



**ФГБОУ ВО "Российский государственный  
гидрометеорологический университет"**

**Метеорологический факультет**

# **МАТЕРИАЛЫ**

**ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-  
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**"Гидрометеорология и  
физика атмосферы:  
современные достижения и  
тенденции развития"**

**Санкт-Петербург,  
21-23 марта 2023 г.**

**Материалы Всероссийской  
научно-практической конференции  
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ФИЗИКА  
АТМОСФЕРЫ: СОВРЕМЕННЫЕ  
ДОСТИЖЕНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ»  
21–23 марта 2023 г.**

Санкт-Петербург  
Издательско-полиграфическая ассоциация  
высших учебных заведений  
2023

УДК 551.5  
ББК 26.3  
М34

Р е д к о л л е г и я:

Анискина О. Г., Волобуева О. В., Дробжева Я. В.,  
Ермакова Т. С., Симакина Т. Е.

**Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития». 21–23 марта 2023 г. — СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2023. — 534 с.**

В издании представлены материалы докладов участников конференции по направлениям научных исследований в области внедрения современных автоматизированных и дистанционных методов наблюдений и систем сбора/обработки данных, цифровых технологий в гидрометеорологии, анализа и прогноза изменений климата, математического моделирования гидрометеорологических процессов, фундаментальных и прикладных проблем океанологии и гидрологии, совершенствования методов прогнозов погоды. В конференции участвовали ученые и студенты научно-исследовательских организаций и учреждений Российской академии наук, Росгидромета, Минобрнауки России.

Материалы конференции могут быть полезными специалистам в области геофизики, физики атмосферы, гидрометеорологии, гидрологии, океанологии, экологии, а также студентам соответствующих специальностей.

*Материалы докладов выходят в редакции авторов.*

---

Подписано в печать 05.06.2023. Формат 70×100/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 43,39. Тираж 50. Заказ 106.

---

Выпущено Издательско-полиграфической ассоциацией  
высших учебных заведений  
с готового оригинал-макета, предоставленного заказчиком  
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 28, лит. А,  
пом. 3-Н ком. 191. Тел.: (812) 987-75-26  
mediabooks.print@gmail.com www.mediabooks.ru

© Коллектив авторов, 2023  
© Издательско-полиграфическая  
ассоциация высших учебных  
заведений, 2023

**ISBN 978-5-91155-218-3**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

<i>Верещагина Н.О., Дробжева Я.В.</i> .....	10
Особенности подготовки кадров в области гидрометеорологии на метеорологическом факультете РГГМУ	

### СЕКЦИЯ 1. Внедрение современных автоматизированных и дистанционных методов наблюдений и систем сбора/обработки данных, перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в гидрометеорологии

16

<i>Василевская Л.Н., Котович Н.Г., Лисина И.А., Огородников Д.М., Костык В.А., Вихренко С.В.</i> .....	16
Обоснование метеорологического мониторинга на автомобильной трассе г.Владивостока	
<i>Ефременко А.Н., Караваяев Д.М., Королева О.А., Шукин Г.Г.</i> .....	19
Перспективы метода наземной радиотеплолокации для предупреждения связанных с облаками опасных явлений	
<i>Лялюшкин А.С., Коломеец Л.И., Хайбуллов М.В., Топтунова О.Н.</i> .....	22
Анализ радиолокационных характеристик смерчеобразующих конвективных ячеек	
<i>Расторгуев И.П., Ефименко А.Е., Бойко Н.Д.</i> .....	25
Совершенствование алгоритмов прогноза метеорологических величин на основе данных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов	
<i>Федосеева Н. В., Львов А. Л.</i> .....	31
Анализ вулканических выбросов по спутниковым изображениям с использованием метода главных компонент	

### СЕКЦИЯ 2. Цифровые технологии в гидрометеорологии: интернет, дистанционное зондирование, ГИС, искусственный интеллект, формирование единого фонда цифровых гидрометеорологических пространственных данных

36

<i>Аванесов М.Ю., Будко Н.П., Васильев Н.В.</i> .....	36
Представление и обработка измерительной информации на основе витрин big data мониторинга состояния распределенной геоинформационной системы	
<i>Вязилов Е.Д.</i> .....	39
Новая парадигма развития гидрометеорологического обеспечения на основе цифровой трансформации	
<i>Гоголев Д.Г.</i> .....	41
Межгодовые вариации поля температуры поверхности Балтийского моря в ранневесенний период по спутниковым данным	
<i>Дорожко Н.В., Светашев А.Г., Турьишев Л.Н., Сидоркина Е.И.</i> .....	46
Использование цифровых методов для анализа атмосферы	
<i>Ермолович Ю.Г., Давыдовский А.Г.</i> .....	51
Проблемы и перспективы цифровой трансформации образовательной подготовки специалистов-гидрометеорологов	
<i>Жуков Д.Ф., Пустовалов К.Н., Нагорский П.М.</i> .....	54
Исследование затопленной конвекции во фронтальной облачности над Западной Сибирью по данным активного и пассивного спутникового зондирования	
<i>Козлова Н.А., Канарский И.Д., Королёва О.А., Подчасский А.С., Беленя Е.С.</i>	
Геоинформационная система диагностики опасных природных процессов и явлений	58
<i>Кулижская П.В.</i> .....	60
Прогноз типа тумана на аэродроме Пулково с помощью нейронных сетей	
<i>Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.</i> ...	65
Внедрение Автоматизированной технологии «АРМ-АГРОПРОГНОЗ» в региональных подразделениях Росгидромета	
<i>Симакина Т.Е., Федосеева Н.В., Делиева М.Ю., Соловых А.Д.</i> .....	70
Использование данных мультиспектральной съемки при анализе орографических волн	

<i>Тимощук А.С., Новиков А.В., Головин С.С., Решитов А.С.</i> .....	73
Исследование аномалий состояния озонового слоя в Арктическом регионе по спутниковым данным за 2022 год	
<b>СЕКЦИЯ 3 Анализ и прогноз изменений климата, климатические риски</b>	<b>79</b>
<i>Авдеев С.М., Белолобцев А.И., Асауляк И.Ф., Дронова Е.А.</i> .....	79
Динамика суховейных явлений в районах лугового кормопроизводства	
<i>Аитова О. А., Канухина А. Ю.</i> .....	82
Перемещение полей радиозаха при внутримассовых грозах в Пулковско	
<i>Алексеев Г.В., Харланенкова Н.Е., Вязилова А.Е.</i> .....	85
Арктическое усиление: роль междуширотного обмена в атмосфере	
<i>Алексеева Е.Г., Кошкина А.С., Анискина О.Г.</i> .....	86
Исследование динамического и термического состояния средней атмосферы высоких широт на основе данных реанализа	
<i>Виноградов М.В., Тихонова Н.А., Захарчук Е.А.</i> .....	91
Многолетние колебания уровня Балтийского моря во второй половине XX – начале XXI века	
<i>Григорьева А.А., Лобанов В.А.</i> .....	95
Влияние изменения климата на гидрологические характеристики рек республики Саха (Якутия)	
<i>Иванова И.А., Топтунова О.Н., Тараканова А.Е.</i> .....	100
Анализ явлений погоды сильной интенсивности на территории республики Коми	
<i>Крюкова С.В., Лапченко В.А., Симакина Т.Е.</i> .....	104
Эпизоды длительного увеличения концентрации приземного озона в Крыму	
<i>Латонин М.М., Башмачников И.Л., Бобылев Л.П.</i> .....	108
Дипольная структура меридиональных атмосферных потоков тепла и влаги через параллель 70°с.ш.	
<i>Латышева И.В., Лоценко К.А., Обухова М.Н.</i> .....	110
Современные характеристики монгольских циклонов и их влияние на безопасность полетов в районе аэродрома Иркутск	
<i>Лобанов В.А., Окуличева А.А.</i> .....	114
Современные и будущие изменения климата Ленинградской области	
<i>Ложкин Д.М., Шевченко Г.В., Цхай Ж.Р.</i> .....	119
Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности Берингова моря по данным реанализа ERA5	
<i>Лоценко К.А., Латышева И.В., Москалев Н.С.</i> .....	124
Циркуляционно-климатические факторы развития сельского хозяйства на юге Иркутской области	
<i>Мами Магбини Токпа, Лобанов В.А.</i> .....	129
Климат центральной Африки и его изменения в настоящем и будущем	
<i>Мартин-Васкес Д.Х., Гордеева С.М., Малинин В.Н.</i> .....	134
К оценке межгодовой изменчивости температуры поверхности океана в области Перунского апвеллинга	
<i>Медведько М.В., Гледко Ю.А., Дорожко Н.В.</i> .....	137
Анализ пространственно-временного изменения температуры воздуха и осадков на территории Беларуси	
<i>Нестерова А.О., Волобуева О.В.</i> .....	142
Влияние погодных условий на миграцию птиц на примере аэродрома Пулковско	
<i>Новикова О.А., Нестерова А.О., Волобуева О.В.</i> .....	146
Оценка изменений фазы бутонизации винограда в Курганской области: экспериментальные аспекты и возможные причины изменений	
<i>Переvedенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.</i> .....	150
Изменения климата на территории республики Татарстан	
<i>Рябова С.А.</i> .....	154
Фрактальность температуры воздуха по данным измерений на горе Цугшпитце (Германия)	

<i>Седова А.А., Хайретдинова В.Р., Нафикова Э.В., Шаниязова А.Ф.</i> .....	157
Анализ проблем расчета углеродного следа от автомобильного транспорта	
<i>Серых И.В., Толстиков А.В.</i> .....	160
Изменения основных гидрометеорологических параметров западной части российской Арктики в 1980-2021 годы	
<i>Топтунова О.Н., Анискина О.Г., Моцаков М.А., Голубева М.А.</i> .....	163
Типовые поля геопотенциала при турбулентности ясного неба	
<i>Топтунова О.Н., Иванова И.А.</i> .....	167
Анализ типичных условий возникновения тропических мезоциклонов в Японском море	
<i>Топтунова О.Н., Анискина О.Г., Иванова И.А.</i> .....	170
Анализ изменений Северо-Атлантического колебания	
<i>Хайретдинова В.Р., Седова А.А., Александров Д.В.</i> .....	175
Анализ современного состояния проблемы определения накопления углерода в экосистемах	
<i>Чернякова И.М., Гледко Ю.А., Дорошко Н.В.</i> .....	178
Пространственно-временные закономерности распределения гололеда на автомобильных дорогах республики Беларусь	
<i>Шатилина Т.А., Цицаишвили Г.Ш., Радченкова Т.В.</i> .....	181
Внутригодовой ход частоты крупных положительных аномалий температуры воздуха в прибрежных районах Охотского и Японского морей в 1950-2021 гг. ....	
<i>Ширяева Е.И.</i> .....	186
Проблематика и дополнения регионального плана адаптаций к изменениям климата Владимирской области .....	
<i>Шишкин Г.И.</i> .....	189
Высота пограничного слоя атмосферы и тенденции её изменения на территории северной Евразии .....	
<b>СЕКЦИЯ 4. Математическое моделирование гидрометеорологических процессов</b>	194
<i>Валита Г. К. М. В., Мханна А.И.Н., Неробелов Г.М.</i> .....	194
Использование модели ENVIRO-NIRLAM для оценки качества атмосферного воздуха в Великобритании	
<i>Ефременко А.Н., Ермакова О.А.</i> .....	199
Методика автоматизированного расчета динамических характеристик лавин	
<i>Журавлева А.Д., Скороспехова Т.В.</i> .....	203
Математическое моделирование стока с олиготрофных болот в условиях нарушения стационарности временных рядов (на примере болота Ламмин-Суо)	
<i>Зверько П.В., Анискина О.Г.</i> .....	208
Моделирование боры и явлений с ней связанных	
<i>Моктар Мохамед</i> .....	212
Восстановление дальности видимости по реанализу MERRA-2	
<i>Ромащенко Д.Д., Булгаков К.Ю.</i> .....	216
Воспроизведение профиля ветра по результатам модели прогноза ветровых волн	
<i>Фролов А.В., Соломонова И.В.</i> .....	218
Моделирование многолетних колебаний влагозапаса на речном водосборе	
<i>Царев В.А., Динь Н.Х.</i> .....	225
Особенности обновления придонной воды в Борнхольмском бассейне по результатам моделирования	
<i>Офори М.К., Кашилева Л.В., Михайловский Ю.П.</i> .....	230
Анализ различий процесса электризации облаков тропических и умеренных широт при столкновении градин с облачными каплями	
<b>СЕКЦИЯ 5. Фундаментальные и прикладные проблемы океанологии и гидрологии</b>	234
<i>Ахтямова А.Ф., Травкин В.С.</i> .....	234
Фронтальные зоны Норвежского моря и их вихревая динамика	

<i>Бобровицкая Н.Н., Антропов А.В., Турутина Т.В.</i> .....	236
Результаты применения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для определения высотных отметок гидрологических постов	
<i>Бухарицин П. И.</i> .....	240
История возникновения и становления зимних плаваний на нижней Волге и в северной части Каспийского моря	
<i>Гицца Я.В.</i> .....	245
Изучение временных параметров гидрохимического состава прибрежных вод Сухумской бухты	
<i>Гмыря Е. И.</i> .....	249
Морфометрические характеристики участка разделения реки Преголи на устьевые рукава	
<i>Двоеглазова Н.В., Чубаренко Б.В.</i> .....	252
Натурное изучение проникновения вод Калининградского залива вверх по реке Преголе (юго-восточная Балтика)	
<i>Коробченкова К.Д., Куприянова А.Е., Килесо А.В.</i> .....	255
Гидрометеорологические условия выхолаживания поверхностных вод юго-восточной части Балтийского моря	
<i>Кравцова К.В., Подрезова Н.А.</i> .....	258
Тепловые потоки в многослойной среде атмосфера-снег-лёд-вода на примере Финского залива	
<i>Куприянова А. Е., Гриценко В. А.</i> .....	263
О смещении вод погружающегося термика и подстилающих вод	
<i>Марыжыхин В.Е., Шевченко Г.В., Частиков В.Н.</i> .....	266
Апвеллинг у юго-западного побережья о. Сахалин, индуцируемый ветром	
<i>Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.</i> .....	271
Межгодная изменчивость температуры поверхности океана в полярных широтах Атлантического океана	
<i>Смирнов М.А., Малинин В.Н., Митина Ю.В., Мартина-Васкес Д.</i> .....	276
Изменчивость уровня океана в области Эль-Ниньо— Южное Колебание и его влияние на уровень в зоне Перуанского апвеллинга	
<i>Суховило Н. Ю.</i> .....	279
Оценка эффективности потепления озер Беларуси	
<i>Толмачева С.А.</i> .....	282
Правовые аспекты водопользования в условиях изменяющегося климата (на примере водных ресурсов Киргизии и ТАДЖИКИСТАНА)	
<i>Травкин В.С., Белоненко Т.В.</i> .....	287
Топографические волны Курило-Камчатского региона	
<i>Травкин В.С., Жмур В.В., Белоненко Т.В.</i> .....	289
Пространственно-временная эволюция энергетики мезомасштабных вихрей Лофотенской котловины	
<i>Чалганова А.А.</i> .....	290
К вопросу о необходимости включения оценки риска наводнений в публичный атлас водных объектов	
<i>Шевченко А.И., Пузова Н.В., Белова К.В., Мельников Д.А.</i> .....	292
Информационный портал «Гидрологическая наблюдательная сеть российской федерации», как инструмент оценки гидрологического режима рек РФ	
<i>Шевченко Г.В., Цой А.Т.</i> .....	295
Суточные шельфовые волны у берегов северных и южных Курильских островов по данным спутниковой альтиметрии	
<i>Корнеева А.О., Ульянова М.О.</i> .....	300
Концентрации метана в поверхностном и придонном слоях воды в юго-восточной части Балтийского моря в летний, осенний и зимний периоды 2022 г.	
<i>Филатов Н.Н., Бакагин В.Н., Исаев А.В., Кондратьев С.А., Савчук О.П.</i> .....	302
Фундаментальные исследования экосистем водоема и его водосбора и обоснования принятия управленческих решений	

<i>Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В.</i> .....	306
Особенности пространственно-временной изменчивости температуры поверхности моря в зоне влияния стока реки Амур	
<b>СЕКЦИЯ 6. Совершенствование методов прогноза погоды</b>	<b>311</b>
<i>Александров В.Я., Капустин А.В., Троицкий И.В., Харсов А.А.</i> .....	311
Некоторые особенности метеорологического обеспечения авиации в Антарктиде	
<i>Александров В.Я., Капустин А.В., Троицкий И.В., Харсов А.А.</i> .....	315
Анализ влияния метеорологических и геофизических факторов полярных областей на человека	
<i>Винокурова Е.В., Дробжева Я.В., Иванова Е.П., Ламерт Н.Н.</i> .....	319
Оценка успешности прогнозов скорости ветра для порта Мурманска	
<i>Капустин А.В., Троицкий И.В., Харсов А.А.</i> .....	324
Особенности гидрометеорологического обеспечения базовой патрульной авиации при решении специальных задач	
<i>Киселева Е.М., Волобуева О.В.</i> .....	328
Восстановление синоптического положения в условиях недостатка метеорологической информации	
<i>Кулюшина А.В., Кириченко О.Г.</i> .....	333
Использование синоптиком метода статистической интерпретации выходных данных численных прогнозов погоды для повышения качества прогнозирования	
<i>Лукиа М.В.</i> .....	337
Приземные метеорологические и высотные аэрологические условия образования гроз в холодный период года на примере аэродрома Минск-2	
<i>Расторгуев И.П., Жабборов К.Х., Охунжонов Г.Р.</i> .....	341
Методика прогноза опасных для авиации скоростей ветра по аналоговым спутниковым снимкам на основе местных физико-географических особенностей	
<i>Темников Д.А., Ефременко А.Н., Андрейченко М.И.</i> .....	346
Методы прогнозирования гроз для района космодрома Плесецк	
<b>СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ № 1. Исследование окружающей среды</b>	<b>352</b>
<i>Акбаров Х.Б., Кашлева Л.В.</i> .....	352
Исследование ветрового режима для целей ветроэнергетики Узбекистана	
<i>Алексеева Н.Ю., Радченко В.Н.</i> .....	355
Анализ влияющих на организм человека барических образований над Санкт-Петербургом	
<i>Астанина Ю.В., Лаврова И.В.</i> .....	359
Короткопериодная изменчивость температуры воздуха на территории республики Саха	
<i>Баранова В.В.</i> .....	364
Современные изменения Гольфстрима и его связь с атмосферными процессами	
<i>Бикбулатов Б.А.</i> .....	367
Сезонный ход высоты тропопаузы на разных широтах	
<i>Габидуллина С.В., Мханна А.И.Н.</i> .....	371
Корреляция между основными загрязняющими газами и РМ <sub>2,5</sub> в прибрежных и внутриматериковых городах провинции Канвондо, Южная Корея	
<i>Ганеватте В.П.</i> .....	376
Оценка влияния температуры почвы на урожайность картофеля в Ленинградской области	
<i>Глушкова В.Д., Кашлева Л.В.</i> .....	381
Облака с направленной осью развития	
<i>Головки А.Г., Ефимова Ю.В., Лопуха В.О.</i> .....	385
Анализ бризовой циркуляции НА Ладожском озере по спутниковым данным	
<i>Данченков Д.И.</i> .....	388
Влияние метеорологических условий на концентрацию загрязняющих веществ	
<i>Елисеев А.В.</i> .....	393
Переносная система для получения и передачи метеорологических данных	

<i>Еникеева Э. Р., Бубнова Я. В.</i> .....	395
Крузенштерн как ученый, внесший вклад в метеорологию	
<i>Ермакова Т.С., Кондратова М.А.</i> .....	399
Влияние внезапного стратосферного потепления на погоду полярного региона	
<i>Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С.</i> .....	404
Моделирование погрешностей пеленгации радиозонда методом Монте-Карло	
<i>Восканян К.Л., Кабанова А.Д.</i> .....	408
Изменчивость метеопараметров по данным дорожной станции	
<i>Кишкурно А.А., Кашлева Л.В.</i> .....	413
Особенности острова тепла города Минска	
<i>Кожухова А.Б., Ефимова Ю.В.</i> .....	417
Анализ траекторий южных циклонов, выходящих на европейскую территорию России	
<i>Лебедев А. Б., Мухамедшин М. И., Шишкин А. Д.</i> .....	420
Концептуальные вопросы разработки методики автоматического расчета характеристик климатического описания аэродрома	
<i>Лумпова Н.С.</i> .....	424
Внезапное стратосферное потепление в южном полушарии в 2002 году	
<i>Максимова С.А.</i> .....	427
Анализ сохранения особо охраняемых природных территорий посредством устойчивого развития	
<i>Мальгина Т.И., Кашлева Л.В.</i> .....	430
Сравнение электрической активности грозовых облаков на Северном Кавказе и в северо-западном регионе ЕТР	
<i>Павловский А.А., Медведева А.Я.</i> .....	434
О снижении выбросов парниковых газов от объектов по обращению с твердыми коммунальными отходами в Санкт-Петербурге	
<i>Мехова О. С., Смирнова Д. А., Фрей Д. И.</i> .....	438
Сравнение судовых и автономных наблюдений в канале Вима, разломе Романш и проходе Кейн	
<i>Миронова Д. В., Еришова А. А., Дворников А. Ю.</i> .....	442
Анализ пространственного распределения микропластика в водной среде Невской губы	
<i>Озерова Н. А.</i> .....	446
Исследование особенностей эволюции тропических циклонов, влияющих на погоду Дальнего Востока России	
<i>Пронин Е.Н.</i> .....	450
«Зимние грозы» как опасное метеорологическое явление	
<i>Ситникова Я.А.</i> .....	453
Моделирование процессов формирования запасов воды в снеге и водоотдачи	
<i>Сергеева Н.О.</i> .....	458
Анализ смога в Пекине	
<i>Соловых А.Д., Симакина Т.Е.</i> .....	461
Исследование орографических волн и безразмерного числа Фруда	
<i>Степина А.А., Подрезова Н.А.</i> .....	465
Оценка изменчивости площади льда Карского моря	
<i>Трапина Т.В., Маслова Н.В.</i> .....	467
Анализ экологической среды города Воронежа	
<i>Тюриков И.А., Саенко А.Г.</i> .....	470
Нахождение коэффициентов перехода от радиолокационной отражаемости к интенсивности осадков для METEOR 50DX	
<i>Фурлетов Н.М.</i> .....	474
Революция искусственного интеллекта: формирование будущего метеорологии	
<i>Хохлин А.О.</i> .....	477
Обучающая метеорологическая станция погоды	
<i>Чекасин М.А.</i> .....	481
Влияние глобального изменения климата на смещение ареалов произрастания граната	
<i>Абдалла Шафии Джума</i> .....	484
Прогноз осадков для Танзании	

<i>Яськов А.А., Горбатенко В.П.</i> .....	486
Параметры грозových и градовых облаков над Западной Сибирью по данным спутника TERRA за 2020 г.	
<b>СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ № 2. Исследование Арктики: прошлое, настоящее и будущее</b>	492
<i>Дейна А.А., Щербакова Ю.Е.</i> .....	492
Метеорология в Арктике в период Великой Отечественной Войны	
<i>Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С.</i> .....	496
Малопараметрическое представление вертикальных профилей температуры в Арктическом регионе	
<i>Котова А.В., Федосеева Н.В.</i> .....	501
Полярные мезовихри над Баренцевым морем	
<i>Кочеткова Е.Д.</i> .....	506
Наблюдения за концентрацией парниковых газов в ГМО Тикси	
<i>Кочурова А.А., Барзут О.С.</i> .....	511
Изменение климатических норм температуры воздуха в северной части Архангельской области за период 1961–2020 гг.	
<i>Малышева А.С., Поздняков Д.В., Радченко Ю.В.</i> .....	514
Сравнение прогнозов динамики подкисления вод Арктики и вод мирового океана на конец 21-го столетия	
<i>Назарова М.И., Рыбакова А.М.</i> .....	519
Профоринтационная деятельность движущей силы России по приоритетным направлениям развития Арктики	
<i>Новикова А.С.</i> .....	524
Оценка ветроэнергетического потенциала территории Арктики	
<i>Онищенко М.К., Лигоцкий Д.Н.</i> .....	528
Уменьшение негативного влияния на экосистемы континентального Арктического шельфа при разработке подводных россыпей на примере освоения месторождения «Чокурдахское»	
<i>Романюкина С.А., Подрезова Н.А.</i> .....	532
Исследование площади льда Белого моря в зависимости от суровости зимы	

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

### **ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ РГГМУ**

Верещагина Н.О., Дробжева Я.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*n.vereshchagina@rshu.ru*

*Аннотация.* В настоящее время для реализации гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики и социальной сферы страны в условиях изменений климата, вызывающих многочисленные неблагоприятные и опасные явления погоды, особенно актуальна подготовка специалистов-практиков, а также научных исследователей, отвечающих современным вызовам, способных решать стратегические задачи Российской Федерации. Представлены цель, стратегии и задачи развития метеорологического факультета РГГМУ, а также принципы и особенности подготовки специалистов.

