были отмечены в 2002 году - в январе, марте, ноябре, в 2003 году - в январе, феврале, апреле, мае, августе, октябре (2,4) и в ноябре, декабре (1,9).

Из стационарных источников в загрязнение воздуха г. Казани наибольший вклад вносят предприятия ТЭК - 40%, химической и нефтехимической промышленности - 31,9%, строительной отрасли - 11%, машиностроения - 5% (рис. 1). Теплоэнергетический комплекс является одним из основных загрязнителей воздушного бассейна оксидом углерода, оксидом

азота и диоксидом серы. Основным источником поступления СО в атмосферу города является автотранспорт. В Казани наблюдались наибольшие среднегодовые концентрации СО в сравнении с другими населенными пунктами республики. В динамике прослеживается тенденция к уменьшению концентрации СО в атмосфере города. Так в 2008 году было зафиксировано 144 превышения, в 2009 году - 38, в 2012 - 16, а в 2013 - всего 5.

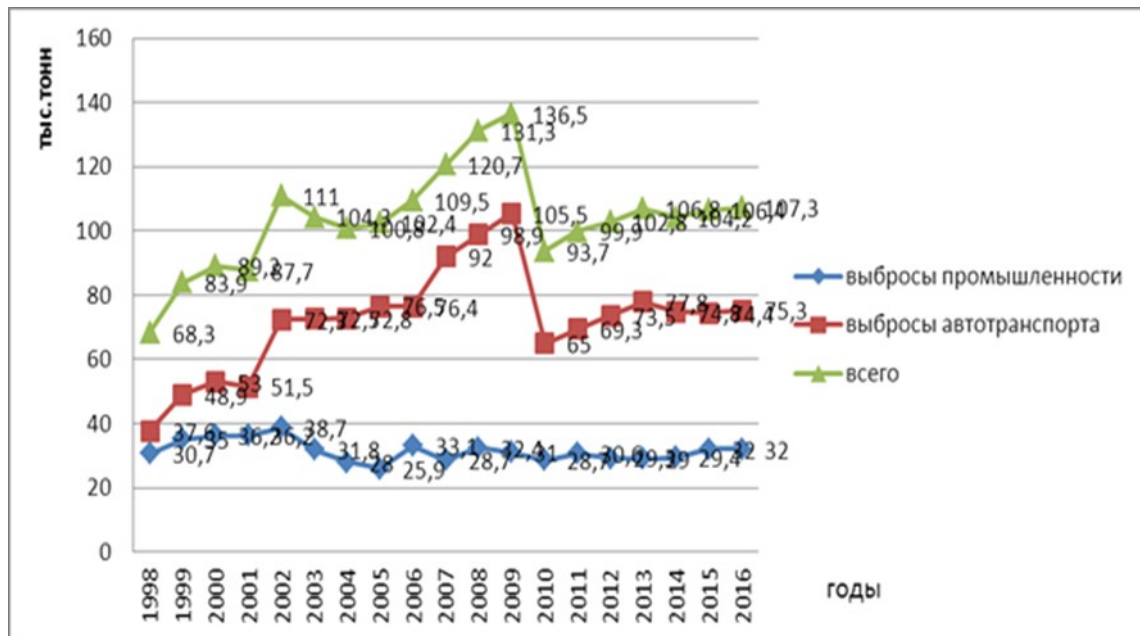


Рис. 1. Динамика выбросов ЗВ в атмосферу города Казани общее количество, тыс. тонн в период 1998-2016гг.

Динамика КИЗА<sub>5</sub> в 1998-2016 гг. показывает, что уровень загрязнения воздуха в г. Казань можно охарактеризовать как высокий (рис. 1). Минимальные значения индекса приходятся на 2002, 2004 и 2011 гг. (КИЗА<sub>5</sub> = 8,92-9,43), максимальный уровень загрязнения воздуха в Казани за изученный период приходится на 2006 год (КИЗА<sub>5</sub>=13,66) [2].