*Ключевые слова.* Гидрометеорологическое обеспечение, подготовка специалистов

### **FEATURES OF STAFF TRAINING IN THE FIELD OF HYDROMETEOROLOGY AT THE METEOROLOGICAL FACULTY OF RSHU**

Vereshchagina N.O., Drobzheva Ya.V.

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*Annotation.* At present, for the implementation of hydrometeorological support for the sectors of the economy and the social sphere of the country in the context of climate change, which causes numerous adverse and dangerous weather phenomena, the training of practitioners, as well as scientific researchers who meet modern challenges and are able to solve the strategic tasks of the Russian Federation, is especially relevant. The purpose, strategies and objectives of the development of the meteorological faculty of the Russian State Humanitarian University, as well as the principles and features of training specialists are presented.

*Keywords.* Hydrometeorological support, training of specialists

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) был организован в 1930 году и стал первым в мире высшим учебным заведением гидрометеорологического профиля. За 93 года на метеорологическом факультете была создана одна из лучших метеорологических школ в мире. Выпускники факультета трудились в тяжелые предвоенные годы, участвовали в боях Великой Отечественной войны, поднимали из руин народное хозяйство, заново осваивали новую технику измерений метеорологических параметров, современные методы прогнозирования погоды и климата и мониторинга окружающей среды. В разные годы факультетом руководили ведущие специалисты в области метеорологии: профессора Морачевский В.Г., Панин Б.Д., Тараканов Г.Г., Дивинский Л.И. В настоящее время метеорологический факультет осуществляет подготовку специалистов трех уровней: бакалавриат, магистратура и аспирантура. В университет функционирует Диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальности 1.6.18 Науки об атмосфере и климате [1].

В бакалавриате осуществляется подготовка по направлениям подготовки «Прикладная гидрометеорология» и «Гидрометеорология», включающими следующие профили: «Прикладная метеорология», «Авиационная метеорология», «Полярная метеорология и климатология», «Гидрометеорологические информационно-измерительные системы», «Метеорология». В магистратуре по направлению подготовки «Прикладная гидрометеорология», включающем следующие профили: «Прикладная метеорология» и

«Моделирование атмосферных процессов». В аспирантуре ведется подготовка научных и научно-педагогических кадров по научной специальности: «Науки об атмосфере и климате» [2].

Подготовка специалистов высшей квалификации осуществляется, в частности, в области метеорологических прогнозов, метеорологических измерений и приборов, авиационной и спутниковой метеорологии, полярной метеорологии и климатологии, охраны атмосферы и климатических рисков, цифровых технологий в метеорологии, фоновое мониторинга загрязнения атмосферы, математического моделирования атмосферных процессов и загрязнения атмосферы, в том числе, для Арктического региона, прогнозирования опасных и неблагоприятных гидрометеорологических условий и др.

#### Соответствие уровня подготовки специалистов требованиям Всемирной Метеорологической Организации (ВМО)

Российский государственный гидрометеорологический университет, - единственный вуз в Российской Федерации имеет статус Регионального метеорологического учебного центра Всемирной метеорологической организации (ВМО) в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 25.11.1994 № 1298 и на основании Соглашения между Правительством Российской Федерации и Всемирной метеорологической организацией от 20.01.1995, подписанного Генеральным секретарем ВМО г-ном Г.О.П. Обаси и Руководителем Росгидромета А.И. Бедрицким.

#### Цель, стратегии и реализуемые задачи развития метеорологического факультета

В настоящее время для реализации гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики и социальной сферы страны в условиях изменений климата, вызывающих многочисленные неблагоприятные и опасные явления погоды, особенно актуальна подготовка кадров в данной области.

Целью реализации образовательных программ на метеорологическом факультете является подготовка высококвалифицированных, конкурентноспособных специалистов-практиков, а также научных исследователей, с учетом современных вызовов и стратегий развития Российской Федерации.

Разработанные на факультете стратегии развития и задачи, реализуемые в рамках данных стратегий, направленные на достижение поставленной цели, заключаются в следующем.

*Стратегическое направление 1.* Сохранение высокого качества образования и его повышение с учетом новых достижений в области гидрометеорологии и цифровых технологий и, соответственно, конкурентноспособных кадров.

Задачи: непрерывная работа с работодателями по выявлению современных требований к выпускникам; согласование и разработка рабочих программ дисциплин в соответствии с потребностями работодателей: внедрение в учебный процесс новых дисциплин, междисциплинарных курсов; подготовка педагогических работников, прошедших специальную подготовку и обладающих необходимой квалификацией для организации работы в дистанционном режиме; заключение договоров о взаимодействии и сотрудничестве с ведущими организациями в области гидрометеорологии; мониторинг удовлетворенности работодателей качеством подготовки бакалавров; проведение мероприятий, направленных на преемственность уровней образования в контексте непрерывности: бакалавриат-магистратура-аспирантура.

*Стратегическое направление 2.* Эффективное управление качеством образования и совершенствование механизма управления учебным процессом.

Задачи: разработка фондов оценочных средств с учетом современных практических и научных достижений; непрерывное обновление учебно-методического обеспечения дисциплин; организация плановых мероприятий, направленных на проведение мониторинга качества образования обучающихся; проведение анкетирования студентов на степень удовлетворенности качеством обучения, анализ полученных результатов.

*Стратегическое направление 3. Повышение качества и результативности научных исследований*

Задачи: привлечение обучающихся к работе над исследовательскими проектами, начиная с младших курсов; привлечение обучающихся к участию в студенческих конференциях, конкурсах творческих работ, в презентации результатов собственных исследований на межвузовских, региональных, всероссийских, международных; выявление талантливых студентов, а также работы по их мотивированию к поступлению в аспирантуру и получению ученой степени кандидата наук; подготовка и публикация статей.

Стратегическое направление 4. Развитие кадрового потенциала и системы управления

Задачи: обновление кадрового состава профессорско-преподавательского состава кафедр на основе преемственности: привлечение к преподавательской и научной деятельности наиболее компетентных выпускников университета, а также специалистов-практиков; повышение квалификации профессорско-преподавательского состава кафедр.

Стратегическое направление 5. Развитие Дополнительных Программ Образования (ДПО)

Задачи: разработка актуальных образовательных программ повышения квалификации и переподготовки для расширения возможности трудоустройства выпускников, в том числе, в смежных областях; привлечение к разработке и реализации программ дополнительного образования сотрудников организаций работодателей.

Стратегическое направление 6. Профорientационная работа

Задачи: разработка и системная реализация планов по профессиональной ориентации школьников; привлечение профессорско-преподавательского состава и студентов к реализации планов по профориентационной работе со школьниками и выпускниками средних профессиональных учебных заведений.

Принципы и особенности подготовки специалистов на метеорологическом факультете

На факультете реализуется триединый принцип подготовки специалистов: теория, практика, наука.

- Высокий уровень теоретического преподавания определяется, в том числе, глубоким изучением физики и химии атмосферы, методов прогноза метеорологических полей и явлений, методов и средств наблюдения геофизических процессов, методов математического моделирования природных процессов, методов обработки результатов наблюдений и моделирования гидрометеорологических процессов, современных теорий изменения климата, региональных особенностей метеорологических процессов (метеорология полярных регионов, экваториальной зоны и т.п.) и др.

- Формирование у студентов практических навыков современного уровня осуществляется благодаря, в том числе, проведению производственной практики в профильных организациях, а также в Учебном бюро прогнозов погоды и учебных лабораториях, что позволяет подготовить выпускников к оперативной практической прогностической работе. Учебная практика студентов метеорологического факультета проходит на базе практик РГГМУ в д. Даймище, Гатчинский район Ленинградской области и на о. Валаам. 1-2-й курса бакалавриата - учебная практика на учебной базе РГГМУ и в профильных организациях. После 3-го курса бакалавриата - производственная практика в профильных организациях, а именно, структурных подразделениях Росгидромета: УГМС (Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) и их филиалы, Авиаметтелеком Росгидромета и его филиалы, ГАМЦ (Главный авиаметеорологический центр) и его филиалы, а также в МЧС, (ежегодно в около 40 организаций). Студенты привлекаются к реализации практически направленных мероприятий, в частности, для участия в метеорологическом обеспечении чемпионата Европы по футболу в 2021 г, проходившем в Санкт-Петербурге, участвуют в экспедициях на научно-исследовательских судах. 70% обучающихся по реализуемым образовательным программам после прохождения производственных практик (3 курс, 6 семестр) в организациях, входящих в структуру Росгидромета, получают приглашение на работу.

- Подготовка научных исследователей наряду с подготовкой специалистов практиков: в РГГМУ развита научная школа мирового уровня (сотрудники университета участвуют в реализации различных программ, соглашений и грантов, включая международные). Научные исследования студентами метеорологического факультета осуществляются 2 курса, регулярно выступают на научно-практических конференциях, например, в 2022 году студентами был представлен на ежегодной студенческой конференции 51 доклад, в 2023 г. Наши студенты являются победителями, в частности, Международного конкурса исследовательских работ для студентов и учащихся образовательных учреждений в области наук о Земле, конкурса на право получения именных стипендий Правительства Санкт-Петербурга студентам образовательных организаций высшего образования, конкурса грантов 2022 года для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга. Профессорско-преподавательский состав факультета активно занимается научно-исследовательской деятельностью, в частности, по тематикам: «Оценка климатических изменений в Арктике и холодных регионах России»; «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий»; «Исследование влияния динамических, термических и фотохимических процессов на формирование погоды и климата», «Спутниковый мониторинг опасных явлений» и др.

#### Участие метеорологического факультета в реализации Стратегической задачи РФ - освоении Арктики.

Подготовка специалистов-практиков и научных исследователей, способных решать данную задачу является одним из приоритетных направлений образовательной деятельности факультета. Так в 2019 году открыт новый профиль подготовки «Полярная метеорология и климатология» в рамках направления «Прикладная гидрометеорология»; разработаны и включены в учебные планы факультета дисциплины, изучение которых обеспечит подготовку специалистов для Арктического региона, например такие, как «Взаимодействие физических и химических процессов в Арктике», «Климат полярных регионов», «Оценка климатических ресурсов Арктических регионов», «Моделирование состава атмосферы полярных районов» и др. Студенты участвуют в научно-исследовательской деятельности по арктической тематике, участвуют в арктических экспедициях и защищают выпускные квалификационные работы по тематикам Арктического региона.

#### Внедрение в образовательный процесс курсов междисциплинарной направленности.

С целью развития творческого мышления, повышения практической и научно-теоретической подготовки, активизации процесса усвоения и обеспечения системности полученных знаний на метеорологическом факультете включаются в образовательный процесс дисциплины междисциплинарной направленности. Например такие, как «Биометеорология»; «Адаптация человека к критическим метеорологическим условиям»; «Метеорологические и гелиофизические аспекты в биометеорологии»; «Особенности метеорологического обеспечения экономики полярных областей», «Акустические волны в атмосфере» и др.

#### Образовательные программы Дополнительного Профессионального Образования (ДПО)

В настоящее время на факультете в сотрудничестве с Институтом непрерывного образования РГГМУ [3] для усовершенствования уровня образования и квалификации (роста профессиональной квалификации) студентов реализуются, в частности, такие образовательные программы, как «Долгосрочные прогнозы погоды», «Метеорологические прогнозы. Переподготовка метеорологов прогнозистов/синоптиков по программе, включающей компоненты программы БИП-М в соответствии с квалификационным стандартом Всемирной метеорологической организации (ВМО)», «Авиационная метеорология» и др. Однако систему образовательных программ ДПО необходимо на системном уровне наполнять новым содержанием, учитывая современные достижения науки и техники. В этой связи на факультете с 2023-2024 уч.г. предполагается реализовывать

программы повышения квалификации «Современные численные модели в оперативной практике прогноза погоды и тенденции их развития» и «Авиационная метеорология на английском языке», а в рамках программы переподготовки программа «Метеорологическое обеспечение гидрометеорологических изысканий в строительстве», позволяющая выпускникам трудоустроиться, в частности, в добывающие компании, топливно-энергетический комплекс, проектные и строительные организации, государственную корпорацию по атомной энергии и др.

#### Профориентационная деятельность.

РГГМУ в целом и метеорологический факультет, в частности, ведет активную культурно-просветительскую работу в области естественно-научного и экологического образования совместно с дошкольными образовательными учреждениями, школами Санкт-Петербурга. В настоящее время заключено свыше 100 договоров о сотрудничестве между РГГМУ и школами Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В университете действует «Школа Юного метеоролога», в рамках которой для школьников проводятся мастер-классы, реализуется серия научно-популярных лекций, в том числе и в онлайн формате. Более 15 лет по инициативе РГГМУ проводится Всероссийская олимпиада по географии для учащихся 5-11 классов «Земля – наш общий дом!», объединяющая ежегодно более 1000 школьников из различных субъектов Российской Федерации.

Эффективность взаимодействия вузовской науки и школьного образования достигается за счет реализации системно-деятельностного подхода, направленного на формирование универсальных учебных действий обучающихся, посредством реализации прикладных научно-исследовательских проектов.

В университете разработана Программа научно-методического и методического обеспечения образовательной деятельности «Человек. Наука. Жизнь», целью которой является создание условий для формирования единого научно-образовательного пространства, направленного на совершенствование взаимодействия вузовской науки и школьного образования на основе современных достижений науки и техники в области Наук о Земле с учетом решения стратегических задач Российской Федерации.

Преподавателями факультета ежегодно проводится Межрегиональный конкурс научно-исследовательских работ школьников «Погода и климат большой страны» совместно с отделением Русского Географического общества в Якутии и Северо-Восточным Федеральным Университетом им. М.К. Аммосова, проводится серия научно-популярных

лекций в области метеорологии и смежных с ней областях, разработанных на основе современных достижений науки и техники, с учетом решения стратегических задач России, таких как освоение Арктического региона, оценки и уменьшения негативного влияния изменения климата и загрязнения атмосферы на экономическую и социальную сферы страны, включая модельные исследования атмосферы и модели разработки прогнозов погоды; работает Гидрометеорологический лекторий; проводятся экскурсии обучающихся школ (включая виртуальные) на специализированные кафедры и лаборатории, метеорологические площадки и Учебное бюро прогнозов погоды РГГМУ и др.

Выпускники РГГМУ, граждане РФ и иностранные граждане, работают во всех оперативных подразделениях Гидрометслужбы РФ и ведущих метеорологических научно-исследовательских организациях - Гидрометцентре РФ, ГГО им. Воейкова, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, в организациях, занимающихся метеорологическим обеспечением гражданской авиации: АМЦ (авиационный метеорологический центр), АМСГ (Авиационная метеорологическая станция гражданская); Финский метеорологический институт, Университет Хельсинки, Институт Макса Планка (Германия), Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (Великобритания), Физико-математическая обсерватория, Давос (Швейцария), ФГБУ «Гидрометцентр России», Университет короля Абдулла-Азиза (Саудовская Аравия), Международный центр по дистанционному зондированию и мониторингу окружающего пространства им. Нансена (Норвегия).

Таким образом, для достижения главной цели, а именно, подготовки специалистов-практиков и научных исследователей, уровень подготовки которых отвечал бы современным требованиям, на метеорологическом факультете осуществляется систематическая работа по решению стратегических задач.

#### **Список литературы**

1. Диссертационный совет 24.2.365.02, 2023. URL: <https://www.rshu.ru/university/dissertations/>
2. Сведения об образовательной организации, 2023. URL: <https://www.rshu.ru/sveden/education/>
3. Институт непрерывного образования, 2023. URL: <https://ino.rshu.ru/>

## СЕКЦИЯ 1

# ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ И СИСТЕМ СБОРА/ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

### **ОБОСНОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ТРАССЕ Г.ВЛАДИВОСТОКА**

Василевская Л.Н., Котович Н.Г., Лисина И.А., Огородников Д.М.,  
Костык В.А., Вихренко С.В.  
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток  
*lubavass@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматривается связь погодных условий на объездной трассе Седанка-Патрокл с оперативными данными опорной метеорологической станции Владивосток для обоснования размещения АДМС.

*Ключевые слова.* Автоматические дорожные метеостанции, погодный комплекс.

### **JUSTIFICATION OF METEOROLOGICAL MONITORING ON THE ROAD OF VLADIVOSTOK**

Vasilevskaya L.N., Kotovich N.G., Lisina I.A., Ogorodnikov D.M.,  
Kostyk V.A., Vikhrenko S.V.  
Far Eastern Federal University, Vladivostok

*Annotation.* The connection of weather conditions on the Sedanka-Patrokl bypass road with the operational data of the Vladivostok reference meteorological station is considered to justify the placement of the ARMS.

*Keywords.* Automatic road meteorological stations, weather complex.

Во Владивостоке угрозу для водителей представляет большое количество как опасных, так и обычных явлений погоды: гололед (образующийся в том числе при выпадении ледяного дождя), гололедица, иней, сильные осадки (дождь и снег), снежные заносы, туман и сильный ветер. Самыми опасными из всех в холодный период являются гололедно-изморозевые явления. Из-за сложного рельефа Владивостока и пригорода возникновение аварийных ситуаций больше всего возможно на подъемах и спусках с большими уклонами, на кривых малого радиуса, на участках с ограниченной видимостью, на пересечениях в одном уровне и подходах к ним [1].

Перед службами, обеспечивающими содержание дорог, стоит нелегкая задача по своевременной обработке реагентами дорожных покрытий, расчистке снега и т.п. Эффективность таких работ определяется не только качеством реагентов, но и наличием сверхкраткосрочных прогнозов и предупреждений о начале возникновения опасных погодных явлений.

Для эффективной организации работ по борьбе с опасными метеорологическими явлениями специализированные прогнозы должны обладать высокой степенью детализации

и заблаговременностью. Для проведения профилактических работ необходимы предупреждения о возможности образования опасных ситуаций на дорогах. При этом краткосрочный прогноз погоды, является фоновым и составляется для обширных территорий, опираясь на восьмисрочные метеорологические наблюдения. Это затрудняет оценку ситуации на автомобильных дорогах для обеспечения безопасности использования отдельных их участков. Кроме этого, в общем прогнозе погоды не учитывается микроклимат в области трассы. Чтобы применить его к сложному рельефу Владивостока и пригорода необходимо периодически проводить экспедиционные, так называемые, градиентные наблюдения. Анализ которых позволит установить связи с фактическими наблюдениями на реперных метеорологических станциях Росгидромет, выполняющих наблюдения через каждые 3 часа. А также вносить коррективы в официальные прогнозы для данного участка трассы.

Для разработки таких прогнозов и предупреждений на автомобильных дорогах в состав инженерного обустройства в настоящее время вводят специальные технические средства - автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС). Установка и контроль метеостанций помогает решать вопросы по содержанию дорог, особенно в холодное время года. Это экономит количество реагентов на дорогах, а также помогает предотвратить опасные ситуации и дорожно-транспортные происшествия.

Дорожные метеостанции непрерывно фиксируют практически весь погодный комплекс, включая температуру дорожного полотна и толщину снега или льда на самых сложных участках дорог. Это позволяет в оперативном режиме реагировать на устранение особенно опасных для нашего региона гололедных явлений и рационально расходовать реагенты. В теплое время года непрерывный мониторинг горизонтальной дальности видимости позволит предотвратить аварийные ситуации на дорогах.

Научная задача на первом этапе заключалась в обосновании оптимального размещения автоматических метеостанций на одной из самых сложных трасс – объездной дороге Седанка-Патрокл (рис.1а). Для проведения градиентных наблюдений были определены 5 точек замеров (рис.1б)

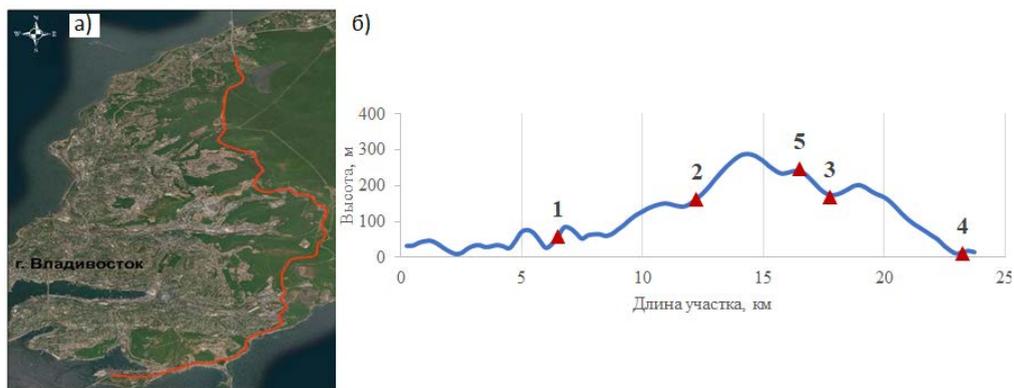


Рисунок 1 – Местоположение объездной трассы Седанка-Патрокл (а) и расположение точек проведения градиентных метеорологических наблюдений (б)

Проводимые нами наблюдения на протяжении зимы 2022-2023 гг. позволили сделать предварительную оценку микроклиматических особенностей объездной трассы Седанка-Патрокл, которые выражаются в характеристиках: температуры, влажности воздуха, направлении и скорости ветра.

19 декабря 2022 г. над Приморским краем находилась тыловая часть глубокого циклона с центром над Камчаткой (рис.2а). У поверхности земли преобладали воздушные

потоки, направленные с севера, северо-запада. В 13 часов, в момент проведения измерений, погода на реперной станции Владивосток, была безоблачной. Температура воздуха составляла  $-16,3^{\circ}\text{C}$ , ветер северный, северо-западный скоростью 5 м/с, влажность 51% [2].

Измеренная в это время на трассе температура воздуха фиксировалась в диапазоне от  $-12,1$  до  $-15,0^{\circ}\text{C}$ ; влажность – от 37 до 65%; ветер на разных участках менял свое направление с северного (в точках 1 и 2), на западный (точка 3) и на южный, юго-западный (точки 4 и 5), причем, его скорость варьировала в диапазоне от 1,5 до 6,5 м/с.

Когда глубокий циклон прошел, за ним осуществляется заток холода с континента, на что указывает смещение ядра высокого давления с континента на акваторию Японского моря – это является прогностическим признаком возникновения нового циклона. Формирование циклона началось около 03UTC 20 декабря над Большим Хинганом (КНР), в атмосфере создавались благоприятные условия, южная часть воздушного вихря распространилась на морскую акваторию теплого Желтого моря. В 00UTC 21 декабря в южную ложбину китайского циклона влился циклон, находящийся южнее Корейского полуострова. Объединение этих воздушных вихрей общей изобарой 1010 гПа усилило поступление теплого влажного субтропического воздуха в область этого двухцентрового циклона.