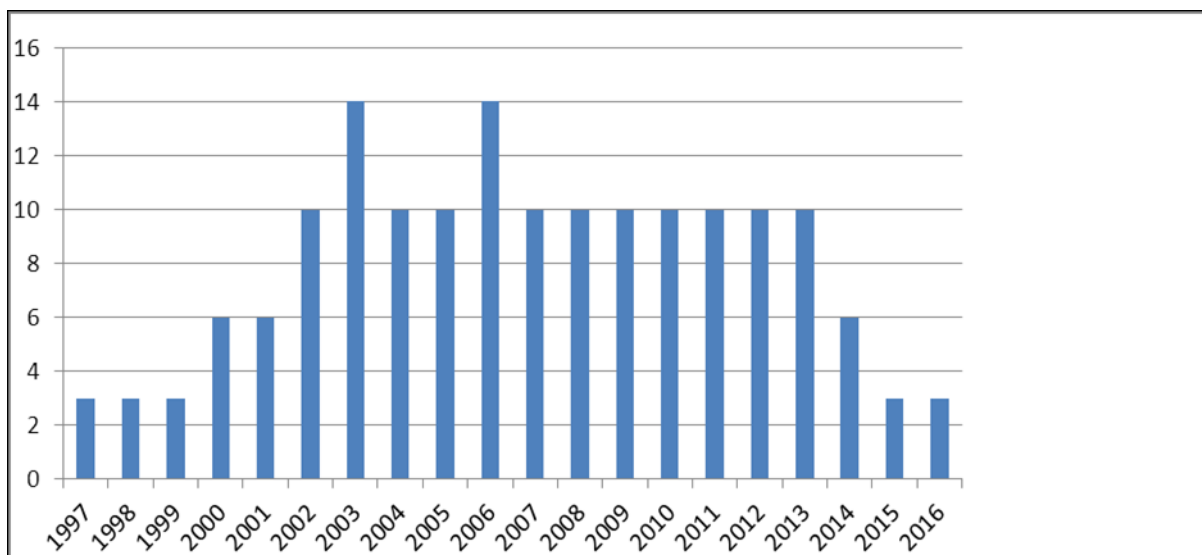


Рис. 2. Комплексный индекс загрязнения атмосферы

Прослеживая тенденцию изменения количества превышений за период 2000 – 2016 гг., можно сделать следующие выводы, наибольшее количество отмечено в 2005 гг., ежегодно

регистрируются случаи превышения ПДКм.р. по следующим веществам - оксиду углерода, аммиаку и формальдегиду.

### **Литература**

1. Переведенцев Ю.П. Влияние природных и антропогенных факторов на качество атмосферного воздуха города Казани // Динамика и взаимодействие природных и социальных сфер земли. Тезисы докладов научной конференции. Казань, 1998. С. 62– 64.
2. Состояние окружающей природной среды республики Татарстан в 2002-2016 гг. Государственный доклад. Казань, 2002-2016. URL: <http://eco.tatarstan.ru/gosdoklad.htm>.
3. Янгличева Ю.Р., Валеева Г.Р. Закономерности формирования химического состава атмосферы на территории г. Казань // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N2. С.108-120.

## ОПЫТ ФГБУ «СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ УГМС» В ОБСЛУЖИВАНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

М.В. Ячменова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Санкт-Петербург, Россия

## EXPERIENCE OF FGBU "NORTH-WEST UGMS" IN SERVICING CONSUMERS WITH SPECIALIZED HYDROLOGICAL INFORMATION

M.V. Yachmenova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>North-West Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, St. Petersburg, Russia

*В данной статье рассматривается опыт работы отдела морских и гидрологических прогнозов, в обслуживании потребителей специализированной гидрологической информацией.*

*This article is concerned with the experience of the department of marine and hydrological forecasts in servicing consumers with specialized hydrological information.*

В 1933 г. была создана служба гидрологических прогнозов в Ленинградском (Северо-Западном) управлении гидрометеорологической службы. Специальная группа занималась изучением зажорных явлений на р. Неве и в зиму 1935-1936 г. с заблаговременностью 2 месяца предупредила партийные, советские и народно-хозяйственные организации города о большом зажоре на р. Неве.

С этого периода группа начала работы над созданием методической базы для гидрологических прогнозов путем создания фондов, сбора материалов наблюдений гидрологических и метеорологических элементов. Группой составлялись долгосрочные прогнозы вскрытия и замерзания рек.