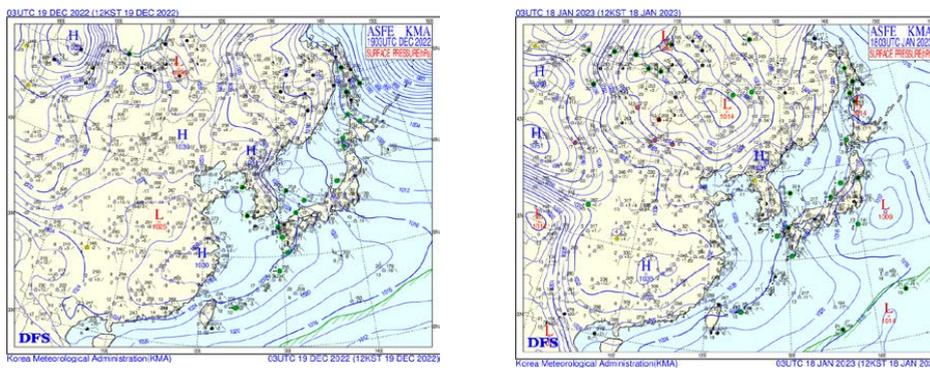


Рисунок 2 – Синоптические ситуации на приземных картах погоды [3] 19 декабря 2022 г. (а) и 18 января 2023 г. (б)

Этот циклон 21-23 декабря 2022 г. вызвал обильные снегопады со штормовыми ветрами во Владивостоке и на юго-востоке Приморского края. В первые сутки во Владивостоке выпало 20, в Уссурийске – 22, в Сад-городе и в Преображении – 25 мм осадков. Высота снежного покрова составляла до 15 см, местами – до 25 см. На дорогах образовался снежный накат, вызывающий заносы. Техника и рабочие бригады предприятия «Содержание городских территорий» (СГТ) в усиленном режиме очищали от снега и обрабатывали реагентами дороги Владивостока и пригорода. Введены были ограничения движения на сложных участках, а также запрет на движение большегрузного транспорта. Трасса Седанка - Патрокл из-за сложнейшей конфигурации дороги и сложившихся опасных погодных условий была перекрыта. По данным СГТ, с начала выпадения осадков на обработку дорог ушло почти 600 тонн песко-соляной смеси и 40 тонн реагента.

18 января 2023 г. Владивосток находился под влиянием малоградиентного поля повышенного давления (рис.2 б). В 13-00 температура воздуха была  $-10,1^{\circ}\text{C}$ , влажность 44%, ветер восточного направления скоростью 2 м/с [2].

Градиентные измерения на трассе Седанка-Патрокл показали следующее: температура воздуха изменялась от  $-8,0$  до  $-9,8^{\circ}\text{C}$ , влажность – от 46 до 82%, ветер имел северное, северо-восточное направление скоростью - от 1,5 до 5,5 м/с.

Сравнительный анализ проведенных наблюдений с данными метеорологической станции Владивосток показал, что в зимнее полуденное время температура воздуха в районе трассы выше на  $2-3^{\circ}\text{C}$ , чем на станции Владивосток. Влажность воздуха по причине

расположения изучаемого участка трассы вдоль морского побережья, естественно превышала таковую на метеорологической станции. Направление ветра отличается в пределах 40-50°, за исключением одного из участков, который расположен в области межгорной впадины искусственного происхождения (во время строительства микрорайона «Снеговая Падь» часть сопки была срезана), где направление ветра отличалось на 90°. В этой же точке скорость ветра была выше на 2-3 м/с, чем на станции.

### Список литературы

1. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Москва, 2003.
2. Архив погоды во Владивостоке: <https://tp5.ru>
3. ASFE KMA: <http://web.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>

### ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДА НАЗЕМНОЙ РАДИОТЕПЛОЛОКАЦИИ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СВЯЗАННЫХ С ОБЛАКАМИ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Ефременко А.Н.<sup>1</sup>, Караваев Д.М.<sup>1</sup>, Королева О.А.<sup>1</sup>, Щукин Г.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Муромский институт (филиал) ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Муром  
*vka@mil.ru*

*Аннотация.* В докладе рассматривается применение методов наземной радиотеплолокации для исследования связанных с облаками опасных явлений погоды с целью совершенствования методов их раннего предупреждения. Даны примеры радиотеплолокационных исследований влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при различных условиях, при развитии конвективных облаков, гроз, прохождении атмосферных фронтов. Обсуждаются перспективные экспериментальные исследования с применением средств Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

*Ключевые слова.* Геофизическая обсерватория, опасные явления погоды, радиотеплолокация, влагозапас атмосферы, водозапас облаков

### POSSIBILITIES OF GROUND BASED MICROWAVE RADIOMETRY FOR EARLY WARNING OF CLOUD-RELATED WEATHER HAZARD

Efremenko A.N.<sup>1</sup>, Karavaev D.M.<sup>1</sup>, Koroleva O.A.<sup>1</sup>, Shchukin G.G.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Budgetary Military Educational Institution of Higher Education «Mozhaisky Military Aerospace Academy» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Sankt-Petersburg

<sup>2</sup>Murom institute VSU named after A.G. and N.G. Stoletov, Murom

*Abstract.* The report examines the use of ground-based microwave radiometry methods to study cloud-related weather hazards in order to improve early warning techniques. Examples of microwave radiometric studies of atmospheric moisture and cloud liquid water under various conditions, with the development of convective clouds, thunderstorms, during passage of atmospheric fronts are given. Further complex experiments using the means of the geophysical observatory of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky are discussed.

*Keywords.* Geophysical observatory, dangerous weather phenomena, microwave radiometry, water vapor, cloud liquid water content

Для совершенствования методов раннего предупреждения о развитии опасных атмосферных явлений погоды (мощные конвективные облака, гроза) перспективно применение современных методов и дистанционных средств [1] в частности, методов наземной радиотеплолокации [2,3], которые позволяют получать информацию о влагозапасе атмосферы, водозапасе облаков, профилях температуры атмосферы

практически в режиме непрерывных измерений. Методы радиотеплолокации перспективны для решения задач прикладной метеорологии, а информация, получаемая с помощью наземных микроволновых радиометров, может дополнять результаты стандартных метеорологических наблюдений, аэрологического зондирования атмосферы. Целью работы ставится исследование метода наземной радиотеплолокации для совершенствования раннего предупреждения развития связанных с облаками опасных явлений.

При проведении комплексных экспериментов по исследованию опасных явлений нашли применение и реализацию следующие возможности метода радиотеплолокации: а) метод1 одновременного определения влагозапаса атмосферы и водозапас облаков по измерениям характеристик собственного нисходящего радиотеплового излучения атмосферы вблизи линии поглощения водяного пара 22.235 ГГц и окне прозрачности 31-37 ГГц [2,3,4]; б) метод2 определения водозапаса конвективных облаков по измерениям характеристик собственного нисходящего радиотеплового излучения облаков в области слабого ослабления 7-14 ГГц и окне прозрачности 31-37 ГГц [2,3,4]; в) метод3 комплексного пассивно-активного зондирования мощных конвективных облаков [2,5].

По результатам комплексных экспериментальных исследований атмосферы с применением наземных микроволновых радиометров в [1,3,5,6] сделаны следующие выводы:

Полученные с помощью радиометра (22 и 36 ГГц) данные о влагозапасе атмосферы согласуются с данными аэрологического зондирования атмосферы (СКО составляет около  $1 \text{ кг/м}^2$  в интервале от 4 до  $45 \text{ кг/м}^2$ ). Радиометрические данные о водозапасах облаков слоистых форм согласуются с данными эмпирических моделей водности облаков.

Наземный радиометр (22 и 36 ГГц) позволяет выявлять особенности изменчивости влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при прохождении атмосферных фронтов, причем в области теплых фронтов рост влагозапаса атмосферы обычно предшествовал росту водозапаса облаков. Показано, что применение микроволновых радиометров перспективно для диагностики структуры атмосферных фронтов.

Вариации влагозапаса атмосферы в окрестности грозового облака могут значительно превышать значения, характерные для фоновой атмосферы. Предложен радиометрический критерий развития мощных конвективных облаков, грозовых процессов (на основе комплексного применения методов радиотеплолокации и радиолокации), в качестве предиктора развития опасных явлений используются радиометрические данные по влагозапасу атмосферы.

При комплексных исследованиях мощных конвективных, грозовых облаков, с применением методов активной и пассивной радиолокации, данные радиометров (9.5 и 36 ГГц) указывают на возможность существования локальных зон повышенного содержания влаги в верхней переохлажденной части мощного конвективного облака на высотах 6-9 км с характерными пространственным размером около 2 км.

В качестве примера на рисунке 1 показан временной ход водозапаса облаков (W) и влагозапаса атмосферы (Q) в зените при прохождении атмосферных фронтов 10–12 июня 2018 г. в п. Лехтуси Ленинградской обл. [6]. Влагозапас атмосферы в период с 10 по 12 июня изменялся в интервале от 10 до  $30 \text{ кг/м}^2$ . Значения водозапаса облаков 11 и 12 июня достигали значений  $2 \text{ кг/м}^2$  и более. Вариации влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков обусловлены последовательным прохождением 10 -12 июня 2018 г. двух циклонов и связанных с ними атмосферных фронтов. На рисунке 1 периоды прохождения теплых фронтов соответствуют областям (1) и (3), а периоды прохождения холодных атмосферных фронтов соответствуют областям (2) и (4), соответственно. Видно, что радиометрические данные по влагозапасу атмосферы согласуются с расчетными данными аэрологического зондирования в п. Воейково (представлены в виде кружков).

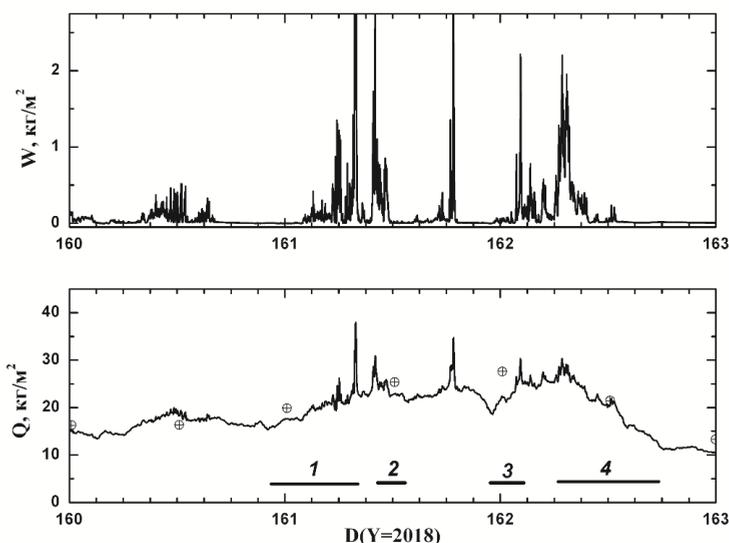


Рисунок 1 – Пример временной изменчивости влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в области атмосферных фронтов(1-4) по данным микроволнового радиометра

Дальнейшие комплексные эксперименты по исследованию опасных явлений погоды связываются с применением технических средств геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского [7]. В задачи входят научные исследования по совершенствованию методов обработки радиолокационной информации, спутниковых данных, развитию методов и средств атмосферно-электрических измерений, гронопеленгации, радиотеплолокации. Исследования направлены на уточнение комплексных радиолокационных критериев опасных явлений погоды, таких как грозы и ливни, совершенствование методов сверхкраткосрочного прогнозирования связанных с облаками опасных явлений на основе усвоения разнородной метеорологической информации в моделях атмосферы, аттестацию моделей конвективного, грозового облака.

Решение проблемы совершенствования методов прогнозирования опасных явлений погоды на основе использования современных радиофизических средств получения информации о состоянии природной среды направлено на повышение эффективности гидрометеорологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 21-19-00378), <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>

### Список литературы

1. *Караваяев Д.М., Щукин Г.Г.* Совершенствование методов раннего предупреждения развития грозовых процессов и выявления зон обледенения в облаках на основе комплексного использования методов активной и пассивной радиолокации // Гидрометеорология и экология, 2021, вып. 62. - С. 7-26.
2. *Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю.* Радиотеплолокация в метеорологии. – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. - 283 с.
3. *Караваяев Д.М., Щукин Г.Г.* Состояние и перспективы применения микроволновой радиометрии атмосферы. – Оптика атмосферы и океана, 2015, т.28, №12. - С.1122-1127.
4. *Щукин Г.Г., Булкин В.В.* Метеорологические пассивно-активные радиолокационные системы. Муром: Ми ВлГУ. 2009. - 166 с.

5. *Щукин Г.Г., Караваев Д.М.* Разработка критерия развития облаков и осадков с использованием радиотеплокационных данных и радиолокационной информации // Труды Главной геофизической обсерватории. 2008. Вып. 557. - С.119-132.
6. *Караваев Д.М., Лебедев А.Б., Щукин Г.Г., Ильин Г.Н.* Перспективы применения методов наземной микроволновой радиометрии для синоптического анализа атмосферных фронтов и прогноза опасных явлений погоды // Метеорология и гидрология. 2022. №12. - С.56-65.
7. *Готюр И.А., Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Караваев Д.М., Коровин Е.А., Кулешов Ю.В., Чернышев С.В., Щукин Г.Г.* Состояние и перспективы создания Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. Вып. 662. - С.184-187.

## **АНАЛИЗ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕРЧЕОБРАЗУЮЩИХ КОНВЕКТИВНЫХ ЯЧЕЕК**

Лялюшкин А.С.<sup>1</sup>, Коломеец Л.И.<sup>1,2</sup>, Хайбуллов М.В.<sup>3</sup>, Топтунова О.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «Институт радарной метеорологии», Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*las@iram.ru*

*Аннотация.* Рассматривается опыт использования радиолокационной информации (доплеровских и поляризационных характеристик) при исследовании конвективных ячеек, с которыми связано образования смерчей, на примере случая, наблюдавшегося в Могилевской области Республики Беларусь 20-21 июня 2022 г.

*Ключевые слова.* Смерч, конвективная ячейка, радиолокационная отражаемость, профиль ветра, двойная поляризация.

## **TORNADO-FORMING CONVECTIVE CELL RADAR CHARACTERISTICS ANALYSIS**

Lialushkin A.S.<sup>1</sup>, Kolomeets L.I.<sup>1,2</sup>, Khaibullov M.V.<sup>3</sup>, Toptunova O.N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LLC “Institute of Radar Meteorology”, Saint-Petersburg

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

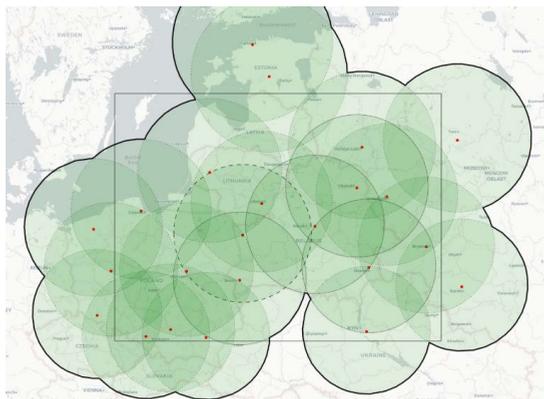
<sup>3</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*Annotation.* In the paper the experience of using radar information (Doppler and dual-polarization characteristics) while studying convective cells associated with tornadoes is presented on the example of the case observed in the Mogilev region of the Republic of Belarus on June 20-21, 2022.

*Keywords.* Tornado, convective cell, radar reflectivity, wind profile, dual polarization.

Локальные конвективные явления (в особенности смерчи) сложно моделировать и прогнозировать в силу их стремительного развития и малых масштабов. Для идентификации зон опасных явлений погоды, связанных с облачностью, и их перемещения оптимально использовать доплеровские метеорологические радиолокаторы (ДМРЛ) с двойной поляризацией.

В 2020 г. в Республике Беларусь было завершено развёртывание национальной радиолокационной сети с полным покрытием территории всей страны, насчитывающей 5 ДМРЛ с двойной поляризацией (2 локатора МЕТЕОР-635С производства SELEX, 3 локатора ДМРЛ-С производства ЛЭМЗ) и включающей в себя центр сбора и обработки радиолокационных данных (рисунок 1).



*Рисунок 1 – Зона покрытия сети ДМРЛ Белгидромета с учётом радиолокационной информации соседних стран*

Все локаторы оборудованы современными системами вторичной обработки информации «МетеоЯчейка» и «МетеоРадар», разработанными Институтом радарной метеорологии. Высокая частота обновления данных (10 минут) и использование радиолокационной информации соседних стран позволяет отслеживать в реальном времени зоны формирования, развития и перемещения опасных явлений.

Благодаря фотоматериалам «охотников за грозами» удалось сформировать архив фактически наблюдавшихся на территории Беларуси смерчей в период с 2016 по 2022 г. Это позволяет исследовать радиолокационные характеристики облачности, с которой связано формирование смерчей в данном регионе.

В настоящей работе разобран случай смерчеобразующей конвективной ячейки, наблюдавшейся 20 июня 2022 года в районе города Бобруйска (Могилёвская область) двумя ДМРЛ (Минск и Гомель). Данная ячейка привела к образованию смерча в 22:10 UTC в районе агрогородка Боровица, расположенного в 30 км на северо-восток от города Бобруйск.

Для указанной конвективной ячейки был проведён анализ радиолокационных характеристик с использованием программного обеспечения рабочей станции инженера-радиометеоролога «МетеоЯчейка» [1].

К основным радиолокационным характеристикам относятся радиолокационная отражаемость, доплеровская скорость, ширина спектра, дифференциальная отражаемость, дифференциальная фаза и коэффициент взаимной корреляции [2, 3].

Радиолокационная отражаемость (горизонтальная) – величина, характеризующая отражающие свойства единичного объёма облаков и осадков (рисунок 2). Она может интерпретироваться как сумма возведённых в шестую степень диаметров частиц, находящихся в единице объёма.

Средняя радиальная (доплеровская) скорость в пределах импульсного объёма радиолокатора равна средней скорости движения рассеивающих частиц, взвешенной по их эффективным площадям рассеяния. Для углов возвышения антенны радиолокатора, близких к  $0^\circ$ , она близка к горизонтальной скорости движения воздуха в направлении на радиолокатор (–) или от него (+).

Доплеровский спектр – спектр скоростей, который описывает поле скорости большого числа гидрометеоров в пределах импульсного объёма радиолокатора. Ширина спектра является мерой дисперсии доплеровской скорости в пределах импульсного объёма.

Различие форм, фазового состояния и преимущественной ориентации частиц гидрометеоров позволяет использовать при радиолокационных наблюдениях методы поляризационной селекции для получения дополнительной информации о смерчах. Знание поляризационных параметров отражённого сигнала в сочетании с его доплеровскими

характеристиками позволяет исследовать и измерять не только динамические свойства конвективных ячеек, но и особенности их микрофизической структуры [4].

Под дифференциальной отражаемостью понимается отношение мощностей отражённого сигнала на горизонтальной и вертикальной поляризациях, выраженное в децибелах (рисунок 3). С её помощью можно идентифицировать градовые зоны в кучево-дождевой облачности. При усреднении по ансамблю частиц интегральное значение дифференциальной отражаемости оказывается слабо положительным для мелкого града и слабо отрицательным для крупного. При одном и том же значении горизонтальной отражаемости для града и дождя – дифференциальная отражаемость для града будет меньше, чем для дождя.

Дифференциальная фаза – это разница между принятыми фазами горизонтально и вертикально поляризованных электромагнитных волн (рисунок 2). Электромагнитная волна с горизонтальной поляризацией обычно испытывает большие сдвиги фаз, чем волна с вертикальной поляризацией. Это связано с преимущественно горизонтальной ориентацией падающих капель осадков.

На практике оказывается полезно использовать удельную дифференциальную фазу (скорость изменения дифференциальной фазы по дальности), которая связана с водностью и интенсивностью осадков по лучу. Величину удельной дифференциальной фазы можно использовать для идентификации зон града. В силу меньшей упорядоченности ориентаций частиц града, меньшей их концентрации и диэлектрической проницаемости по сравнению с водяными каплями при сравнимых значениях отражаемости для дождя и града величина удельной дифференциальной фазы для града будет гораздо меньше.

Оценка статистической зависимости между мощностями отражённых сигналов на горизонтальной и вертикальной поляризациях называется коэффициентом взаимной корреляции (кросскорреляции). Для большинства метеобъектов коэффициент взаимной корреляции весьма близок к единице. Его отличие от единицы тем больше, чем больше дисперсия формы и ориентации отражающих несферических частиц (рисунок 4).

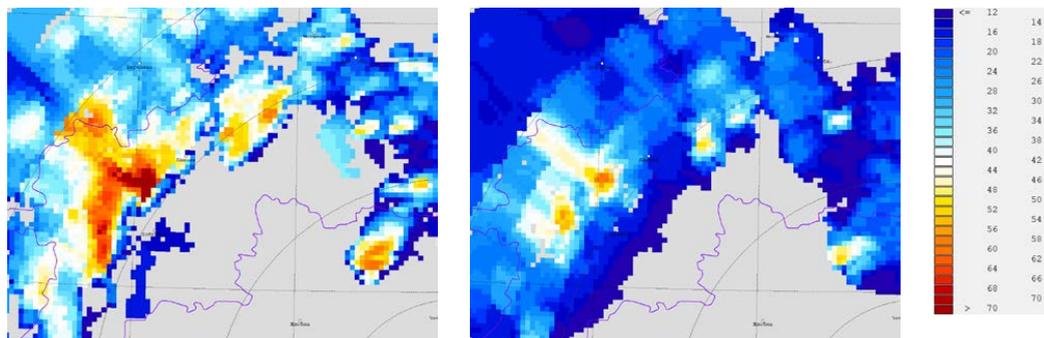


Рисунок 2 – Горизонтальная отражаемость в слое 0 – 1 км (слева) и в слое 7 – 8 км (справа), 2022-06-20 в 20:40 UTC по данным ДМРЛ Гомель

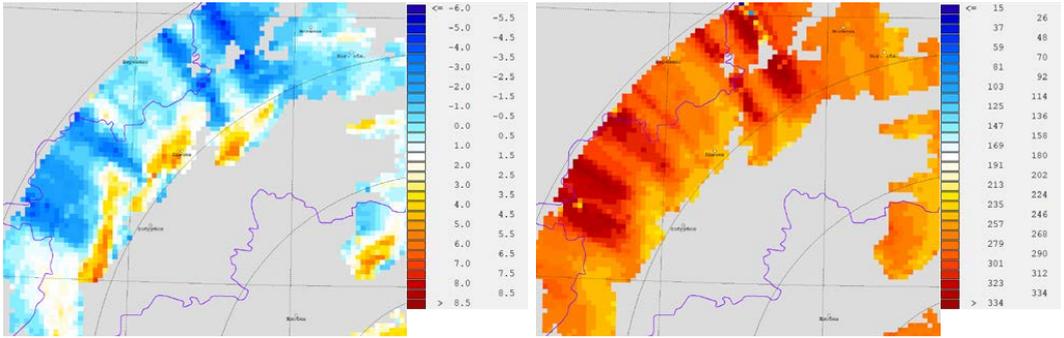


Рисунок 3 – Дифференциальная отражаемость в слое 1 – 2 км (слева) и дифференциальная фаза в слое 1 – 2 км (справа), 2022-06-20 в 20:40 UTC по данным ДМРЛ Гомель

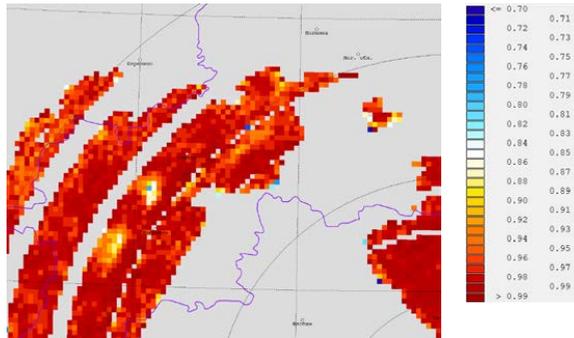


Рисунок 4 – Коэффициент взаимной корреляции в слое 9 – 10 км, 2022-06-20 в 20:40 UTC по данным ДМРЛ Гомель

### Список литературы

1. Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Кузнецова Л.И., Линева А.Г., Лялюшкин А.С., Оленев В.А., Паркин Т.В., Солонин А.С., Устинов В.К., Фролов В.И., Четверикова Е.С., Якимайнен Н.А. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». Спб.: Гидрометиздат, 2007. - 236 с.
2. Doviak, R.J. and Zrnica, D.S. Doppler Radar and Weather Observations. 2nd edition, San Diego, CA, Academic Press, 1993
3. Bringi, V., Chandrasekar, V. Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
4. Fabry, F. Radar Meteorology: Principles and Practice. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННО ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Расторгуев И.П.<sup>1</sup>, Ефименко А.Е.<sup>2</sup>, Бойко Н.Д.<sup>1</sup>

Военно-воздушная академия, г. Воронеж

Центр специального назначения сил оперативного реагирования и авиации МВД России, Москва

[iprastor@yandex.ru](mailto:iprastor@yandex.ru)

Аннотация. Представлена методика получения, обработки и использования данных с борта

дистанционно пилотируемых летательных аппаратов для повышения детализации и оперативности метеорологической информации в задачах анализа и прогноза погоды.

*Ключевые слова.* Дистанционно пилотируемые летательные аппараты, метеорологическая информация, анализ и прогноз погоды.

## **IMPROVEMENT OF ALGORITHMS FOR FORECASTING METEOROLOGICAL QUANTITIES BASED ON DATA FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Rastorguev I.P.<sup>1</sup>, Efimenko A.E.<sup>2</sup>, Boyko N.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Air Force Academy, Voronezh

<sup>2</sup> The Center for Special Purpose Rapid Response and Aviation, Moscow

*Annotation.* The method of obtaining, processing and using data from remotely piloted aircraft to increase the detail and efficiency of meteorological information in the tasks of weather analysis and forecasting is presented.

*Keywords.* Remotely piloted aircraft, meteorological information, analysis and weather forecast

Применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) получило широкое распространение в различных сферах жизнедеятельности. В метеорологии беспилотные технологии позволяют в значительной степени снизить дефицит априорной информации. Но потенциал получения данных с БЛА далеко не исчерпан. По-прежнему актуальны вопросы совершенствования методик получения, обработки и использования данных с борта дронов. Практически все современные комплексы, используемые для мониторинга окружающей среды, относятся к классу дистанционно пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА).

Применение ДПЛА в режиме реального времени значительно снижает долю субъективности и дает дополнительные преимущества за счет следующих факторов:

- возможности многократного, замедленного и пошагового просмотра;
- доступности увеличения изображения;
- расширения области просмотра;
- доступности компьютерной обработки изображения;
- возможности использования метода экспертной оценки;
- реализация наблюдений в инфракрасном и других режимах.

Исходя из изложенного, было проведено исследование по совершенствованию методики получения, предварительной и тематической обработки данных с ДПЛА и их использования в качестве исходных данных в способах прогноза метеорологических величин.

Научно-методической базой данного исследования, наряду с работами других авторов [1-3 и др.], использовались авторские разработки [4-7].

Исследования проводились над территорией Камчатки днем и ночью, в переходный период года (сентябрь – октябрь). В качестве исходных данных использовались полетные файлы с ведомственных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов ZALA, снабжённых датчиком температуры и влажности SHT21D. Всего было выполнено более ста полетов. Полеты выполнялись до высот 700-800 метров, отдельные – до высоты 1500 метров. Использовались ДПЛА, оснащенные штатной аппаратурой в процессе выполнения задач по основному предназначению. На рисунке 1 представлен район выполнения полетов ДПЛА.

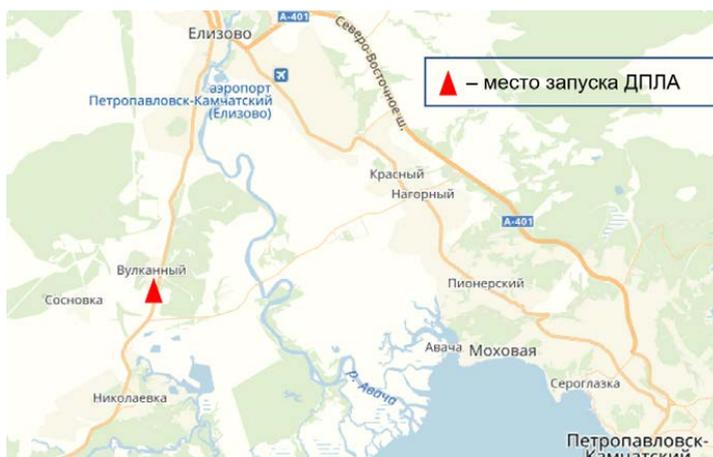


Рисунок 1 – Район выполнения полетов ДПЛА над территорией Камчатки

Данный район характеризуется достаточно сложным рельефом с перепадом высот от уровня моря до 700 с лишним метров.

Первичная информация с полетных файлов подвергалась обработке. Формат данных, после тематической обработки представлен на рисунке 2.

Seconds	Время	Скорость по приемнику воздушного давления (ПВД) метр в секунду	Высота барометрическая (относительно точки старта) в метрах	Курс в градусах заданный	Направление питания в вольтгах	Уровень газа в процентах	Режим полета	координата X	координата Y	Скорость заданная в метрах в секунду	Высота заданная в метрах	Крен в градусах	Тангаж в градусах	Ширина в градусах	Долгота в градусах	Номер следующей точки полетного задания	Направление ветра	Скорость ветра в метрах в секунду	Количество спутников GPS	Обороты ротора	Счетчик отсутствия связи	Высота GPS	Скорость по GPS	Температура	Влажность
0	12:04:33	0	-0.3	211.8	21	0	5	1	-4	18	-0.3	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9
1	12:04:34	0	-0.3	211.8	21	0	5	1	-4	18	-0.3	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9
2	12:04:35	0	-0.2	211.8	21	0	5	1	-4	18	-0.2	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9
3	12:04:36	0	-0.4	211.9	21	0	5	1	-4	18	-0.4	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9
4	12:04:37	0	-0.4	212	21	0	5	1	-4	18	-0.4	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9
5	12:04:38	0	-0.4	212.1	21	0	5	1	-4	18	-0.4	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9
6	12:04:39	0	-0.4	212.1	21	0	5	1	-4	18	-0.4	0.9	1	53.079	158.3	0	0	0	11	0	73	304	0	11.4	8.9

Рисунок 2 – Фрагмент полетного файла после обработки

На предварительном этапе для детального представления о маршрутах и профилях полета исходные данные представлялись в графическом виде (рисунок 3).

Помимо данных с ДПЛА при проведении исследования использовались данные наземных наблюдений и радиозондирования атмосферы пункта Петропавловск-Камчатский, а также данные воздушной разведки погоды с аэродрома Елизово за квазисинхронные сроки наблюдений.

Используемые датчики позволяют измерять параметры атмосферы с дискретностью в одну секунду. Но с учетом инерционности показаний датчиков, фиксация данных с частотой больше одного комплекта данных за 30 секунд не целесообразна: излишняя детализация не востребована в расчетах, а вносится дополнительная погрешность.

На следующем этапе проведения исследования строились профили температуры и влажности на этапах набора высоты и снижения ДПЛА. Скорость изменения высоты на этих

этапах полета соизмерима со скоростью подъема радиозонда и может приблизительно приниматься как одномоментное распределение исследуемых характеристик с высотой.

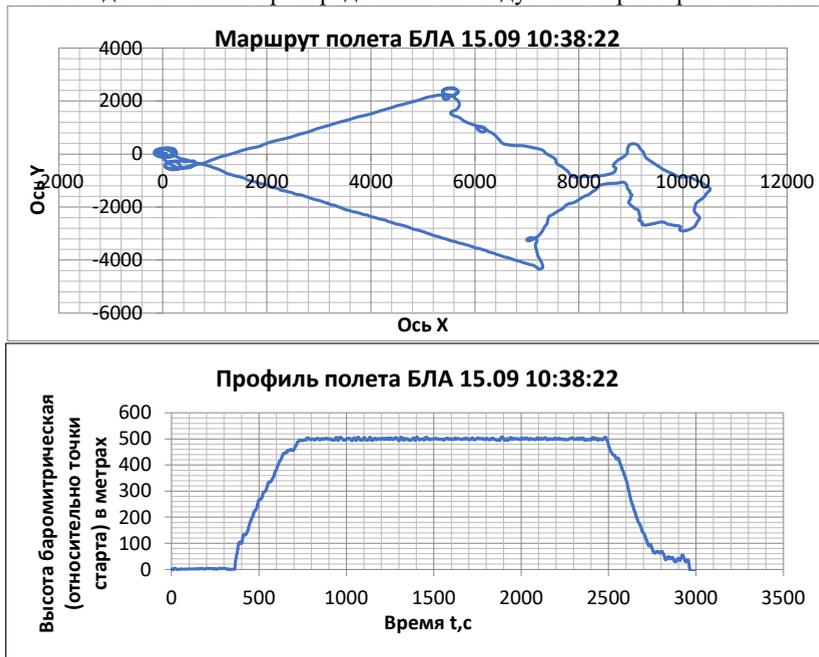


Рисунок 3 – Пример графического представления маршрута и профиля полета ДПЛА

Временной интервал между полетом ДПЛА и запуском радиозонда составлял от нескольких десятков минут до нескольких часов. При этом пуски ДПЛА производились на расстояниях от 15 до 23 километров от пункта зондирования.

Для представления на графике вертикального распределения (аэрологической диаграмме) влажности производился перерасчет относительной влажности (представляемой в полетных файлах) в температуру точки росы. Были получены графические представления распределения температуры воздуха и температуры точки росы, полученные из двух источников (рисунок 4).

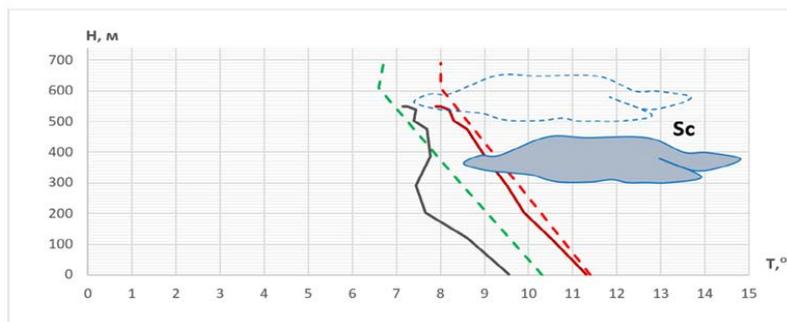


Рисунок 4 – Пример распределения значений температуры воздуха и температуры точки росы в пограничном слое атмосферы по данным ДПЛА (сплошные линии) и по данным радиозондирования (пунктирные линии)

Значительные отличия в распределении значений температуры воздуха и температуры точки росы в пограничном слое атмосферы по данным ДПЛА и по данным

радиозондирования имеют существенное значение для повышения качества метеорологического обеспечения, поскольку температура и влажность являются основополагающими факторами погодообразования.

Неучет указанных отличий может привести к снижению оправдываемости прогнозов, разработанных по этим данным. Данное утверждение можно проиллюстрировать на следующем примере. На приведенном выше сравнительном распределении рассматриваемых характеристик (рисунок 4) по данным ДПЛА, можно отметить резкое увеличение важности с высоты 300 метров, а над ним на высоте около 500 метров наблюдается слой замедленного падения температуры с высотой. В данном случае наблюдаются благоприятные условия для образования слоистообразной облачности в слое 300-500 метров.

По данным воздушной разведки через два часа в данном районе наблюдалось: «...На взлете, по району, на посадке: 1 слой 10 баллов нижняя граница 300 м, верхняя – 400м. Видимость 3 км. Выше 2 слой 10 баллов в слое 600-700». По данным радиозондирования можно было спрогнозировать только второй слой – изотермия и незначительное уменьшение дефицита точки росы на высоте 600 метров.

Также выявлены значительные отклонения значений скорости и направления ветра. На рисунке 5 показано распределение отклонений данных измерений скорости ветра по данным с беспилотного аппарата от данных радиозондирования.

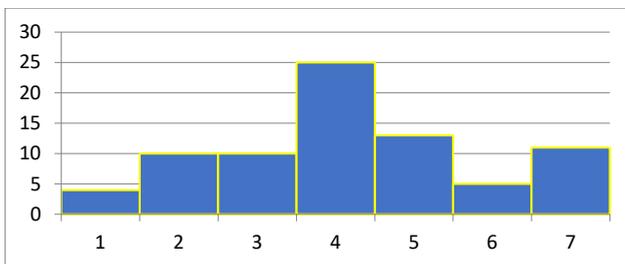


Рисунок 5 – Распределение отклонений данных измерений скорости ветра по данным с беспилотного аппарата от данных радиозондирования

Из гистограммы видно, что отклонения достигали 7м/с, при средних значениях 4м/с. Если рассматривать отклонения дифференцированно по высотам (рисунок 6), то можно сделать вывод о том, что характер распределения значений отклонений имеет ряд существенных особенности для разных высот.

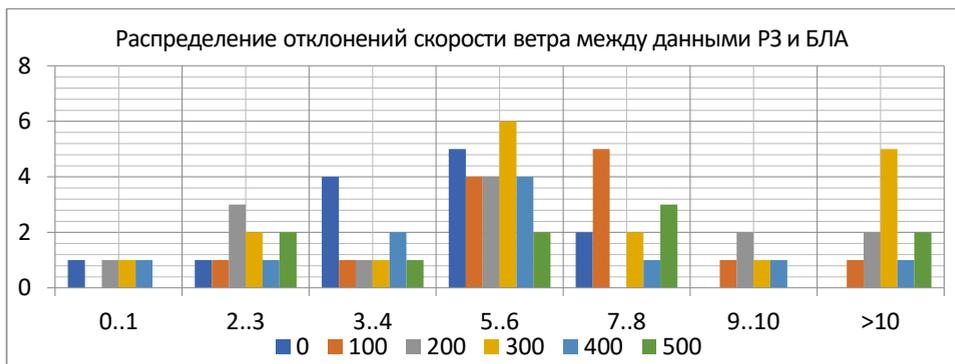


Рисунок 6 – Распределение отклонений данных измерений скорости ветра по данным с беспилотного аппарата от данных радиозондирования для разных высот

На гистограмме можно наблюдать, что по отдельным высотам наблюдались отклонения до 10м/с и более. Отклонения по направлению ветра, как в одну, так и в другую сторону наблюдались от нуля до 100-120°, при среднем значении 30-40°.

Пренебрежение такими расхождениями в данных может привести к существенному снижению эффективности выполнения ветрозависимых задач.

В качестве примера использования данных с ДПЛА для корректировки прогноза значений метеовеличин был рассмотрен метод прогноза максимальной температуры Н.И.Бельского. Результаты расчетов по данным радиозондирования и ДПЛА, а также фактические данные приведены в таблице 1.

Таблица 1– Значения фактических и расчетных значений максимальной температуры, °С

Дата	15.10	16.10	17.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	25.10	26.10	27.10	28.10	29.10	31.10
Факт	11,4	11,7	12,2	10,6	7,3	3,8	4,0	4,6	5,7	7,3	8,3	7,9	6,5	8,9
РЗ	8,5	5,4	9,2	7,7	3,3	5,0	6,2	4,4	7,7	5,2	3,6	5,1	6,6	7,2
БЛА	10,2	11,0	12,6	8,1	5,9	5,2	3,0	3,0	6,2	5,5	7,2	7,7	7,0	9,0
ΔРЗ	2,9	6,3	3	2,9	4	1,2	2,2	0,2	2	2,1	4,7	2,8	0,1	1,7
ΔБЛА	1,2	0,7	0,4	2,5	1,4	1,4	1	1,6	0,5	1,8	1,1	0,2	0,5	0,1

В таблице также приведены абсолютные значения ошибок расчетов по данным, полученным из разных источников. Средняя абсолютная ошибка при использовании данных радиозондирования составила 2,6°С. При проведении расчетов с использованием данных измерений с борта ДПЛА ошибка снижается до 1,0°С. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности корректировок прогнозов по данным измерений с БЛА.

Подводя итог проведенным исследованиям, можно констатировать, что использование данных измерений значений метеовеличин с борта дистанционно пилотируемых летательных аппаратов позволяет значительно повысить информативность данных о фактическом распределении полей метеовеличин на границе микро- и мезо- масштабов. Показана также целесообразность использования этих данных в прогностических алгоритмах.

### Список литературы

1. *Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Анаев М.А., Соловьев В.В., Шагин С.И.* Многоцелевой авиационный комплекс мониторинга, предупреждения и защиты от стихийных бедствий на базе беспилотного летательного аппарата «Нарт». Ростов-на-Дону: Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 3 (116). С. 229-238.
2. *Горелик А.Г., Ситников Н.М., Акулиин Д.В., Чекулаев И.И., Страшко О.В., Кузнецов И.Е.* Перспективы исследования тонкой структуры пограничного слоя атмосферы с помощью специализированной аппаратуры, установленной на борту беспилотного летательного аппарата. В сборнике: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. 2019. С. 266-270.
3. *Михайлов В.В., Самсонов А.В., Сумин В.А.* Модель решения метеозависимых задач воздушной разведки беспилотными комплексами. Воронеж: Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2014. № 2. С. 22-28.
4. *Расторгуев И.П.* Беспилотные технологии мониторинга погодных условий. Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях. Материалы IX Международной научно-практической конференции. Ч.-IV. Воронеж: ГОУВПО ВГТУ, 2013. С.110-117.
5. *Расторгуев И. П., Дьяков С.А.* Мониторинг погодных условий с дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. Монография. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. 140с.
6. *Расторгуев И.П., Ефименко А.Е., Максименко А.В., Зозуля М.М.* Методика детализации пространственно-временного распределения полей метеорологических величин на основе данных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Материалы Международной научно-практической

конференции. Воронеж: ВГТУ. 2017. С. 113-118.

7. *Рассторгуев И.П., Зозуля М.М.* Методические подходы к анализу и прогнозу метеорологических условий на основе данных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Материалы V Международной научно-практической конференции. Воронеж: ВГТУ. 2019. С. 71-76.

## **АНАЛИЗ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ**

Федосеева Н. В., Львов А. Л.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург  
*fednat@mail.ru*

*Аннотация.* В ходе выполнения данной работы был составлен архив мультиспектральных снимков вулканических выбросов, полученных спектрорадиометром MODIS/Aqua, Terra. Сравнительный анализ изображений шлейфов вулканического выбросов, полученных в результате тематической обработки спутниковых снимков с использованием метода SEVIRI Ash-RGB и метода главных компонент, показал, что в большинстве случаев использование метода главных компонент позволяет проанализировать состав вулканических шлейфов с большей детальностью, в том числе в случаях полупрозрачных выбросов, выбросов, скрытых облачностью, и выбросов со сложным составом.

*Ключевые слова.* Метод главных компонент, вулканический пепел, спутниковая съемка

## **VOLCANIC PLUME DETECTION WITH PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS APPLIED TO SATELLITE IMAGERY**

Fedoseeva N. V., Lvov A. L.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* A set of multispectral volcanic plume satellite images obtained by MODIS Terra/Aqua spectroradiometer was made in this paper. Comparative analysis of volcanic plume images got by SEVIRI Ash-RGB method and principal component analysis showed that in most cases usage of principal component analysis allows to analyze thin and transparent plumes, and ones obscured in clouds and complex plumes more precisely.

*Keywords.* Principal component analysis, volcanic ash, satellite imagery

Вулканический пепел представляет опасность для многих отраслей экономики, и особенно для авиации. Мониторинг и анализ состава, пространственного распределения и концентрации вулканического пепла, в том числе скрытого в облачности, является перспективным направлением для исследований.

Данные спектрорадиометра MODIS были получены с помощью сервиса LAADS DAAC (Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System Distributed Active Archive Centre).

Метод SEVIRI Ash-RGB [1] был разработан для использования с данными радиометра SEVIRI, однако выполненные ранее исследования [2] показали, что он может быть применён к снимкам других радиометров, в частности, к используемым в данной работе данным MODIS. Метод заключается в получении цветосинтезированного изображения на основании разностных псевдоканалов 12.0-10.8 мкм (для тонкого шлейфа вулканического пепла), 10.8-8.7 мкм (для шлейфов SO<sub>2</sub>) и канала 10.8 мкм (для холодных облаков). Кроме того, указанные каналы также широко применяются и в других методах обнаружения следов вулканического пепла в атмосфере, таких, к примеру, как метод обратного поглощения.

Однако, у данного метода присутствуют некоторые ограничения: плотный шлейф вулканического пепла может быть неотличим от ледяных облаков, шлейфы на небольших

высотах могут быть закрыты вышележащими облаками, наличие пепла и диоксида серы  $SO_2$  в перистой облачности также может быть определено неточно, цвета могут быть искажены в зависимости от угла наклона, концентрации пепла, прозрачности облаков, присутствия водяного пара, а также от температуры.

Таким образом, для расширения возможностей SEVIRI Ash-RGB, для тематической обработки спутниковых изображений может быть применён метод главных компонент (МГК) [3]. Метод главных компонент заключается в уменьшении количества переменных в наборе данных. Геометрически, метод главных компонент можно представить как нахождение новых осей, ориентированных вдоль направлений с максимальной дисперсией. Таким образом, полученные новые переменные содержат большую часть полезной информации. Эти новые переменные – главные компоненты – не коррелированы между собой и представляют собой линейные комбинации исходных переменных. Поэтому МГК является альтернативным способом математической обработки массивов данных (в данном случае, набора спектрально близких каналов) с высокой корреляцией данных [4-6].

Полагая, что в мультиспектральном изображении имеется  $N$  каналов [7], его можно выразить в матричном виде как (1), где  $n$  – число пикселей,  $b$  – число каналов:

$$X_{n,b} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{b,1} & \cdots & x_{b,n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Приняв каждый канал за вектор, матрица может быть упрощена до (2), где  $k$  – число каналов:

$$X_k = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_b \end{pmatrix} \quad (2)$$

Для сокращения размерности исходных каналов, должны быть рассчитаны собственные значения ковариантной матрицы (3), где  $\sigma_{1,1}$  – ковариант каждой пары различных каналов:

$$C_{b,b} = \begin{pmatrix} \sigma_{1,1} & \cdots & \sigma_{1,b} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{b,1} & \cdots & \sigma_{b,b} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{N-1} \sum_{p=1}^N (DN_{p,i} - \mu_i)(DN_{p,j} - \mu_j) \quad (4)$$

Где  $DN_{p,i}$  – цифровое значение пикселя  $p$  в канале  $i$ .

В (5) рассчитываются собственные значения из ковариантной матрицы ( $\lambda$ ):

$$\det(C - \lambda I) = 0 \quad (5)$$

Главная компонента может быть представлена в виде (6):

$$Y_b = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{1,1} & \cdots & w_{1,b} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{b,1} & \cdots & w_{b,b} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_b \end{pmatrix} \quad (6)$$

В результате обработки снимков вулканических шлейфов методом главных компонент в каждом случае были получены главные компоненты, вклад которых в общую дисперсию данных показал высокую сходимость рядов спектральных признаков (таблица. 1).

Таблица 1 – Вклад главных компонент в общую дисперсию данных

<b>VAR/COVAR</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
29	121.6	109.3	110.9
31	109.3	99.4	100.8
32	110.9	100.8	103.3
<b>COR MATRIX</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
29	1.000000	0.994032	0.989552
31	0.994032	1.000000	0.994589
32	0.989552	0.994589	1.000000
<b>COMPONENT</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
% var.	99.51	0.36	0.13
eigenval.	322.71	1.18	0.42
eigenvec. 1	0.612137	-0.720379	-0.326102
eigenvec. 2	0.554300	0.096795	0.826670
eigenvec. 3	0.563950	0.686793	-0.458558
<b>LOADING</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
29	0.997301	-0.070880	-0.019157
31	0.998502	0.010530	0.053696
32	0.996880	0.073318	-0.029228

Далее в ходе работы было выполнено сравнение результатов тематической обработки спутниковых изображений с использованием вышеупомянутых методов: SEVIRI Ash-RGB и МГК. При этом была выполнена визуализация полученных главных компонент с дальнейшим цветосинтезированием полученных изображений. Соответствие цветов анализируемым составляющим вулканических выбросов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Цветовые соответствия

Ash-RGB		МГК	Относится к:
			Тонкий шлейф пепла
			Плотный шлейф пепла
			Шлейф SO <sub>2</sub>
			Смесь пепла и SO <sub>2</sub>

В качестве примера рассмотрим некоторые из полученных результатов: Извержение вулкана Пуйеуе, Чили, 05.06.2011.