В 1941 г. были составлены первые методические записки по долгосрочным прогнозам половодья, ледового режима. В годы Великой Отечественной войны созданный из специалистов Управления и Гидрологического института оперативный отдел готовил методические пособия, выпускал фоновые гидрологические и краткосрочные прогнозы толщины льда, справки режимного характера, сведения о состоянии отдельных водоемов. Для обслуживания “дороги жизни” на Ладоге производились ледовые авиаразведки. Составлялись карты ледовой обстановки Ладоги, Невы, Финского залива.

С развитием народного хозяйства повышались требования к гидрометслужбе. Разрабатывались и создавались новые методы прогнозов.

В настоящее время в зону ответственности отдела гидрологических прогнозов ФГБУ «Северо-Западного УГМС» входят Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининградская области и Республика Карелия. В отделе гидрологических и морских прогнозов составляются прогнозы разной заблаговременности по водным объектам Ленинградской, Новгородской и Псковской областей, по территории Карелии и Калининградской области – Карельским ЦГМС и Калининградским ЦГМС филиалами ФГБУ «Северо-Западного УГМС».

Основная задача отдела гидрологических прогнозов – обеспечение организаций и предприятий данными о текущем состоянии водных объектов и прогнозами наиболее важных элементов гидрологического режима, консультациями и справками по всем вопросам, связанным с гидрологическим режимом, предупреждения об опасных гидрологических явлениях населения и заинтересованных организаций.

Основные потребители отдела – судоходство, гидроэнергетики, коммунальные службы, организации деятельность которых связана с водными объектами.

Сбор данных о текущем состоянии водных объектов и метеорологической обстановке в их бассейнах является одним из важнейших этапов работы отдела. Для получения этих данных привлекается сеть станций и постов, которая называется информационной. Информационная сеть организуется таким образом, чтобы результаты наблюдений были полными, надежными, результативными и поступали бы своевременно. Вместе с тем она организуется так, чтобы

оперативная работа службы гидрологических прогнозов могла осуществляться при возможно меньшем количестве станций и постов с учетом требований обслуживаемых организаций и особенностями режима водных объектов. Решающим условием привлечения станции (постов) к информации является наличие вблизи них средств связи.

В отдел гидрологических прогнозов поступает гидрометеорологическая информация с постов государственной наблюдательной сети ФГБУ «Северо-Западного УГМС», ФГБУ «Северное УГМС». Содержание гидрологической информации определяется кодом КН-15. Она включает в себя сведения об уровнях и температуре воды, ледовых явлениях, осадках, толщине льда, измеренных расходах, температуре воздуха и осадках.

Данные, полученные в результате проведения снегосъемок, позволяют оценить запасы воды в снеге в бассейнах рек и озер. Эта информация передается по коду КН-24 и включает в себя сведения о высоте, плотности и запасах воды в снежном покрове, а также наличии ледяной корки, характеристики почвы.

Частота и период проведения наблюдений на гидрологических постах и станциях планируется в зависимости от режима водных объектов и необходимости в этих сведениях для анализа гидрометеорологической обстановки и составления прогнозов, а также в зависимости от потребностей обслуживаемых организаций. План передачи гидрометеорологической информации согласуется Гидрометцентром России.

На конец сентября 2018 года действует 212 гидрологических постов, из них информационных – 118. Количество установленных автоматических гидрологических комплексов (АГК) – 74, из них речных – 68, озерных – 5. Планируется установить еще 28 комплексов.

Гидрометеорологическая информация передается по коду:

- КН-15 - один раз в сутки в 8 часов утра. При необходимости проводятся и передаются дополнительные наблюдения.

- КН-24 - один раз в декаду или в пятидневку.

Гидрологическая и снегомерная информация передается, в основном, по каналу связи или через интернет, некоторые сводки передают по телефону или почтой. Гидрологическая информация по кодам КН-15, КН-24, поступает в отдел и обрабатывается специальной программой АРМ-прогнозист, которая дешифрирует эти телеграммы, заносит информацию в таблицы, строит график хода уровней. Одновременно производится первичный контроль, поступивших данных и их анализ. Данные снегосъемки обрабатываются специальной программой. Для обработки и хранения данных, поступающих с АГК, был создан «Центр сбора данных».

Деятельность службы гидрологических прогнозов основывается на анализе условий формирования гидрологических явлений в данном году и в прошлые годы, на глубоком знании гидрологического режима и научно обоснованных методах его прогноза. Для этого требуется фонд материалов гидрологических и метеорологических наблюдений.