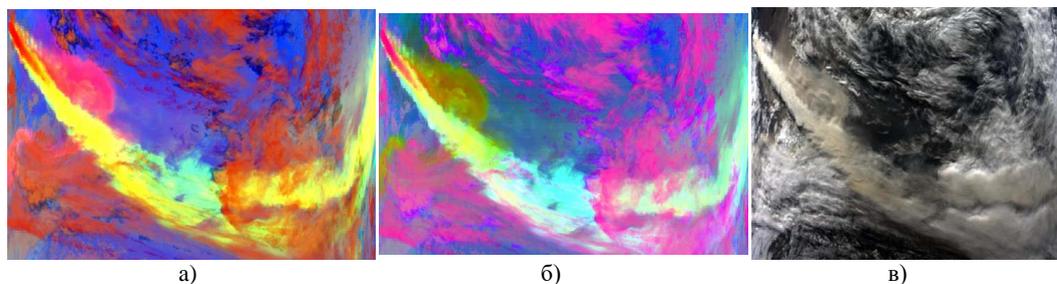


Рисунок 1 – а) Фрагмент цветосинтезированного изображения SEVIRI Ash-RGB; б) Фрагмент цветосинтезированного изображения главных компонент; в) Фрагмент цветосинтезированного изображения в естественных цветах

Можно увидеть, что при применении МГК возможно более детальное выявление примесей диоксида серы в тонком шлейфе вулканического пепла (в левой части сцены, у жерла вулкана), также метод позволяет выявить области распространения шлейфа диоксида серы с большей чувствительностью (в правой части).

Извержение вулкана Гримсвётн, Исландия, 23.05.2011.

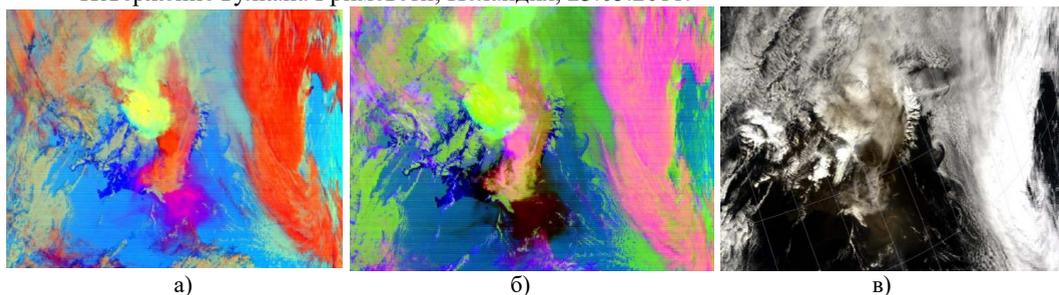


Рисунок 2 – а) Фрагмент цветосинтезированного изображения SEVIRI Ash-RGB; б) Фрагмент цветосинтезированного изображения главных компонент; в) Фрагмент цветосинтезированного изображения в естественных цветах

На цветосинтезированном изображении, полученном из трёх главных компонент область, занятая тонким шлейфом вулканического пепла, частично скрытым в облаках, выделяется более детально, также, как и облако из смеси пепла и  $\text{SO}_2$ . Тонкий шлейф пепла более контрастен по отношению водной поверхности в нижней части сцены.

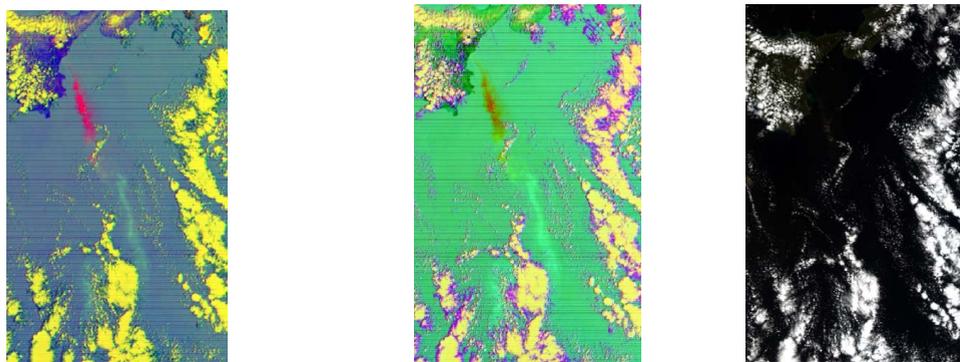


Рисунок 3 – Извержение вулкана Этна, Италия, 24.03.2021 а) Фрагмент цветосинтезированного изображения SEVIRI Ash-RGB; б) Фрагмент цветосинтезированного изображения главных компонент; в) Фрагмент цветосинтезированного изображения в естественных цветах

В данном случае на обработанных изображениях хорошо дешифрируется тонкий шлейф вулканического пепла ближе к жерлу вулкана Этна. При этом, очевидно, что на изображении, полученном с использованием главных компонент шлейф двуокиси серы прослеживается с большей детальностью. При этом на снимке в естественных цветах шлейф практически не виден.

#### Список литературы

1. EUMETSAT Ash-RGB overview. URL:<https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:DAT:MSG:VOLCANO/print> (06.03.2023).

2. *Fedoseeva N.V., Lvov A.L.* Principal component analysis applied to satellite imagery for volcanic plume detection over Kuril and Kamchatka region. // *European journal of natural history*. 2022. No. 1. P. 4-9
3. *Gómez-Palacios D., Torres M. A., Reinoso E.* Flood mapping through principal component analysis of multitemporal satellite imagery considering the alteration of water spectral properties due to turbidity conditions. // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2017. Vol. 8. No. 2. P.607-623. DOI: 10.1080/19475705.2016.1250115
4. *Dasu V., Reddy V.N., Reddy C.M.* Classification of Landsat-8 Imagery Based On Pca and Ndvi Methods. // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2019. Vol. 8. No. 10. P. 4321-4325. DOI: 10.35940/ijitee.J9843.0881019
5. *Dasu V., Reddy V.N., Reddy C.M.* Classification of Landsat-8 Imagery Based On Pca And Ndvi Methods. // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2019. Vol. 8. No. 10. P. 4321-4325. DOI: 10.35940/ijitee.J9843.0881019
6. *С. М. Борзов и др.* Комплексная обработка гиперспектральных изображений на основе спектральной и пространственной информации.// *Вычислительные технологии*. 2016. Т. 21. № 1. С. 25-39.
7. *Estornell J., Martí-Gavilá J.M., Sebastiá M.T., Mengual J.* Principal component analysis applied to remote sensing. // *Modelling in Science Education and Learning*. 2013. Vol. 6(2). No. 7. P. 83-89.

## СЕКЦИЯ 2

### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ: ИНТЕРНЕТ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, ГИС, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО ФОНДА ЦИФРОВЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

#### **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИТРИН BIG DATA МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Аванесов М.Ю.<sup>1</sup>, Будко Н.П.<sup>2</sup>, Васильев Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Закрытое акционерное общество «Институт телекоммуникаций», Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Публичное акционерное общество «ИНТЕЛТЕХ», Санкт-Петербург

*avanesov@itain.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы представления и обработки измерительной информации о состоянии распределенных геоинформационных систем на основе аналитики больших объемов данных (Big Data) с помощью технологии Hadoop с систематизацией в виде так называемых «витрин данных», на основе On-line Analyzing Processing, формируемых от нескольких распределенных серверов мониторинга, работающих под системами сетевого мониторинга. Применение «витрин данных» показано на примере распределенной инфокоммуникационной сети Министерства транспорта России и его Федеральных агентств.

*Ключевые слова.* Big Data, On-line Analyzing Processing, измерительная информация, геоинформационная система, Hadoop, сервер мониторинга, система мониторинга.

#### **PRESENTATION AND PROCESSING OF MEASUREMENT INFORMATION BASED ON BIG DATA STOREFRONTS FOR MONITORING THE STATE OF A DISTRIBUTED GEOINFORMATION SYSTEM**

Avanesov M.Y.<sup>1</sup>, Budko N.P.<sup>2</sup>, Vasiliev N.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Closed Joint Stock Company "Institute of Telecommunications", St. Petersburg

<sup>2</sup>Public Joint Stock Company "INTELTECH", St. Petersburg

*Annotation.* The issues of presentation and processing of measurement information about the state of distributed geoinformation systems based on big data analytics using Hadoop technology with systematization in the form of so-called "data showcases" based on On-line Analyzing Processing generated from several distributed monitoring servers operating under network monitoring systems are considered. The use of "data showcases" is shown by the example of a distributed infocommunication network of the Ministry of Transport of Russia and its Federal Agencies.

*Keywords.* Big Data, On-line Analyzing Processing, Measurement information, information and telecommunication network, Hadoop, monitoring server, monitoring system, technical condition.

Современные системы мониторинга распределенных геоинформационных систем (ГИС) используют архитектуру «менеджер»-«агент», предполагающую наличие в корпоративной инфокоммуникационной сети (ИКС) множества измерительных агентов, устанавливаемых на сетевые устройства и единственного менеджера, осуществляющего сбор и обработку данных с агентов.

В рассматриваемом случае к распределённым геоинформационным системам относятся системы, которые не имеют всех компонентов в одном физическом

местоположении. Это может быть обработка, база данных, рендеринг или пользовательский интерфейс. Они представляют собой частный случай распределенных вычислений с примерами распределенных систем, включая веб-сайт ГИС и мобильные ГИС.

Схема обработки данных может быть описана триадой: «первичные данные» (предоставляются агентом) – «события» (генерируются менеджером) – «предупреждения» (генерируются менеджером при обработке множества событий). Проблема масштабирования инфраструктуры мониторинга при расширении и интеграции инфокоммуникационных сетей в идеологии *TMN* (*TMN – Telecommunication Management Network* – система управления сетями) осуществляется на уровнях «события» и (чаще) «предупреждения». Указанная схема интеграции оптимизирована под достаточно узкие каналы управления, характерные для конца 90-х годов XX века. Естественно, что подобная структура, базирующаяся на событийных данных, позволяла в то время решать довольно узкий спектр аналитических задач.

Прогнозирование долговременных трендов распределенных сетевых структур на основе «сырых» первичных данных, предоставляемых агентами, оставалось долгое время неосуществимым по чисто техническим причинам. Однако увеличение пропускной способности каналов передачи информации вызвало бурный рост инфокоммуникационных технологий к важнейшим из которых относятся облачные технологии и интернет вещей. Большая гибкость и адаптивность современных инфокоммуникационных технологий к потребностям конечных потребителей с одной стороны и учету ресурсов провайдеров с другой стороны требует более гибкого подхода к организации мониторинга, особенно в части точности превентивной аналитики.

Современные технологии больших данных (*Big Data*) наряду с широкими каналами создают предпосылки для формирования базы «интеллектуального» мониторинга, широко использующего подходы машинного обучения не только для анализа долговременных трендов, но и для оперативной аналитики состояния распределенных геоинформационных систем. При этом, если для мониторинга отдельных сетевых устройств подход интеграции на основе «событий» является приемлемым ввиду изолированности их друг от друга, то для мониторинга распределенной ГИС как целого, такой подход становится неприменимым ввиду сложности принятия решения о состоянии всей системы по агрегированным метрикам отдельных подсистем или малой их информативности.

Если транслировать все первичные данные (измерительную информацию) о значениях параметров элементов ИКС в центр обработки (ситуационный центр) такую задачу возможно реализовать. А если представить одну подсеть в виде свертки с числом «событий» в 5–6 функциональных состояний (норма, авария, предавария и пр.), другую подсеть – аналогично, то на верхнем уровне подсистема мониторинга распределенной ГИС может лишь констатировать работоспособность или блокировку ИКС в целом, без детализации по конкретным метрикам ее параметров.

В настоящее время *Hadoop* – это де-факто базовая технология хранения и обработки (аналитики) больших объемов данных (*Big Data*), реализуемая на распределенной файловой системе *HDMS*. В указанной структуре функционирует хранилище «ключ-значение» *HBase*, осуществляющее сбор первичных данных из нескольких узлов мониторинга, формируя тем самым витрину первичных данных аналитики [1–3]. При этом «ключ» характеризует конкретное устройство распределенной ГИС параметрами, описывающими его функционирование, а «значение» – временными рядами измерительной информации со значениями параметров, снимаемыми с этого устройства во времени.

Особенностью базы данных *HBase* является оптимизация последней под операции чтения и записи, наиболее отвечающих потребностям мониторинга. Данные (измерительная информация) может быть собрана средствами *Hadoop Flume* со всей распределенной сети и агрегирована в виде так называемых «витрин данных» [4], частным случаем которых являются классические *OLAP*-кубы (*OLAP – On-line Analyzing Processing*). Ориентация современных средств мониторинга таких как *Prometheus* на технологию

хранения «ключ»-«значение» также создает предпосылки для бесшовной интеграции на основе стека больших данных *Hadoop*.

Для реализации интеллектуальных сценариев мониторинга на основе больших данных *Hadoop* предоставляет *Spark*-платформу [1] разработки приложений аналитики данных. Самым элементарным является использование *Spark* для разработки сценариев аналитики влияния элементов распределенной ГИС на ключевые серверы. Более сложные сценарии, включающие граф-аналитические вычисления [5], с трудом реализуются на классической инфраструктуре мониторинга по причине нескольких источников сбора данных (соответствующих граничным маршрутизаторам) и большом объеме в каждом из них (пары взаимодействующих устройств). *Hadoop* позволяет сформировать такой набор. *Spark* позволяет произвести расчет граф-метрик для реализации аналитики поведения (состояния) распределенной системы. Применение «витрин данных» показано на примере структуры распределенной ГИС Минтранса и её Федеральных агентств (Росморречфлота, Росавиации, Росжелдор, Росавтодор), рисунок 1.

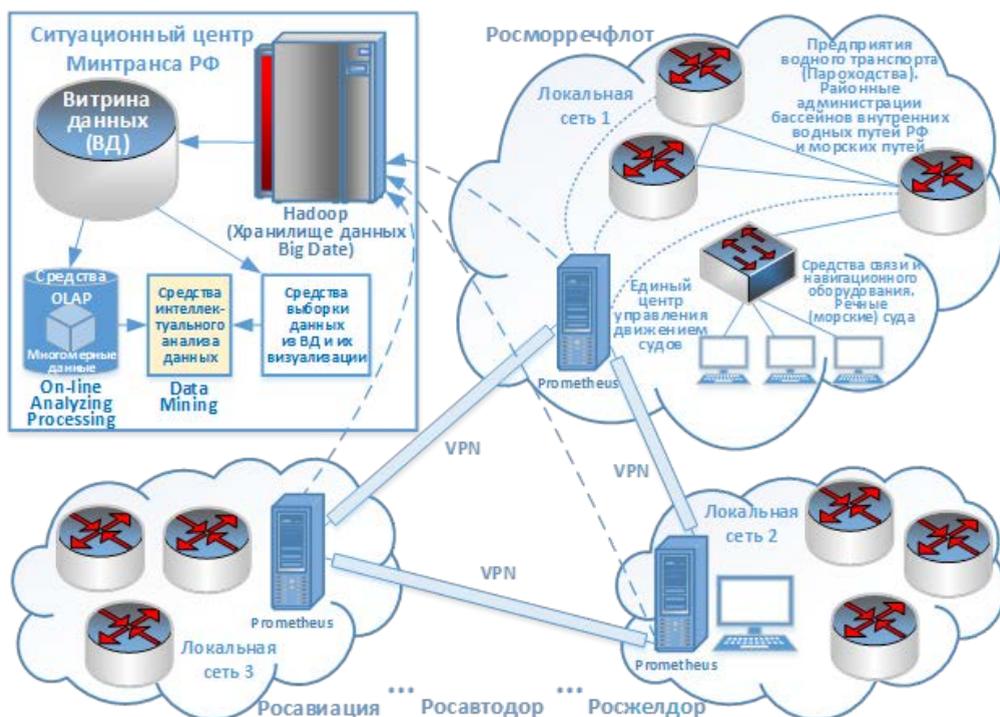


Рисунок 1 – Применение витрин данных на примере распределенной ГИС Министерства транспорта Российской Федерации и её федеральных агентств

### Список литературы

1. D'Alconzo A., Drago I., Morichetta A., Mellia M., Casas P. A Survey on Big Data for Network Traffic Monitoring and Analysis. [Электронный ресурс] arXiv:2003.01648v1 [cs.DC] 3 Mar 2020. Текстовые данные — Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/339674996> свободный. (Дата обращения 22.01.2023).
2. Емельянов А. Мониторинг сервисов с Prometheus. [Электронный ресурс] Текстовые дан. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/275803> свободный. (Дата обращения 22.01.2023).

3. Мокшина О. Как базы данных «ключ-значение» обеспечивают производительность и масштабируемость без границ. [Электронный ресурс] Текстовые дан. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/vk/blog/685402> свободный. (Дата обращения 22.01.2023).
4. Воронков К. Л., Шерстюк Ю. М., Романенко А. И. Методика синтеза структуры витрины данных медико-генетического мониторинга // Информационно-управляющие системы. 2006. № 1. С. 14-20.
5. Bunke P., Dickinson P. J., Kraetzl M., Wallis W. D. Graph-Theoretic Approach to Enterprise Network Dynamics. Basel. Birkhauser. 2007. 226 p.

## **НОВАЯ ПАРАДИГМА РАЗВИТИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

Вязилов Е.Д.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –  
Мировой центр данных, Обнинск  
*vjaz@meteo.ru*

*Аннотация.* Представлена новая парадигма гидрометеорологического обеспечения потребителей. Показан состав сервисов для реализации парадигмы.

*Ключевые слова.* Новая парадигма, гидрометеорологическое обеспечение, сервисы.

## **NEW PARADIGM FOR DEVELOPMENT OF HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT ON BASICAL OF DIGITAL TRANSFORMATION**

Viazilov E. D.

All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information – World Data Centre, Obninsk

*Annotation.* A new paradigm of hydrometeorological support for consumers is presented. The composition of services for the implementation of the paradigm is considered.

*Keywords.* New paradigm, hydrometeorological support, services.

Основная цель развития происходящей сейчас цифровой трансформации гидрометеорологического обеспечения (ГМО) потребителей - это существенное повышение эффективности бизнес процессов предприятий, зависящих от гидрометеорологических условий (ГМУ). Для достижения этой цели необходима смена парадигмы ГМО, которая подробно описана в [1], и заключается в следующем. Вместе с предоставлением цифровой продукции о состоянии гидрометеорологической обстановки выдавать сведения о возможных воздействиях опасных явлений (ОЯ) на население и промышленные предприятия. Вместе с текстом воздействий предлагается фотографии, видео, а также дополненную реальность в виде анимированных видео с показом воздействий дождя, снега, наводнений на деятельность населения и предприятий. Зная воздействия, можно заранее определить список рекомендаций для проведения превентивных мероприятий. При этом можно заранее до явления получить оценку ущерба, а также стоимость превентивных мероприятий. Важно также, чтобы идентификация ОЯ производилась на основе оперативных данных и локальных пороговых значений.

Для реализации такой парадигмы необходимо развивать соответствующие сервисы для обслуживания потребителей. Фактически предлагается осуществить переход от наиболее распространенного сейчас самообслуживания на сайтах, порталах к персонализированному обслуживанию. Для этого гидрометеорологические организации должны выявить уникальные потребности по составу и способу обслуживания (подписка на продукцию, автоматическая доставка данных и загрузка их в базы данных потребителей). Поставщики данных должны автоматически доводить ГМИ, когда ОЯ прогнозируются или

уже проявляются. А потребители должны использовать эти сообщения для адаптации своих бизнес процессов к сложившимся ГМУ. Ориентированное на потребителя обслуживание основывается на регулярной обработке всех потоков данных для выявления ОЯ на основе локальных пороговых значений для каждого типа потребителей. Не надо ждать ОЯ, надо заранее готовиться к нему на основе климатических данных и сверхдолгосрочных прогнозов. Если сверхдолгосрочных прогнозов нет, то надо заказывать их разработку.

Повышение эффективности бизнес процессов с использованием ГМИ невозможно без максимальной автоматизации задач управления данными. Это необходимо, чтобы сократить издержки на операциях, уменьшить время доступа к данным, упростить доступ к ним. Для реализации такой парадигмы разработана сквозная схема производства информационной продукции в виде сервисов идентификации ОЯ; МетеоМонитора, показывающего карту пространственного распределения гидрометеорологических параметров с выделением района ОЯ; информационной панели состояния ГМУ с указанием уровня опасности и графиков изменения параметров за последнюю неделю; поддержки решений, выдающей сведения о воздействиях и рекомендации для принятия решений. Архитектура прикладного программного обеспечения перспективного ГМО дана на рисунке 1.

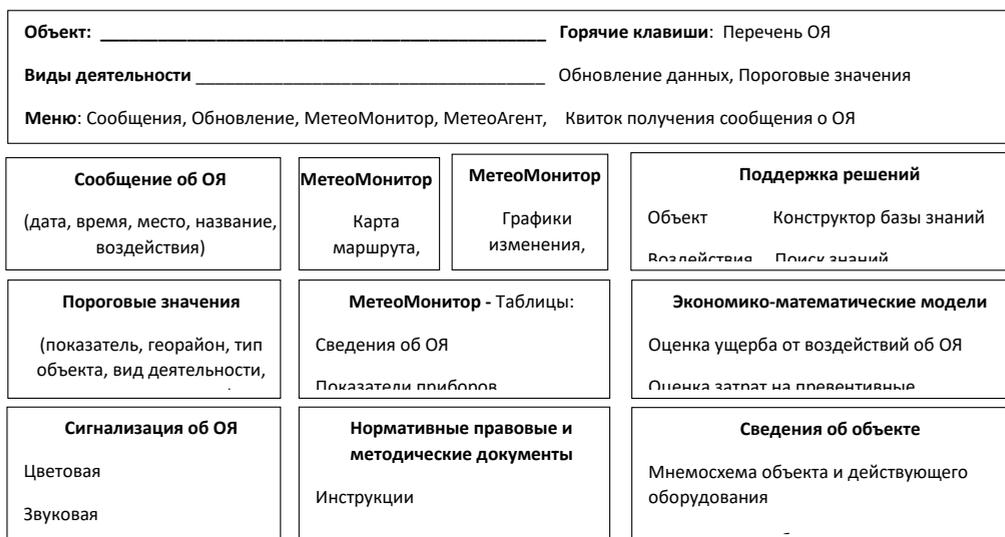


Рисунок 1 – Архитектура прикладного программного обеспечения системы ГМО

Автоматическое обнаружение отклонений наблюдаемых и прогностических значений гидрометеорологических параметров от их локальных пороговых значений включает расширенное обнаружение уровней опасности на основе множества правил и может быстро подстраиваться под новые диапазоны уровней опасности и для новых объектов. Благодаря этим сервисам можно осуществлять мониторинг уровней опасности для каждого предприятия, на которые влияют окружающая среда, и доводить до потребителей сведения об ОЯ с помощью СМС-сообщений.

В системе мониторинга состояния работы аппаратно-программных средств и состояния обработки и получения цифровой информационной продукции должны появиться дополнительные средства аналитики и базы знаний. Эти средства позволят администратору сквозной технологии видеть состояние всех процессов обработки данных, управлять ими и вовремя вмешиваться в этот процесс, если возникнет внештатная ситуация.

Персонализация ГМО экономит руководителю время и ресурсы на получение, анализ данных. Сервисы будут автоматически выявлять ОЯ, быстро предупреждать потребителей о них, давать прогноз воздействий ОЯ на население и предприятия, оценивать ущерб, выдавать

рекомендации для принятия решений и рассчитывать стоимость превентивных мероприятий. Предложенные идеи и решения реализуются в рамках модернизации ЕСИМО (<http://esimo.ru>).

### Список литературы

1. Вязилов Е.Д. Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения потребителей. Том 1. Подходы по реализации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2021. 354 с.; Том 2. Применение в различных областях. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2022. 356 с.

## МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В РАННЕВЕСЕННИЙ ПЕРИОД ПО СПУТНИКОВЫМ ДАНЫМ

Гоголев Д.Г.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград  
[dengg@mail.ru](mailto:dengg@mail.ru)

*Аннотация.* Работа посвящена исследованию особенностей межгодового изменения температуры поверхности Балтийского моря в периоды прогрева поверхности моря в марте–апреле в зависимости от суровости предшествовавшей зимы. Для анализа использованы совместные данные инфракрасного и микроволнового диапазонов с радиометров MODIS (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (спутник Suomi-NPP), AMSR-E (спутник Aqua), AMSR-2 (спутник GCOM-W1) и WindSat (спутник Coriolis) из архива центра обработки данных спутниковых микроволновых радиометров Remote Sensing Systems. Рассмотрены периоды потепления после суровой зимы 2010-2011, умеренной зимы 2012-2013 и теплой зимы 2018-2019 годов. Показано влияние суровости зимы на процессы прогрева поверхностного слоя и на скорость протекания данных процессов в различные периоды в зависимости от географических особенностей региона исследования.

*Ключевые слова.* температура поверхности моря, Балтийское море, спутниковые данные микроволнового диапазона.

## INTERANNUAL VARIATIONS OF THE BALTIC SEA SURFACE TEMPERATURE FIELD IN EARLY SPRING PERIOD FROM SATELLITE DATA

Gogolev Denis Grigorievich

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*Annotation.* The work is devoted to the study of the features of interannual changes in the Baltic Sea surface temperature during the periods of sea surface warming in March-April depending on the severity of the preceding winter. Joint infrared and microwave data from MODIS (Terra and Aqua) and VIIRS (Suomi-NPP), AMSR-E (Aqua), AMSR-2 (GCOM-W1) and WindSat (Coriolis) from the Remote Sensing Systems microwave data center archive were used for analysis. Warming periods after the severe winter of 2010-2011, the moderate winter of 2012-2013, and the warm winter of 2018-2019 are examined. The influence of winter severity on surface layer warming processes and on the rate of these processes in different periods depending on the geographical features of the study region is shown.

*Keywords.* Sea surface temperature, Baltic Sea, microwave satellite data.

Введение. Рассмотрены особенности межгодового изменения температуры поверхности Балтийского моря по композитным спутниковым данным инфракрасного и микроволнового диапазонов в периоды прогрева поверхности моря в марте–апреле в зависимости от суровости предшествовавшей зимы. Показаны средние значения температуры поверхности моря (ТПМ) за 7-дневные периоды, когда наблюдалось начало прогрева. Для выявления особенностей изменения ТПМ выполнен расчет градиентов с

помощью оператора Собеля. Спутниковые данные позволили выявить темпы прогрева поверхности моря, проанализировать их пространственно-временные особенности.

Данные и методы. Проведен анализ динамики поля ТПМ в собственно Балтийском море в ранневесенний период 2011 г. после очень холодной зимы, 2013 г. после умеренной зимы и 2019 г. после мягкой (теплой) зимы. Суровость зим определена согласно отчетам международной организации ледокольных служб стран Балтийского моря «Baltic Icebreaking Management» (<https://baltice.org/>).

Для построения поля SST использованы совместные данные инфракрасного и микроволнового диапазонов с радиометров MODIS (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (спутник Suomi-NPP), AMSR-E (спутник Aqua), AMSR-2 (спутник GCOM-W1) и WindSat (спутник Coriolis) из архива центра обработки данных спутниковых микроволновых радиометров Remote Sensing Systems [<http://remss.com/measurements/sea-surface-temperature>]. Временное разрешение 1 день, пространственное разрешение 9 км.

Для определения значения градиента температуры использован дискретный дифференциальный оператор Собеля в меридиональном и широтном направлениях [-2:-1:-2;0:0:0;2:1:2] в окне 3x3 пиксела [Гонсалес, Вудс, 2012].

Результаты. Сезон очень холодной зимы 2011 г. характеризуется сильными холодными ветрами, очищающими ото льда акваторию и низкими февральскими показателями температуры воздуха. Поверхностный слой моря охлаждается до минимальных значений, после чего значительно, по сравнению с умеренными зимними сезонами, увеличивается площадь ледового покрова (до 310-320 тыс. км<sup>2</sup>). Весенний прогрев поверхности Балтийского моря после холодных зим начинается не ранее первой недели апреля и характеризуется низкой температурой (0°C - 2°C) поверхности моря вдоль основной оси моря благодаря активной глубокой вертикальной конвекции, достигающей дна в прибрежных и мелководных районах (рисунок 1). Изотермы имеют сглаженный вид, что отражается и в поле градиентов. Причем, градиенты ТПМ в широтном направлении максимальны, в то время в меридианном направлении не отображают географические особенности прогрева: низкие значения градиентов распределены равномерно как в западной части моря, так и в восточной, демонстрируя высокие показатели только в районах речного стока (рисунок 2).

Ранневесенний сезон после умеренной зимы 2013 г. характеризуются средними показателями температурного режима поверхности моря от 0.5°C до 2°C уже в первую неделю марта. Изотермы сглаженные и направлены вдоль линии с юго-запада на север, что указывает на меридианальное изменение поля ТПМ (Рисунок 3) и четко соответствует полю градиентов в том же меридианальном направлении, в то время как широтное распределение градиентов температуры практически однородно по всей акватории (Рисунок 4).

В 2019 г. в условиях теплой зимы наблюдается минимальный по площади ледовый покров поверхности моря и только в самой северной его части (от 60 до 100 тыс. км<sup>2</sup>). К наступлению календарной весны, температура поверхности моря уже достигает 1°C - 3.5°C, а в южной части 4°C. Изотермы сглажены и располагаются по большей части в широтном направлении (Рисунок 5), но вдоль оси Гданьский залив – Ботнический залив простираются в меридианальном направлении, четко соответствует полю градиентов меридианального направления (Рисунок 6), при этом широтное направление градиентов поля температуры повторяет рисунок меридианального.

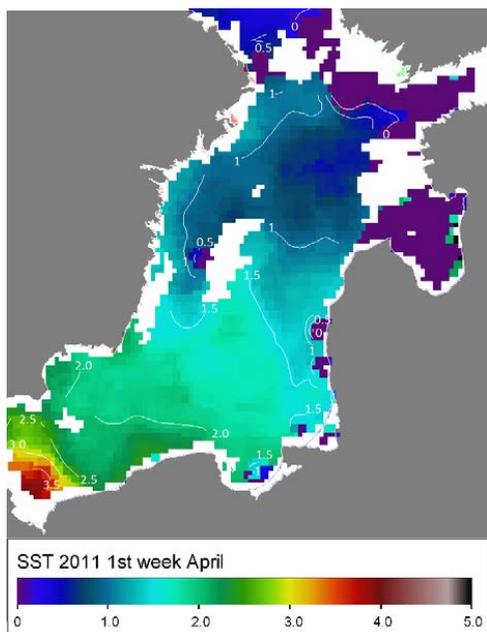


Рисунок 1. Температура поверхности моря после очень холодной зимы сезона 2010-2011 года в первую неделю апреля (белыми линиями показаны изотермы)

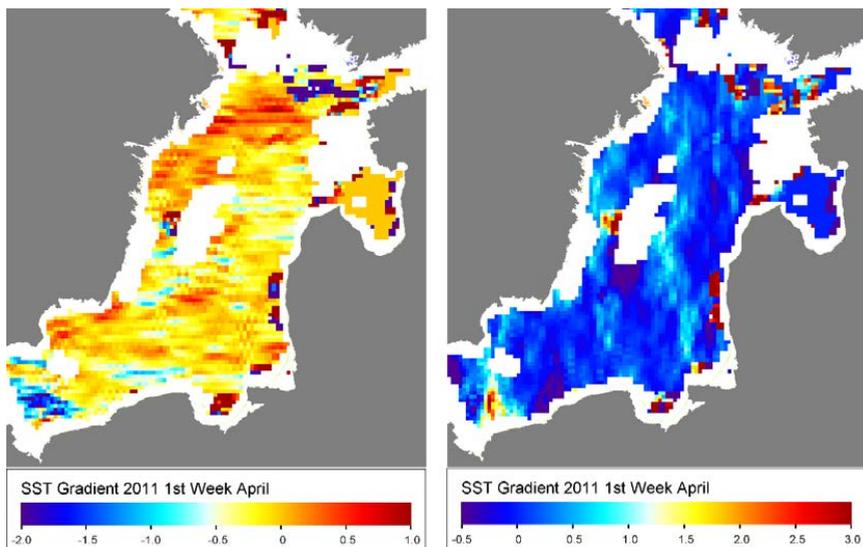


Рисунок 2 – Величина градиента температуры в широтном (слева) и меридианальном направлении (справа)

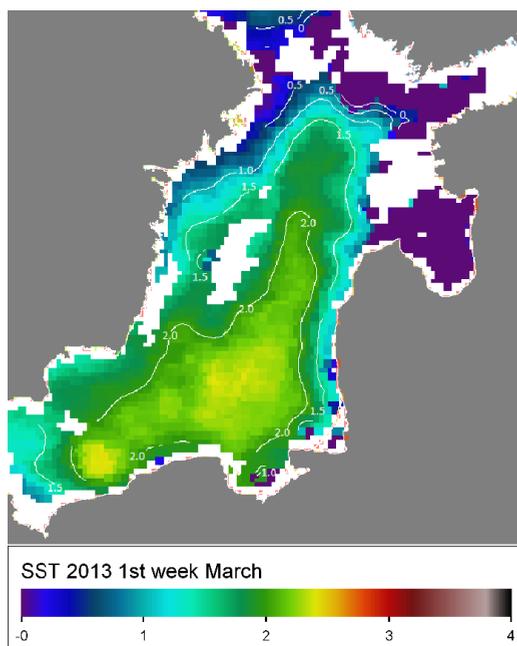


Рисунок 3 – Температура поверхности моря после умеренной зимы сезона 2012-2013 года в первую неделю марта (белыми линиями показаны изотермы)

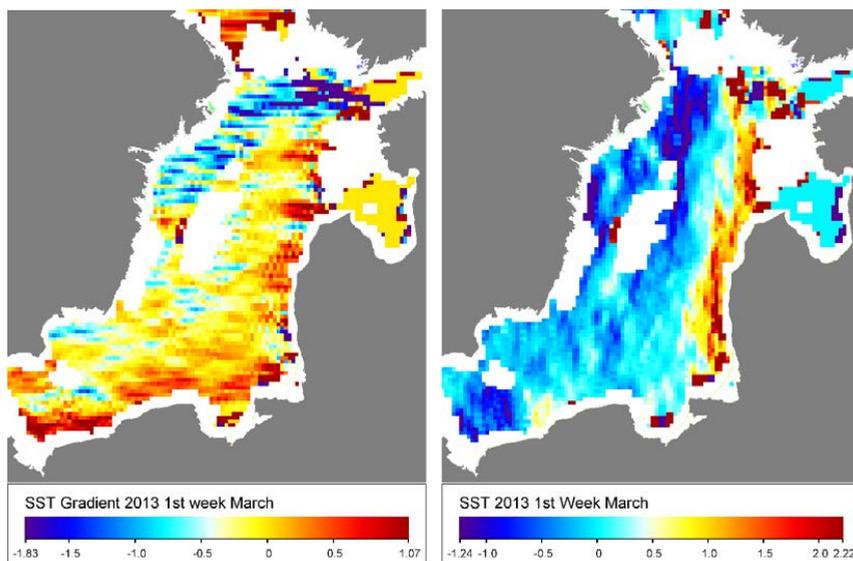


Рисунок 4 – Величина градиента температуры в широтном (слева) и меридианальном направлении (справа)

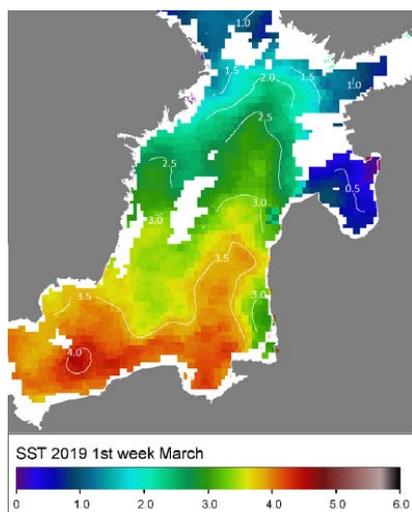


Рисунок 5 – Температура поверхности моря после мягкой (теплой) зимы сезона 2018-2019 года в первую неделю марта (белыми линиями показаны изотермы)

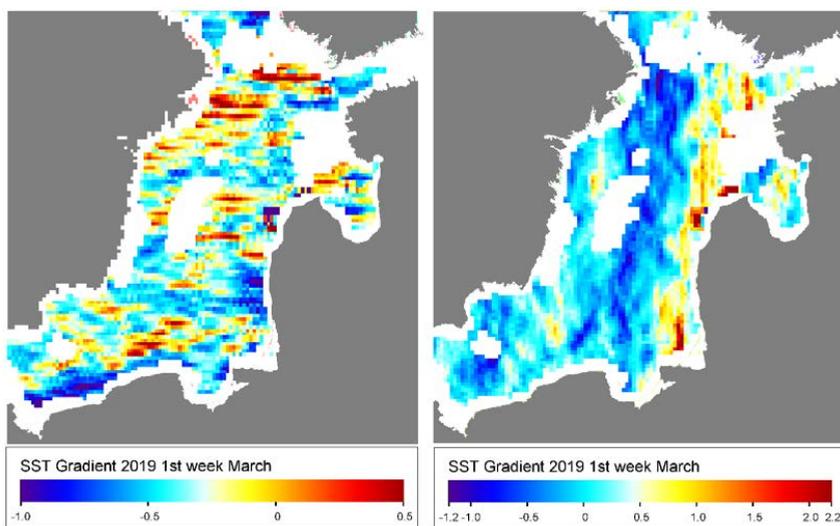


Рисунок 6 – Величина градиента температуры в широтном (слева) и меридианальном направлении (справа)

**Заключение.** Анализ межгодовых особенностей трансформации поля ТПМ в ранневесенний период показал, что последовательный прогрев поверхности Балтийского моря происходит неодинаково: в разные периоды, с различной скоростью и географическими особенностями в зависимости от суровости предшествовавшей зимы.

#### Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2012. - 1005 с.
2. <http://remss.com/measurements/sea-surface-temperature>.
3. <https://baltice.org>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА АТМОСФЕРЫ

Дорошко Н.В., Светашев А.Г., Турышев Л.Н., Сидоркина Е.И.

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,

Белорусский государственный университет, Минск

*natashka\_d10.05@mail.ru*

*Аннотация.* В исследовании приведен анализ использования цифровых технологий при характеристике метеорологических элементов. Описаны результаты применения численной мезомасштабной модели на примере ураганов, а также выявлены параметры для построения автоматизированной системы распознавания опасных явлений.

*Ключевые слова.* Цифровые методы, метеорологические элементы, ураган, климат, численная модель.

## USING DIGITAL METHODS TO ANALYZE THE ATMOSPHERE

Dorozhko N.V., Svetashev A.G., Turishev L.N., Cidorkina E.I.

<sup>1</sup>National Ozone Monitoring Research Center of Belarusian State University, Minsk

*Annotation.* The study provides an analysis of the use of digital technologies in the characterization of meteorological elements. The results of applying a numerical mesoscale model on the example of hurricanes are described, and parameters for constructing an automated system for recognizing dangerous phenomena are identified.

*Keywords.* Digital methods, meteorological elements, hurricane, climate, numerical model.

Состояние атмосферы над конкретной территорией и в определенное время обуславливается различными метеорологическими элементами, которые в комплексе характеризуют погоду изучаемой территории. Климатическая система представляет собой сложную интерактивную структуру, включающую атмосферу, поверхность суши, снежный покров и льды, океаны и другие водные объекты, а также живые организмы [1-5]. Для целей прогнозирования и анализа климатических систем применяются различные цифровые технологии, которые позволяют оперативно и на должном научном и методическом уровне решить поставленные задачи. Для обеспечения лучшего понимания системы климата, компьютерные программы должны описывать модель взаимодействия атмосферы со всеми элементами.

В данном исследовании использовались методы математической статистики, включая пакеты Excel, SPSS Statistics [6]. Определялась статистическая значимость метеорологических характеристик. По полученным данным строились карты с применением картографической программы Arcgis [7]. Для этого применялся инструмент «слайд». Для численного анализа метеорологических элементов использовалась система численного прогноза погоды WRF [8]. Подготовка входных данных включала сбор синоптических, метеорологических, климатических, спутниковых, радиолокационных данных и их статистическую обработку. Объективный анализ с применением цифровых технологий включал выбор области счета, построение домена для территории Беларуси, выбор картографической проекции и сетки участка моделирования. Обработка и визуализация данных заключается в определении достоверности результатов (верификация данных), которая осуществлялась с использованием спутниковых данных, и построении картографического материала по полученным результатам.

Материалами для работы служили:

-данные системы GFS [9];

-данные реанализа с сайта NOAA [9];

-результаты системы численного моделирования в системе WRF из архивов НИИЦ МО БГУ;

-данные Белгидрометцентра

Атмосферу можно охарактеризовать посредством статистических описаний основных тенденций и изменчивости климатических элементов, таких как температура, осадки, атмосферное давление, влажность и ветер, или комбинаций элементов, например, типов и явлений погоды, характерных для какой-либо местности или региона, или же для всего мира за какой-либо промежуток времени. Актуальным является применение цифровых методов для анализа этих элементов.

Наиболее часто используются такие параметры, как температура воздуха (с учетом максимальной и минимальной), осадки (дождь, снег и все виды мокрого осаджения, такие как град, роса, изморозь, иней и оседающий туман), влажность, атмосферная циркуляция (скорость и направление ветра), атмосферное давление, испарение, солнечный свет и текущая погода (например, туман, град и гром).

Важно отметить, что между временными и пространственными масштабами приведенных метеорологических элементов существует определенное взаимное соответствие, что является существенным аспектом при статистическом и численном анализе.

Для совокупной оценки за основные параметры были приняты количество и маршруты циклонов и антициклонов, проходящих по изучаемой территории; облачность; температура воздуха; влажность; скорости ветра; показатели индексов глобальной циркуляции, данные о струйных течениях, а также данные о некоторых ураганах, проходящих по территории Беларуси. Выбор этих параметров, а также пространственных и временных масштабов их численного моделирования обусловлен спецификой их применения для анализа изменений атмосферы в региональном масштабе. Как показали исследования, все выбранные факторы являются значимыми и могут служить своеобразными индикаторами климатических изменений в атмосфере. Количество и траектория циклонов и антициклонов, как глобальных барических образований, ведут к локальным вариациям климата. Зимой над Евразией формируется Азиатский максимум. Повторяемость погоды зимой, устанавливающейся под воздействием Азиатского антициклона, составляет 18-20 %, весной и осенью – 10-14 %. Интенсивность влияния Азиатского антициклона уменьшается с востока-на запад. Азорский максимум в целом определяет характер погоды страны летом. В этот период восточное ответвление Азорского максимума, который смещается из тропических широт на север, проходит к югу от Беларуси. Повторяемость погоды в летний период -18%. Более заметное влияние на климат республики оказывают циклоны. Их воздействие на условия и характер погоды происходит на протяжении более 150 суток в году, но циклональная циркуляция оказывает воздействие на погоду в течении примерно 216 суток. При изучении маршрутов, типизации и статистики барических образований климатически значимыми будут не средние арифметические, а скорее средние медианные (наиболее вероятные) величины.

Использование статистических методов позволило рассчитать многолетние нормы и коэффициенты линейного тренда для температур и осадков на территории Беларуси. За периоды 1977 – 2019 гг. и 2001 – 2019 гг. За инструментальный период метеонаблюдений на территории Республики Беларусь фиксировались периоды потеплений и похолоданий. С конца 80-х годов наблюдается очередной период потепления, этим и обусловлен выбор периода исследования метеорологических элементов. От выбора срока многолетней нормы зависят распределения полей метеовеличин. За период 1977-2019гг для температурной нормы характерно уменьшение значений с юго-запада на северо-восток. На крайнем юго-западе, станция Брест, норма в пределах 8,09 - 9,67 °С, а на севере и северо-востоке – от 5,65 до 6,42 °С. Для среднегодового значения температурной нормы за период 2001-2019гг. также характерно уменьшение температур с юго-запада на северо-восток. На крайнем юго-западе, станция Брест, норма в пределах 8,91-10,52 °С, а на северо-востоке – от 6,17 до 7,06 °С. Следует отметить определенную корреляционную связь между температурой воздуха и индексами глобальной циркуляции на территории Беларуси. Корреляция температуры воздуха и индексов АО (арктическое колебание) для территории РБ в январе за период 1950-

2019гг. – в пределах 0,5, для NAO (северо-атлантическое колебание) – в пределах 0,5, лишь на юго-востоке страны – 0,4. Корреляция температуры воздуха и индексов АО (арктическое колебание) для территории РБ в июле за период 1950-2019 гг. – в пределах 0,1, для NAO (северо-атлантическое колебание) – в пределах 0,3. Циркуляционный фактор играет важную роль в динамике термического режима и является важным параметром для численного моделирования. Происходит заметное изменение характера статистических связей в зависимости от индекса циркуляции. Если АО и NAO более эффективно влияют на термический режим западных районов зимой (связи положительные), то SCAND зимой в значительно большей степени влияет на восток региона (связи отрицательная). Колебание EAWR также более эффективно воздействует на восток региона, но уже в летний период и с отрицательным знаком. Роль циркуляционных факторов на рассматриваемой территории неоднородная как по знаку, так и интенсивности.

Для Беларуси характерна повышенная влажность воздуха в течение года. Обусловлено это преобладанием влажного атлантического воздуха. В осенне-зимний период на всей территории Беларуси относительная влажность воздуха превышает 80 %. Весной и летом из-за более высоких температур она понижается до 50—60 %, а в отдельные дни даже до 30 %. Высокая влажность воздуха является причиной частых туманов, возникающих при относительной влажности воздуха 100 %. Центральная часть Беларуси, где преобладают возвышенности, получает 650—700 мм осадков. Самым увлажненным местом республики является Новогрудская возвышенность, где выпадает более 750 мм осадков в год. На низменностях северных и южных районов страны количество осадков понижается до 550—600 мм. За период 1977-2019 гг. суммарное количество осадков имеет диапазон от 374,86 до 842,19 мм. Максимум осадков наблюдаются на севере и северо-западе страны. Особенно для возвышенных территорий, Новогрудская возвышенность – 754,24-842,19 мм.

Климатически значимым будет также состояние верхней тропосферы. Для территории Беларуси проведен расчет локализации струйных течений, как элемента атмосферы, системой WRF в период опасного метеорологического явления и выявлено перемещение струйного течения с северо-запада на юго-восток с уменьшением скорости ветра. Для изучения струйного течения целесообразно рассматривать уровень давления (300 – 100 мбар), градиенты ветра (вертикальный более 5-10 м/с на 1 км, горизонтальный более 5 м/с на 100 км), направление ветра, градиент плотности частиц (уменьшение от центра к краям). Как показала проверка результатов, моделирование в мезомасштабе дает довольно успешные прогнозы возникновения струйных течений до трех дней включительно.

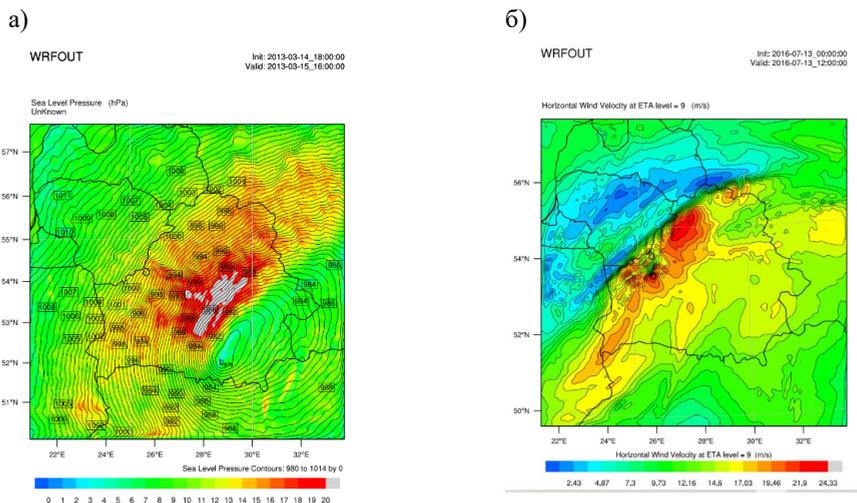
Циклон отличается от струйного течения направлением ветра, распределением давления, площадью, плотностью и другими признаками. Циклону принадлежат следующие признаки: замкнутая область пониженного давления; замкнутая область понижения высоты поверхностей равного давления; сильное вращательное движение воздуха; направление вращения зависит от полушарий. Приведенные признаки являются неотъемлемой частью создания нейронной сети для распознавания опасных явлений и построения траектории их движения.