Материалы фонда, наряду с информационными данными о текущем состоянии водных объектов и погоды, являются основой, на которой строится оперативная и исследовательская работа отдела прогнозов.

В отделе выпускаются следующие виды прогнозов:

Прогнозы ледового режима:

- сроки появления льда и начало образования ледостава на реках и озерах,
- сроки вскрытия и очищения ото льда рек и озер.

Прогнозы водного режима:

- максимального уровня весеннего половодья и дождевых паводков рек и озер,
- максимального зажорного уровня р. Невы,
- месячного и квартального притока в водохранилища ГЭС,
- среднемесячного уровня крупных озер и озерных рек.

Все прогнозы составляются по методикам, разработанным в отделе гидрологических прогнозов, одобренным техническим советом. Календарные сроки выпуска основных долгосрочных прогнозов определяются потребностью обслуживаемых организаций и возможностями методики этих прогнозов и утверждаются Гидрометцентром России. Долгосрочные прогнозы выпускаются в строго установленные планом сроки и согласовываются с Гидрометцентром России.

На реках территории Северо-Запада России 40-50% годового стока приходится на период весеннего половодья и именно в этот период наблюдаются высокие уровни воды, и раз в два-три года происходят затопления (подтопления) населенных пунктов. Поэтому большое практическое значение имеет прогноз максимального уровня весеннего половодья. Он помогает планировать работу организациям, деятельность которых связана с водными объектами, и проводить превентивные меры для уменьшения ущерба в период возникновения опасных гидрологических явлений.

При ожидающемся высоком половодье население заранее предупреждается, чтобы подготовиться к нему: строятся настилы около домов, укрепляют берега рек.

Продолжительность затопления населенных пунктов, обусловленная высокой водностью рек, не превышает несколько дней и лишь очень редко может достигать 10-15 суток.

Затопления (подтопления) населенных пунктов, обусловленные высокой водностью озер Ильмень, Сайма, Ладожского, могут наблюдаться от нескольких дней до нескольких месяцев. Наиболее частые (один раз в два-три года) и продолжительные затопления наблюдаются в Ильмень – Волховской пойме. Наиболее продолжительные затопления были отмечены в 1955 году: они начались в конце апреля и закончились во второй половине июня.

Высокие дождевые паводки бывают редко. Однако случаются ситуации, когда сильные интенсивные дожди могут вызвать опасные гидрологические явления, нередко приводящие к значительному материальному ущербу. Можно привести пример когда в результате сильного дождя в августе 2012 года на территории Карелии произошел прорыв плотины Маткожненской ГЭС на реке Нижний Выг, вызвавший размыв участка насыпи автомобильной и железной дорог. Так же высокие паводки наблюдались весной 2011 г. и 2013 г. (рис. 1, 2)



Рис. 1. Затопления улиц г. Тихвина 21 апреля 2013 г.



Рис. 2. Затопления п. Пролетарий Новгородская область 11 мая 2011 г.

Опасными гидрологическими явлениями, которые могут привести к значительному материальному ущербу, являются как высокая водность на реках и озёрах, так и низкая водность. В период низкой водности многие районы Ленинградской, Псковской и Новгородской областей испытывают затруднение с обеспечением водой, отсутствием воды в колодцах; могут оголяться водозаборы, у судоходства возникает затруднение с прохождением южной мелководной части Ладожского озера, а также озера Ильмень и реки Волхов.

Отдел морских и гидрологических прогнозов так же занимается выпуском прогноза притока воды в водохранилища ГЭС, который необходим для планирования, регулирования стока и рационального использования водных ресурсов. Частые проблемы с водностью возникают на реках Волхов и Свирь, на которых расположены Волховская ГЭС и каскад Свирских ГЭС. Гидрологические прогнозы помогают в решении этих проблем.

Не менее важное значение имеют ледовые прогнозы, используемые для планирования работы водного транспорта, для своевременного начала и окончания навигации, расстановки флота в пункты зимовки, а также при планировании режимов работы ГЭС.



Для анализа ледовой обстановки на крупных водных объектах используется спутниковая информация, которая помогает дать характеристику пространственного распределения льда на акватории, выявить особенности вскрытия и замерзания, более полно осветить ледовый режим водных объектов. Также спутниковая информация используется для определения границ снежного покрова, мест расположения зажоров (заторов), зон разлива рек и озер.

Кроме этого, отделом выпускаются ледовые бюллетени крупных озер и восточной части Финского залива. Бюллетень состоит из карты – схемы с фактической ледовой обстановкой, обзора ледовой обстановки и краткосрочного прогноза (рис. 3, 4).

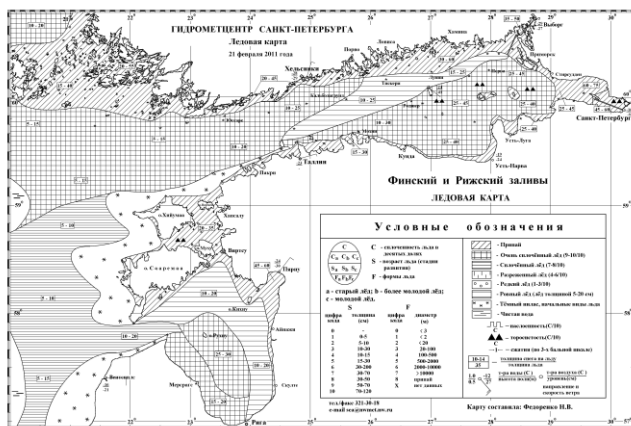


Рис.3. Ледовая карта, Финский и Рижский заливы 21 февраля 2011 г.

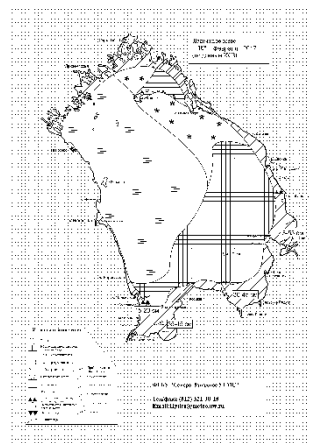


Рис.4. Ледовая карта Ладожского озера 16 февраля 2017 г.

В рамках адресного обслуживания мореплавания в Финском заливе производится международный оперативный обмен ледовой информацией. Ежедневно составляются ледовые карты по акватории Финского залива, выпускаются и передаются в международный обмен ледовые обзоры (ICE REPORTS) по Балтийскому Морскому Ледовому Коду.

В период формирования ледостава на многих реках наблюдаются зажорные явления и, в зависимости от их мощности, выше по течению могут наблюдаться затопления населенных пунктов, ниже по течению - оголяться водозаборы.

Зажорные явления разной интенсивности на Неве наблюдаются ежегодно. При образовании мощных зажоров происходят затопления (подтопления) прибрежной зоны в городской черте Санкт-Петербурга, жилых и хозяйственных построек в населенных пунктах, расположенных в устьевых участках притоков Невы. Также может происходить забивка решеток водозаборов шугой. В результате подвижек льда образуются навалы льда на берега, может произойти повреждение набережных, мостов и снос вниз по течению судов и строительной техники, задействованной в ремонте. Также существует опасность гибели людей, работающих на льду. В результате зажорных явлений в истоке Невы ниже по течению реки могут оголяться водозаборы.

В ноябре на период формирования зазора в отделе гидропрогнозов организуется нельская зажорная служба. Открываются дополнительные гидрологические посты, при необходимости выполняются учащенные наблюдения. Для более подробного освещения ледовой ситуации проводятся маршрутные обследования ледовой обстановки на реке Неве. Осуществляется подготовка консультаций, справок и краткосрочных прогнозов хода уровней воды, продвижения кромки ледостава. В случае угрозы опасных гидрологических явлений выпускаются предупреждения.

В прошлом веке для ослабления зажорных явлений пробовали проводить взрывные работы, но ситуация только ухудшалась. В последние годы для уменьшения негативных воздействий зажорных явлений был создан речной ледокол «Невская застава». Его задача в начальный период формирования зазора в черте города поддерживать канал во льду и тем самым понижать зажорные уровни воды. Эти действия заметно уменьшают зоны подтопления населенных пунктов или даже полностью предотвращают их.

В последнее время группа пополнилась молодыми, инициативными специалистами, которые не только освоили работы и методики предшественников, но и сами активно участвуют в дальнейшем изучении проблем, связанных с гидрологическими прогнозами на территории обслуживания.

ТРУДЫ ВТОРОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ:  
ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

Электронное издание  
ХИМИЗДАТ