Струйные течения и циклоническая активность, тесно связаны с развитием ураганов и грозовой активности. Для анализа ураганов на территории Беларуси были выбраны случаи прохождения «Хавьера» в мае 2013 года и урагана в июле 2016 года. «Хавьер» – активный снежный циклон, стихийное бедствие, которое произошло 15 марта 2013 года главным образом на территории Белоруссии, также были затронуты северная Украина, западная часть России и Прибалтика. Порывы ветра составляли 20-24 метра в секунду, максимальная скорость – до 28 м/с. В Минске толщина снежного покрова увеличилась всего на 11 сантиметров. При этом, общая толщина снежного покрова составила 57 сантиметров, а в результате сильной метели, активно переносившей снежные массы, во многих местах сугробы были ещё выше. По данным расчета усиление активности урагана пришлось на послеобеденное время (в среднем 16.00), что отразилось в увеличении скоростей ветра, а

также давления в этой области. Такие участки отмечались больше в районах центральной Беларуси (рисунок 1 а).

11-12-13 июля 2016 года по территории Республики Беларусь проходил грозовой фронт. Грозы сопровождались порывами ветра 20 и более метров в секунду. 13 июля наблюдалась наибольшая его активность (рисунок 1 б), которая сопровождалась сильным дождем с ветром, особенно ярко это отражалось в обеденное время.

Важным моментом при изучении опасных явлений является анализ облачности. По спутниковым данным облачности проводится проверка рассчитанных данных на правильность. В данном исследовании использовались показатели облачности верхнего уровня на 10.05. 2012 г. (рисунок 2).



*Рисунок 1 – Расчет приземного атмосферного давления (гПа) и скорости ветра (м/с) урагана «Хавьер» (а) и Расчет урагана 2016 года на 12.00 по территории Беларуси: горизонтальная составляющая скорости ветра (м/с) (б)*

По ним видно, что в ночное время расхождений практически нет по всей территории, только величина температуры колеблется от доли градусов. Расхождения более заметны в дневное время, максимальная разница температур составляет 5 °С в районах, занятых облачностью. Также спутниковые снимки являются важными элементами при создании средств искусственного интеллекта (нейронных сетей) для распознавания метеорологических элементов. Для этого создана база данных и построена блок схема алгоритма распознавания, которая включает снимки облачности со спутниковых систем, данные реальных наблюдений и элементы, определенные ранее на примере ураганов.

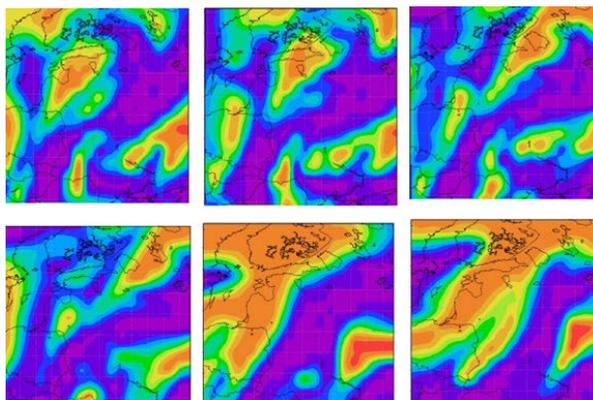


Рисунок 2– Пример данных облачности верхнего уровня на 10.05.2012. MERRA  
(Перспективный анализ эпохи для исследований)

На основе созданных показателей построена система автоматизированного прогноза и анализа данных. Система включает два блока: 1. Распознавание атмосферных параметров. Для этого используется разработанная, с помощью языка программирования NCL, нейронная сеть. 2. Автоматический расчет в системе WRF, при обнаружении необходимого явления. Данная система улучшает качество прогноза и позволяет с высокой степенью достоверности определять атмосферные элементы на конкретной территории.

Таким образом совокупность анализа приведенных параметров показывает эффективность использования цифровых технологий при анализе атмосферы. Перспективным является использование комплексного подхода для анализа. Следует отметить, что совокупность методов статистики и численного анализа позволяют создать нейронную сеть для распознавания, анализа и прогнозирования явлений в атмосфере.

### Список литературы

1. Руководство по климатической практике – Всемирная метеорологическая организация – Женева: ВМО-№100, 2011 г. – 158 с.
2. Доружко, Н.В. Вопросы моделирования регионального климата на территории Беларуси/ Acta Geographica Silesiana, 13/4 (36) – 2019 – С.5 –12.
3. Дымников, В.П., Филатов А.Н. Основы математической теории климата. – М: ВИНТИ, 1994 г. – 252 с.
4. Дымников, В.П. Моделирование климата и его изменений/ В.П. Дымников, В.Н. Лыкосов, Е.М. Володин, В.Я. Галин, А.В. Глазунов, А.С. Грицун, Н.А. Дианский, М.А. Толстых, А.И. Чавро //Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования – Москва – т.2 Наука, 2005 г. – С. 38 – 175
5. Логинов, В.Ф. Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования; [редкол.: А. К. Карабанов (гл. ред.) и др.]. – Минск, 2014 г. – Вып. 25. – С. 47–52.
6. Программа Statistics – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://spsstatistics.ru/>– Дата доступа:20.02.2023 г.
- 7.ArcGIS Pro – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-pro/overview> - Дата доступа:20.02.2023 г.
8. WRF - Модель исследования и прогнозирования погоды – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> - Дата доступа:20.02.2023 г.

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГОВ**

Ермолович Ю.Г.<sup>1</sup>, Давыдовский А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск

*Lia93@tut.by*

*Аннотация.* Представлен анализ современных проблем и рассмотрены возможные перспективы цифровой трансформации образовательной подготовки будущих специалистов-гидрометеорологов в условиях современного университета с учетом тенденций цифровой трансформации образования  
*Ключевые слова.* Цифровые технологии, образовательный процесс, специалисты-гидрометеорологи, цифровая трансформация образования

## ***PROBLEMS AND PROSPECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF EDUCATIONAL TRAINING OF HYDROMETEOROLOGISTS***

Ermolovich Y.G.<sup>1</sup>, Davidovsky A.G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk

<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk

*Annotation.* This article presents an analysis of modern problems and possible prospects for the digital transformation of the educational training of future hydrometeorologists in a modern university.  
*Keywords.* Digital technologies, educational processes, hydrometeorologists, digital transformation of education.

Современный мир переживает разнообразные цифровые трансформации. И главная задача каждого специалиста-гидрометеоролога, стремящегося стать компетентным в своей области, уметь ориентироваться и адаптироваться к реалиям быстро меняющегося современного мира и постоянно совершенствовать свои знания и навыки, в мире где информация устаревает быстрыми темпами. Трансформация всех сфер общества и образования в частности, происходит под воздействием и непосредственным влиянием цифровой среды. Соответственно, под воздействием цифровых технологий в образовательном процессе происходит изменения форм, методов работы с будущими специалистами. Гидрометеорология – это комплексная пограничная естественнонаучная дисциплина, рассматривающая процессы, имеющие отношение как к метеорологическому, так и к гидрологическому у режиму (испарение, осадки, снежный покров и пр.) [1].

Область применения гидрометеорологических знаний включает диапазон от исследовательско-вычислительной и прогностической деятельности до разработки сложных моделей, описывающих взаимодействие атмосферы, океана и суши.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания необходимы для осуществления проектов строительства и освоения ресурсов, как на суше, так и, в частности, на континентальном шельфе. Вместе с тем, составление погодно-климатических прогнозов опирается на современные системы сбора и обработки гидрометеорологических данных, поступающих от наземных метеостанций и космических систем дистанционного мониторинга окружающей среды. В отсутствие этих данных невозможен контроль состояния окружающей среды, а также прогноз ее возможных альтераций. При этом на всех

этапах сбора, обработки и представления данных активно используются компьютерные системы, программные комплексы и математические модели. Это обуславливает широкое использование современных цифровых технологий в процессе образовательной подготовки будущих специалистов-гидрометеорологов на факультете географии и геоинформатики БГУ.

В частности, эффективная цифровая трансформация образовательной подготовки специалистов-гидрометеорологов организована на кафедре общего землеведения и гидрометеорологии этого факультета БГУ. Кафедра осуществляет подготовку специалистов с квалификацией «Географ. Гидрометеоролог», специальности «Гидрометеорология», а также магистрантов по специальности «Гидрометеорология» с профилизациями «Синоптическая метеорология» и «Климатические риски и управление водными ресурсами».

Дисциплины, входящие в общенаучный цикл высшего образования специалистов-географов, являются фундаментальными, а их преподавание на протяжении десятилетий велось в условиях отсутствия цифровых технологий. К таким дисциплинам можно отнести: введение в гидрометеорологию, гидрология, физическая метеорология, гидробиология, гидроэкология, океанология, общая лимнология, гидрология водохранилищ [2].

Дисциплины профессионального цикла, такие как гидрометрия, мониторинг атмосферного воздуха и гидросферы, синоптическая метеорология, методы прогнозирования погоды, метеорология и климатология, методы анализа и обработки гидрометеорологической информации, динамическая метеорология, гидрологические расчёты, гидравлика и инженерная гидрология, проектирование научных исследований, мониторинг загрязнения атмосферы в различных синоптических условиях, изменение климата и климатические риски, долгосрочные метеорологические прогнозы, оценка и возмещение ущерба опасных метеорологических явлений, синоптические условия образования опасных явлений погоды и др. Их возможно преподавать и применять без использования цифровых технологий, однако это существенно снижает эффективность исследовательско-преподавательской деятельности в образовательном процессе. Так, гидрометрия, гидравлика и инженерная гидрология требуют обработки огромных баз данных, с которыми человек будет заниматься вычислением от нескольких часов до нескольких недель, в то время как компьютер сделает эти же действия в течение нескольких минут.

Существует ряд дисциплин, преподавание которых без цифровых технологий априори невозможно, к ним можно отнести: использование спутниковой информации в синоптической практике, спутниковая метеорология (используются метеорологические спутники, позволяющие получать информацию о многих метеорологических величинах для всего земного шара), численный анализ атмосферных процессов, методы дистанционных исследований, моделирование метеорологических и гидрологических процессов, радиолокационная метеорология (в целях наземных наблюдений за облаками и осадками активно применяются радиолокационные методы исследования), геоинформационных систем (ГИС) в управлении водными ресурсами, геоинформационно-технологическое сопровождение гидрометеорологических исследований, автоматизированные системы в синоптической метеорологии и широкое использование компьютерных технологий. Широкое использование ЭВМ. В современной метеорологической науке широко используются методы теоретической механики, а также материалы и методы многих др. физических, химических и технических дисциплин. В настоящее время в Республике Беларусь происходит активное формирование единого фонда цифровых гидрометеорологических пространственных данных.

В соответствии с координальными изменениями методов получения, применения, обработки и преобразования данных необходимо трансформировать и методы обучения в соответствии с потребностями каждой из дисциплин.

Наиболее перспективными методами образовательной подготовки будущих специалистов-гидрометеорологов в условиях современного университета цифровой трансформации образования являются:

– компьютерное моделирование (Компьютерные модели нашли применение в исследованиях погодных явлений, климата и вопросов, связанных с загрязнением атмосферы и окружающей среды в целом; проводить численное моделирование реальных погодных ситуаций в системе WRF; оценивать информацию, производить ее первичную обработку и использовать полученные данные при анализе физических процессов и явлений, происходящих в атмосфере; владеть системным и сравнительным анализом, работать с электронными географическими картами и атласами);

– геймификация образовательного процесса – процесс включения игровых элементов в обучающий курс; подобная практика повышает вовлеченность и мотивацию специалистов-гидрометеорологов, позволяет более эффективно усваивать материал; игровой подход в обучении уже успел доказать свою эффективность по сравнению с традиционными методами; причем игры нравятся людям разных возрастов, поэтому их используют во всех сферах образования – от университета до корпоративных сервисов дополнительного образования; причем немаловажно отметить возрастающее значения геймификации в образовательной подготовке будущих специалистов-гидрометеорологов;

– широкое использование ГИС-технологических платформ для образовательной подготовки будущих гидрометеорологов; например, ГИС «Метео», включающая метеорологическую базу данных, комплекс отдельных приложений, средства сбора, обработки и анализа гидрометеорологических данных; причем ГИС «Метео» позволяет организовать эффективное и оперативное гидрометеорологическое обеспечение при малом штате сотрудников и крайне ограниченных затратах;

– методы численного анализа гигантских баз данных, агрегированных из различных источников;

– методы искусственного интеллекта, включая нейросетевые технологии для анализа, прогноза, изучения траектории опасных метеорологических явлений и т.п.

При этом в процессе образовательной подготовки будущих специалистов-гидрометеорологов целесообразно уделить внимание изучению языков программирования. Причем гидрометеорологические процессы по своему генезису являются, чаще всего, внезапными и трудно прогнозируемыми явлениями. В этой связи часто приходится создавать программное обеспечение под каждую группу погодно-климатических явлений, для чего важнейшее значение имеет знание объектно-ориентированных языков высокого уровня, в т.ч. Python, Fortran, Java, C/C++ и др.

Можно сделать вывод о том, что актуальным направлением развития современного образования в области подготовки будущих гидрометеорологов является применение в ней новейших достижений физики и техники, что влечёт за собой изменение в структуре и организации подготовки кадров гидрометеорологических направлений. При этом в учебные планы включаются новые учебные дисциплины, существование которых было бы невозможно без интенсивного развития цифровых технологий. В частности, это относится к спутниковой метеорологии, численному анализу атмосферных процессов, моделированию метеорологических и гидрологических процессов. В настоящее время возможен доступ к мировым базам погодно-климатических данных, которые посредством компьютерных технологий, проходят обработку и впервые в мировой гидрометеорологической практике появилась возможность проанализировать, спрогнозировать и создать климато-гидрологическую модель, учитывающую колоссальное количество факторов и изучить её. Вместе с тем, наличие надежных численных моделей, данных дистанционного зондирования и высоких вычислительных возможностей позволяет осуществлять достаточно точное прогнозирование метеорологических и климатологических событий. Кроме того, это требует принципиального повышения качества подготовки будущих специалистов гидрометеорологических специальностей.

Для более качественной подготовки будущих гидрометеорологов в современном университете в условиях цифровой трансформации образования целесообразно широкое освоение современных технологий компьютерного моделирования глобальных

гидрометеорологических процессов, ГИС-технологий, методов численного анализа геоклиматических систем и событий в глобальном масштабе, методов искусственного интеллекта, нейросетевых технологий для прогнозирования геоклиматических событий и их социально-экономических последствий.

Качественная подготовка специалистов–гидрометеорологов позволяет более успешно решать проблемы, связанные с теми новыми вызовами, возникающих перед гидрометеорологией в свете предстоящих глобальных геоклиматических перестроек, в эпоху которых активно вступает наша планета.

#### Список литературы

1. Санкт-Петербургский государственный университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// www.spbu.ru/universitet](https://www.spbu.ru/universitet) – Дата доступа: 26.02.2023.
2. Факультет географии и геоинформатики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geo.bsu.by> – Дата доступа: 26.02.2023.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВО ФРОНТАЛЬНОЙ ОБЛАЧНОСТИ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ ПО ДАННЫМ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Жуков Д.Ф.<sup>1</sup>, Пустовалов К.Н.<sup>1,2</sup>, Нагорский П.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск  
[den1szhukov@ya.ru](mailto:den1szhukov@ya.ru), [const.pv@ya.ru](mailto:const.pv@ya.ru), [npm\\_sta@mail.ru](mailto:npm_sta@mail.ru)

*Аннотация.* Выполняется исследование затопленной конвекции с целью анализа её характеристик для последующего обнаружения во фронтальной облачности, а также производится анализ статистических зависимостей между различными параметрами, полученными на основе активного и пассивного спутникового зондирования.

*Ключевые слова.* Западная Сибирь, затопленная конвекция, маска облачности, радиолокационная отражаемость, водность, оптическая плотность, водозапас.

### A STUDY OF EMBEDDED CONVECTION IN FRONTAL CLOUDS OVER WESTERN SIBERIA BY ACTIVE AND PASSIVE SATELLITE SENSING DATA

Zhukov D.F.<sup>1</sup>, Pustovalov K.N.<sup>1,2</sup>, Nagorskiy P.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk

<sup>2</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk

*Annotation.* A study of embedded convection is performed in order to analyze its characteristics for subsequent detection in frontal clouds, and an analysis of statistical dependencies between various parameters obtained from active and passive satellite sensing is performed.

*Keywords.* Western Siberia, embedded convection, cloud mask, radar reflectivity, water content, cloud optical thickness, cloud water path.

Одним из последствий изменения климата является изменение повторяемости кучево-дождевой облачности и связанных с ней опасных явлений. Существенное увеличение доли конвективной облачности во второй половине XX в. – начале XXI в. наблюдается в регионах Северной Евразии [1]. Сохранение данной тенденции ведёт к соответствующему увеличению повторяемости таких опасных явлений, как грозы, град, шквалы, интенсивные ливни и др. Следует отметить, что одним из наименее изученных мезомасштабных конвективных явлений до сих пор остаётся затопленная конвекция (ЗК) – облачные образования, состоящие из скоплений конвективных облаков и возникающие в зонах атмосферных фронтов (АФ),

которые затоплены («замаскированы») во фронтальной слоистообразной облачности [2, 3]. В связи с данной особенностью эти облачные системы практически незаметны при наблюдении с земной поверхности, поэтому наиболее эффективными средствами для их обнаружения являются системы спутникового мониторинга Земли. При этом на юге Западной Сибири зафиксирована высокая повторяемость мезомасштабной конвективной облачности [4, 5]. Таким образом, исследование затопленной конвекции и связанных с ней явлений на данной территории является весьма нужным и актуальным.

Целью работы является исследование затопленной конвекции по данным различных космических аппаратов (KA CloudSat, CALIPSO и Aqua) с последующим её обнаружением во фронтальной облачности и переходом от активного спутникового зондирования к пассивному.

Для исследования были использованы следующие данные:

- 1) Продукты второго уровня обработки («2B-GEOPROF-LIDAR», «2B-GEOPROF» и «2B-CWC-RO») по данным радара CPR (KA CloudSat) и лидара CALIOP (KA CALIPSO) [6];
- 2) Продукты второго уровня обработки («Cloud Optical Thickness» и «Cloud Water Path») по данным спектрорадиометра MODIS (KA Aqua) [7].

На первом этапе производился отбор прохождения облачных систем атмосферных фронтов с наличием мезонеоднородностей, связанных с затопленной конвекцией на основе данных EOSDIS Worldview [8]. Были выделены временные интервалы и определены координаты их прохождения над территорией исследования. Всего за период 2010–2019 гг. было отобрано и обработано порядка 60 случаев прохождения атмосферных фронтов (35 холодных фронтов, 5 тёплых и 20 фронтов окклюзии).

Затем для отобранных случаев производилась выгрузка данных второго уровня обработки продуктов CPR/CALIOP и MODIS с серверов NASA Data Processing Center [6] и LAADS DAAC [7]. Далее в среде программирования MATLAB (The MathWorks, Inc.) был написан авторский программный код, производивший автоматизированный импорт полученных данных, их обработку с выделением слоёв облачности по данным радиолокационной отражаемости и водности по специальным критериям и в конечном итоге визуализацию данных с вычислением некоторой статистики. В результате были подготовлены тематические изображения: вертикальное расположение облачных слоёв (в том числе расположение зон затопленной конвекции) с изменением характеристик оптической плотности облачности (Cloud Optical Thickness) и водозапаса облачности (Cloud Water Path), а также графики линейной аппроксимации исследуемых параметров.

В качестве критериев выделения конвективных ячеек брались пороговые значения следующих исследуемых величин: радиолокационная отражаемость – 9 дБ и более, водность – 200 мг/м<sup>3</sup> и более. Эти критерии были подобраны эмпирически исходя из распределения данных величин во фронтальных облачных системах [9]. Данные оптической плотности и водозапаса облачности на основе MODIS отбирались с помощью специального алгоритма так, чтобы они относились именно к зонам измерения CloudSat/CALIPSO и описывали отобранные случаи.

Рассмотрим детально вертикальную структуру одного из типичных случаев облачной системы холодного фронта (рисунок 1).

Согласно рисунку 1, общая горизонтальная протяжённость данного фронта составила ~1010 км, высота ВГО (верхней границы облачности) ~12 км. Протяжённость же и высота ВГО зоны конвективных образований внутри рассматриваемой системы оставили ~260 км и ~11 км соответственно. Изменения оптической плотности (*a*) и водозапаса облачности (*b*) в свою очередь хорошо «ложатся» на общую картину облачности – данные параметры возрастают именно в зонах, определённых как конвективная облачность, что говорит о высокой точности данной методики обнаружения ячеек затопленной конвекции.

В целом, высота верхней границы этих очагов, их протяжённость, а также значения оптической толщи и водозапаса облачности соответствуют аналогичным параметрам, характерным для одиночных кучево-дождевых облаков (или их скоплений) [10].

На рисунках 2 и 3 приведены графики дискретной аппроксимации данных оптической плотности и водозапаса облачности (MODIS) совместно с максимальными значениями радиолокационной отражаемости и водности (CloudSat/CALIPSO) в вертикальном слое за каждый момент времени в пределах рассматриваемого случая.

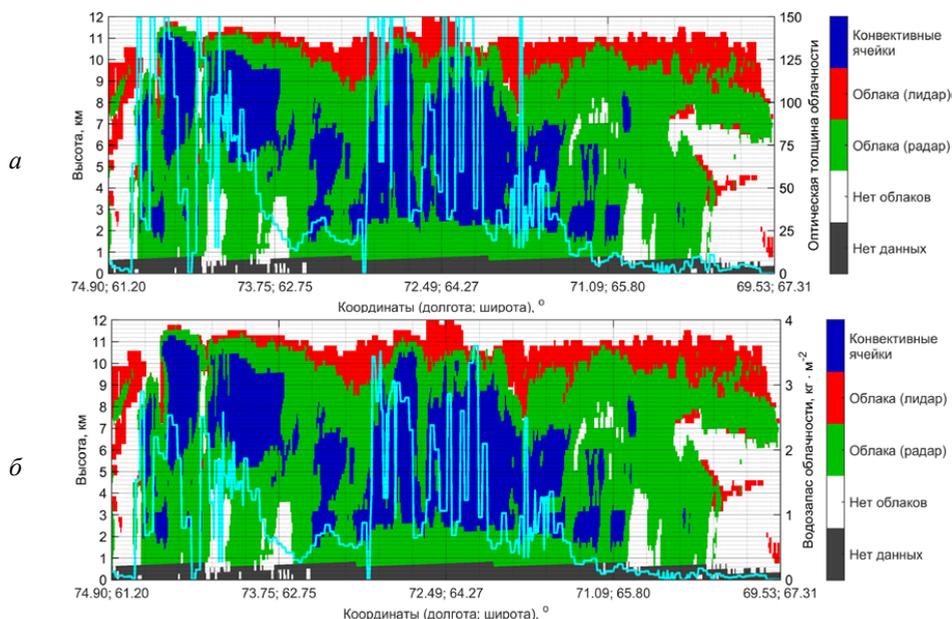


Рисунок 1 – Маски слоёв облачности по данным КА CloudSat/CALIPSO с графиками (кривые голубого цвета) изменения оптической плотности облачности (а) и водозапаса облачности (б) по данным спектрорадиометра MODIS (КА Aqua) холодного фронта за 12.07.2016 г.

Согласно рисунку 2 коэффициенты детерминации по совместным данным оптической плотности облачности с данными радиолокационной отражаемости (а) и водности (б) составляют 0,44 и 0,52 соответственно; коэффициенты корреляции при этом получаются равными 0,66 и 0,72. Из этого следует, что между данными оптической плотности, а также данными радиолокационной отражаемости и водности прослеживается связь от сильной до умеренной.

Согласно рисунку 3 коэффициенты детерминации по совместным данным водозапаса облачности с данными радиолокационной отражаемости (а) и водности (б) составляют 0,26 и 0,44 соответственно; коэффициенты корреляции – 0,51 и 0,67. Это показывает, что между данными водозапаса, а также данными радиолокационной отражаемости и водности прослеживается умеренная связь, аналогично ситуации с оптической плотностью.

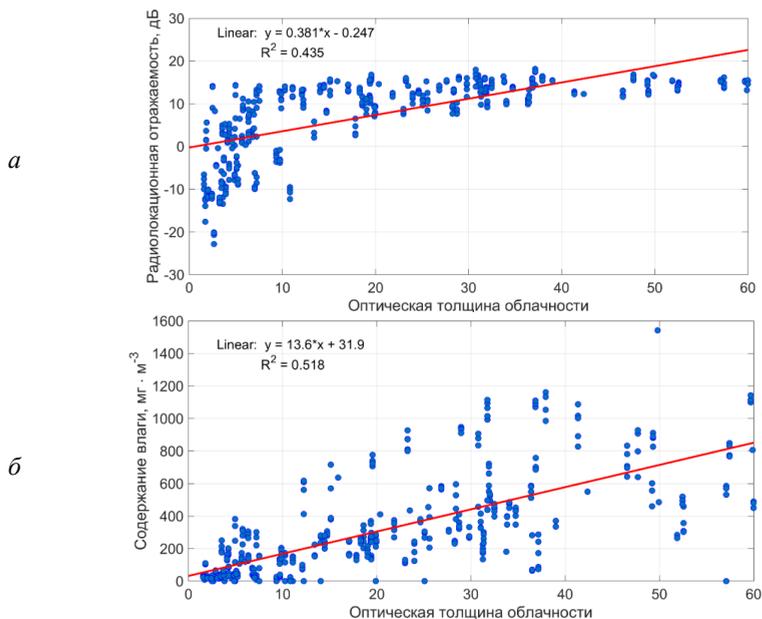


Рисунок 2 – Графики линейной аппроксимации данных оптической плотности облачности (MODIS) совместно с максимальными значениями радиолокационной отражаемости (а) и водности (б) в вертикальном слое (CloudSat/CALIPSO) холодного фронта за 12.07.2016 г.

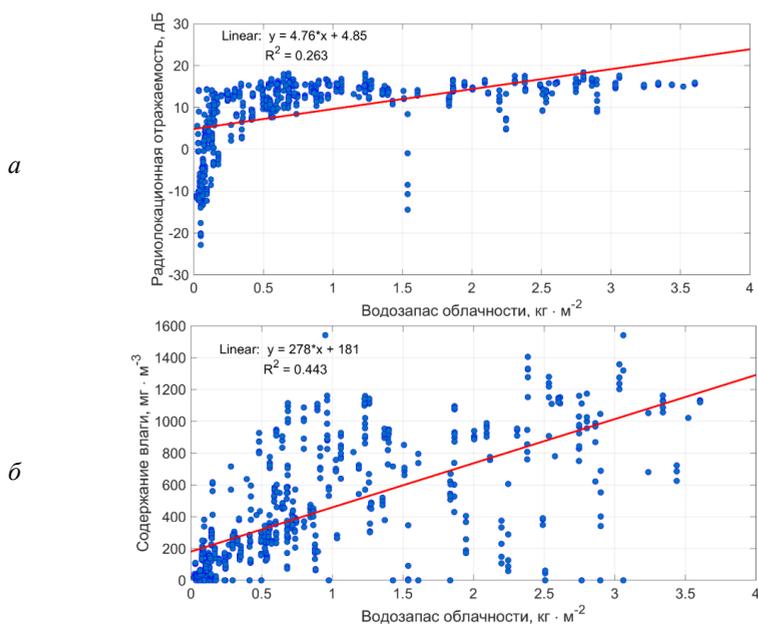


Рисунок 3 – Графики линейной аппроксимации данных водозаписа облачности (MODIS) совместно с максимальными значениями радиолокационной отражаемости (а) и водности (б) в вертикальном слое (CloudSat/CALIPSO) холодного фронта за 12.07.2016 г.

Таким образом, проведённое исследование показало, что использование данных спутникового зондирования радара CPR, лидара CALIOP и спектрорадиометра MODIS

позволяет с высокой точностью обнаруживать затопленную конвекцию в атмосферных фронтах. Кроме того, проведённый анализ совместных данных по продуктам описанных приборов позволяет сделать вывод о наличии связи между результатами измерений CPR/CALIOP и MODIS. Из чего следует, что данными CPR/CALIOP с достаточной точностью могут быть восстановлены по данным MODIS.

Работа выполнена при поддержке госбюджетной темы (номер госрегистрации 121031300154-1).

### Список литературы

1. Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным / А.В. Чернокульский, А.В. Елисеев, Ф.А. Козлов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 5. – С. 27–41.
2. Шметер С.М. Характеристики затопленной конвекции во фронтальных облаках и условия её образования // Метеорология и гидрология. 1990. №4. С 36–44.
3. Hobbs P.V. Organization and Structure of Clouds and Precipitation on the Mesoscale and Microscale in Cyclonic Storms // Reviews of Geophysics and Space Physics. November 1978. Vol. 16, № 4. P. 741–755.
4. Кошикова Т.С., Жукова В.А., Кужевская И.В. Оценка параметров мезомасштабных конвективных комплексов на основе спутниковых и аэрологических данных // Геосферные исследования. 2019. № 2. С. 86–97.
5. Нагорский П.М. Структура мезомасштабных конвективных систем над Западной Сибирью по данным спутниковых наблюдений / П.М. Нагорский, Д.Ф. Жуков, М.С. Картавых, М.В. Оглезнева, К.Н. Пустовалов, С.В. Смирнов // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 12. – С. 45–55.
6. CloudSat Data Processing Center [Электронный ресурс]. URL: ftp1.cloudsat.cira.colostate.edu (Дата обращения: 30.10.2021).
7. LAADS DAAC [Электронный ресурс]. URL: https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive (Дата обращения: 15.12.2022).
8. EOSDIS Worldview [Электронный ресурс]. URL: https://worldview.earthdata.nasa.gov (дата обращения: 15.04.2020).
9. Применение данных космических аппаратов CloudSat и CALIPSO для оценки характеристик затопленной конвекции во фронтальных облачных системах над югом Западной Сибири / Д.Ф. Жуков, К.Н. Пустовалов, П.М. Нагорский // Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 14–18 ноября 2022 года / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2022. – С. 418.
10. Хромов С.П. Метеорология и климатология: Учебник / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. – Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2012. – 584 с.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Козлова Н.А., Канарский И.Д., Королёва О.А., Подчасский А.С., Беленя Е.С.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

vka@mil.ru

*Аннотация.* Рассматривается проблема создания геоинформационной системы диагностики опасных природных процессов и явлений, предназначенной для сбора, хранения, приема, обработки и отображения геофизической информации о процессах и явлениях, происходящих в различных геосферах Земли (атмосферы, ионосферы, литосферы и т.д.).

*Ключевые слова.* Геоинформационная система, геомоделирование, геосферы земли, база данных, специализированные массивы, опасные природные процессы и явления, гидрометеорологическая (геофизическая) информация, сейсмические явления.

## **GEOINFORMATION DIAGNOSTIC SYSTEM DANGEROUS NATURAL PROCESSES AND PHENOMENA**

Kozlova N.A., Kanorsky I.D., Koroleva O.A., Podchassky A.S., Belenya E.S.  
Budgetary Military Educational Institution of Higher Education «Mozhaisky Military Aerospace Academy» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Sankt-Petersburg

*Annotation.* The problem of creating a geoinformation system for diagnosing hazardous natural processes and phenomena, designed to collect, store, receive, process and display geophysical information about processes and phenomena occurring in various geospheres of the Earth (atmosphere, ionosphere, lithosphere, etc.) is considered.

*Keywords.* Geoinformation system, geomodeling, geospheres of the earth, database, specialized arrays, hazardous natural processes and phenomena, hydrometeorological (geophysical) information, seismic phenomena.

Геоинформационная система (ГИС) – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение геофизических (гидрометеорологических) данных и позволяющая вести диагностику опасных природных процессов и явлений (ОППЯ) в различных геосферах земли в глобальном масштабе с использованием методов пространственного анализа и геомоделирования.

Применительно к проблеме диагностики процессов формирования ОППЯ данная ГИС должна включать в себя набор баз данных, содержащих архивную, фактическую, прогностическую гидрометеорологическую (геофизическую) информацию и специализированные массивы показателей с критическими значениями по каждому виду ОППЯ в различных физико-географическом районах.

Специальный математический аппарат системы должен обеспечивать оперативную диагностику процесса формирования возможного ОППЯ, основываясь на расчете и анализе соответствующего массива специальных показателей.

Пример такой ГИС, в части диагностики процесса формирования сейсмических явлений (землетрясений) с магнитудой  $\geq 3,3$ , реализован в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

База данных специализированных геофизических показателей опасных природных явлений, происходящих в литосфере, дает возможность судить о фазе сейсмического процесса, тенденции, скорости интенсивности его развития и, на этой основе, оценивать время, место и интенсивность возникновения потенциально опасного явления.

Содержание базы данных литосферных процессов включает следующие показатели:

- фоновые показатели сейсмической активности в исследуемых районах;
- показатели сейсмической активности в исследуемых районах в определенные периоды или интервалы времени;
- скорости сейсмостектонической деформации на различных стадиях развития сейсмического процесса;
- значение плотности потока сейсмической энергии сейсмических явлений в исследуемом районе за различные интервалы времени в исследуемом районе;
- отношение скоростей сейсмостектонической деформации в сейсмоопасных и сейсмостойких районах за разные временные интервалы и т.п.

Результаты по оперативной диагностике сейсмостектонической обстановки на полуострове Камчатка на 01.01.2013 г. в картографическом и табличном виде представлены на рисунке 1.

В качестве аппарата оценивания результатов диагностики в данной ГИС применен метод нечеткой логики, а именно метод Шортлифа–Бьюкенена. Более подробно применение этого метода описано в работе [1].

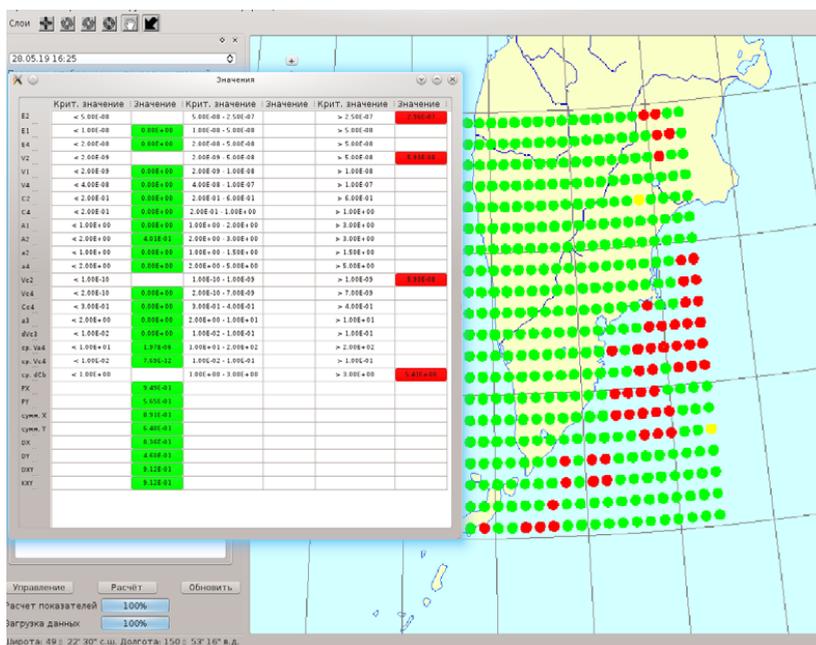


Рисунок 1 – Карта сейсмической активности района

Примечание: красные (темные) кружки – сейсмоопасный район; зеленые кружки – несейсмоопасный район

### Список литературы

1. Канарский И.Д., Козлова Н.А., Подчасский А.С., Королёва О.А. Автоматизированная экспертная система оперативного контроля опасных природных процессов и явлений // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб, 2022. – № 682. – С. 120-129.

## ПРОГНОЗ ТИПА ТУМАНА НА АЭРОДРОМЕ ПУЛКОВО С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кулижская П.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
kulizhskaya.polina@yandex.ru

**Аннотация:** В данной работе представлены результаты исследования микроклимата аэродрома, которое заключалось в выявлении ключевых характеристик, которые влияют на формирование погоды в пределах аэродрома. Для решения этой задачи использовались методы глубокого обучения.

**Ключевые слова:** туман, прогноз, аэродром, алгоритмы глубокого обучения, нейронные сети

# FOG TIPE FORECASTING AT PULKOVO AIRPORT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Kulizhskaya P.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* A study of the microclimate of the airfield was conducted. The study consisted in identifying key features, properties that affect the formation of weather within the airfield. To solve this problem, deep learning methods were used.

*Keywords.* Fog, forecast, airport, deep learning algorithms, neural networks.

Туман – это видимый аэрозоль, который состоит из маленьких капель воды и кристаллов льда, взвешенных в воздухе. Продолжительность этого опасного явления может достигать нескольких часов, а в холодное время года и нескольких суток.

Согласно климатическому описанию аэродрома Пулково (г. Санкт-Петербург) наиболее часто туманы наблюдаются с августа по октябрь с максимальной среднемесячной повторяемостью в сентябре (10,9%), а минимальной – в январе (в среднем 1,1%) [1]. При анализе повторяемости туманов за каждый месяц можно выделить теплый (май - октябрь) и холодный периоды (ноябрь - апрель) года.

В авиационной практике используются следующую классификацию и обозначения различных типов тумана [2,3,4]:

- 1) FG (Fog – туман);
- 2) FZFG (Freezing fog – переохлажденный туман);
- 3) MIFG (Shallow fog – поземный туман);
- 4) BCFG (Patches fog – туман клочьями);
- 5) PRFG (Partial fog – частичный туман).

Для данного исследования Данные из архива аэродрома Пулково (о наблюдении различных типов туманов а также все данные о погоде за 2022 год для контрольного тестирования модели) были предоставлены Северо-Западным филиалом ФГБУ «Авиаметеоком Росгидромета». Период изучения с 1 января 2010 года до 2022 год [5].

В данный момент в оперативной прогностической практике используются синоптические методы прогноза туманов: метод Зверева, метод Петренко, а также результаты работы численных моделей атмосферы.

Целью данного исследования является построение модели на основе алгоритмов глубокого обучения, которая сможет с высокой точностью прогнозировать тип тумана. Это облегчит работу синоптикам и повысит качество прогнозов этого опасного явления.

Для достижения поставленной цели был произведён анализ данных наблюдений и построение модели многослойной нейронной сети, а также её обучение и валидация. Необходимо было соединить модель, обработанные данные, затем учесть скорость обучения и оптимизировать методы минимизации ошибок.

Рассмотрим каждый этап построение модели подробнее:

## 1. Препроцессинг

На этом этапе происходит анализ и предварительная обработка данных, которые необходимы для дальнейшей работы.

Данные были разделены на 5 классов: туман, частичный туман, переохлажденный туман, туман клочьями и поземный туман. Затем из сырых данных были удалены ненужные элементы и произведена сортировка всех значений в зависимости от класса. Произведена нормализация всех данных со средним 0 и среднеквадратичным отклонением 1. Это необходимо для упрощения восприятия входных данных нейронной сетью и облегчения для неё процесс обучения (нормальное распределение).

В результате создан массив данных, в который входили по 1645 значений метеорологических параметров по каждому типу тумана, был определены целевые значения на выход сети. Данные были разделены для обучения и валидации, этот этап необходим для

того, чтобы результаты обучения можно было сравнить с контрольными значениями и сделать вывод о качестве прогнозов. На этом процесс подготовки данных окончен.

## 2. Модель нейронной сети

На этом этапе была смоделирована архитектура и параметры нейронной сети. В данном исследовании выбрана нейронная сеть со следующими параметрами: 11 входных значений, 5 значений на выходе модели, 5 скрытых слоев, количество нейронов на начальном и конечном слое – 256. Определен процесс наследия слоев и прописана функция активации Leaky ReLu.

Функция активации ReLu возвращает значение  $x$ , если  $x$  положительно, и 0 в противном случае. Может сложиться впечатление, что эта функция линейная, но это не так. Математически функцию активации ReLu можно представить в виде:

$$f(x) = x, \text{ при } x > 0 \quad (1)$$

Область допустимых значений от 0 до  $inf$ .

Функция ReLu позволяет активировать не все нейроны, а их часть, что облегчает работу вычислительной машины. Такое свойство очень полезно использовать в глубоких сетях с огромным количеством нейронов.

Недостатком функции ReLu является то, что она возвращает 0 для отрицательных значений, так как градиент в этой области равен 0. Из-за равенства нулю градиента, веса не будут корректироваться во время градиентного спуска. Это означает, что пребывающие в таком состоянии нейроны не будут реагировать на изменения в ошибке/входных данных. Чтобы решить эту проблему, функцию ReLu немного модифицировали – Leaky ReLu.

Выражение для модифицированной функции активации:

$$f(x) = 0,01x, \text{ при } x < 0 \quad (2)$$

График модифицированной функции представлен на рисунке.1.

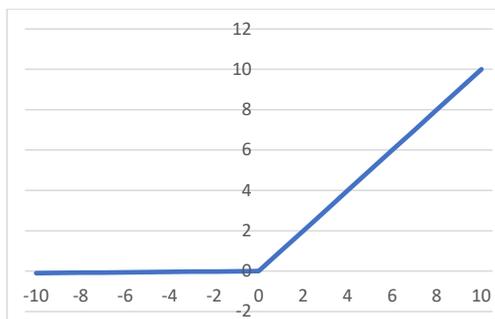


Рисунок 1 – схема работы функции Leaky ReLu

В данной работе на входе 11 нейронов и подаются очень большие объемы данных, поэтому обосновано использование именно функция Leaky ReLu, так как она не требует высокой вычислительной мощности.

## 3. Условия обучения

На этом этапе обрабатываемые данные перемешиваются и форматируются в тензор. Далее 30% данных используются при валидации, а 70% при обучении.

Затем данные классифицируются методом кросс-энтропии, учитывается алгоритм адаптивной скорости обучения Adam и ставится значение количества эпох обучения (в данной модели 60).

Кросс-энтропия (или логарифмическая функция потерь) измеряет расхождение между двумя вероятностными распределениями. Если значение кросс-энтропии большое, то и разница между двумя распределениями большая и соответственно наоборот.

При кросс-энтропии рассматривается задача классификации входных данных двумя классами: 0 и 1. Для каждого параметра генерируется случайная величина, вероятность которой принимает значение 1 ( $p$ ) и 0 ( $1-p$ ). Используя метод максимального правдоподобия, функция записывается следующим образом:

$$p(y|x, w) = \prod_i p(y_i|x_i, w) = \prod_i a_i^{y_i}(1 - a_i)^{1-y_i} \rightarrow \max \quad (3)$$

$$\sum_i (-y_i \log a_i - (1 - y_i) \log(1 - a_i)) \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $a_i = a(x_i|w)$  – ответ алгоритма, который зависит от параметров  $w$ , на  $i$ -м элементе.

Скорость обучения – это один из самых трудных для установки гиперпараметров, так как он напрямую влияет на качество модели. Для данной модели был выбран алгоритм с адаптивной скоростью обучения Adam («ADAPtive Moments», адаптивные моменты) [6]. Этот алгоритм есть комбинация алгоритма RMSProp и импульсного метода, только с некоторыми отличиями. В Adam включен импульс в виде оценки первого момента (с экспоненциальными весами) градиента. Adam считается устойчивым к выбору гиперпараметров, хотя скорость обучения иногда нужно задавать отличной от предлагаемой по умолчанию (по умолчанию 0.001) [6, 7].

Далее определяется цикл тренировки данных с использованием метода стохастического градиентного спуска (СГС), прямого и обратного распространения и рассчитывается общая функция потерь после каждой эпохи обучения.

Метод СГС – итерационный метод оптимизации целевой функции с подходящими свойствами гладкости (например, дифференцируемость). Его можно расценивать как стохастическую аппроксимацию оптимизации методом градиентного спуска, поскольку он заменяет реальный градиент, вычисленный из полного набора данных, оценкой, вычисленной из случайно выбранного подмножества данных.

В конце алгоритма прописываются параметры визуализации процесса обучения и вывода статистики для удобства восприятия процесса обучения сетки.

Результаты работы

Результатами работы является построенная многослойная нейронная сеть прямого и обратного распространения и матрица ошибок результата работы алгоритма машинного обучения.

Как уже указывалось ранее, многослойные нейронные сети трудно визуализировать из-за наличия скрытых слоев. Поэтому результаты работы показаны в виде матрицы ошибок, которая представлена на рисунке 2.

Матрица ошибок представляет собой макет таблицы, который позволяет визуализировать точность алгоритма. Каждая строка является фактическим наблюдением, а каждый столбец прогнозом.

PRFG	0.97	0.01	0.0039	0.0098	0
MIFG	0.017	0.96	0.0079	0	0.014
FG	0.011	0.002	0.98	0	0.0062
FZFG	0.011	0	0	0.98	0.0062
BCFG	0.011	0.026	0.012	0.002	0.95
	PRFG	MIFG	FG	FZFG	BCFG

Рисунок 2 – Матрица ошибок, полученная в результате работы

Проанализируем полученную матрицу. Рассмотрим первый столбец. Первое значение в нем указывает на то, что модель спрогнозировала частичный туман и это верно с вероятностью 97%, остальные типы тумана в этом столбце верны с вероятностями менее 1%.

По результатам всей матрицы видно, что точность прогноза типов тумана составляет более 95%. Это говорит о том, что алгоритм глубокого обучения с использованием нейронных сетей построен верно и показывает очень высокие результаты.

Однако, при выполнении исследования возникли некоторые проблемы с тем, что данных оказалось очень мало. Именно это может объяснить почти идеальный результат прогноза. В дальнейшем модель требуется обучить на гораздо большем количестве данных, доработать прогноз видимости в данном типе тумана и прогноз времени наступления и окончания тумана.

Заключение. Уровень развития современной авиации позволяет в настоящее время выполнять полеты в различных условиях погоды, в том числе и в туманах. Однако до сих пор туманы являются одним из самых опасных явлений погоды для аэродромов. Качественный прогноз времени наступления тумана, видимости в нем и его продолжительности очень важен для многих служб аэродрома.

Результатом данного исследования является модель, построенная на алгоритмах высокого обучения, которая корректно работает и выдает хороший результат. Конечно, она требует доработки, но это уже большой шаг к повышению безопасности полетов и качества прогнозов.

### Список литературы

1. Северо-Западный филиал ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» Климатическое описание аэродрома Санкт-Петербург (Пулково) (период 1981-2018 гг), 2019. 225 с.
2. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) Инструктивный материал по кодам METAR, SPECI, TAF, 2015. 66 стр.
3. В.И. Воробьев Синоптическая метеорология – Ленинград Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
4. World Meteorological Organization – Aviation Hazards Commission for Aeronautical Meteorology, 2018. 56 p.
5. ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» Северо-Западный филиал – <https://szf.aviamettelecom.ru>
6. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с
7. Сергеев Д.А. Введение в нейросетевое моделирование: учеб. пособие / А.П. Сергеев, Д.А. Тарасов; под общ. ред. А.П. Сергеева. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 128 с.

## **ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ «АРМ-АГРОПРОГНОЗ» В РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ РОСГИДРОМЕТА**

Лебедева В.М., Калашников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.  
Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии,  
Обнинск  
*v\_lebedeva@mail.ru*

*Аннотация.* Статья посвящена разработке и внедрению автоматизированной технологии «АРМ-Агропрогноз», служащей инструментом обработки оперативных ежедневных, ежелеканных агрометеорологических и ежегодных статистических данных; обеспечения потребителей структурированной информацией в зависимости от целей её использования; прогнозов урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур, а также других агрометеорологических прогнозов, создания таблиц, графиков, картосхем, необходимым для обеспечения агропромышленного комплекса страны.

*Ключевые слова.* Автоматизированная технология, оперативный прогноз, метеорологические, агрометеорологические данные, отчеты, картосхемы, графики.

## **AUTOMATED «ARM-FORECAST» TECHNOLOGY IMPLEMENTATION AT REGIONAL DIVISIONS OF ROSHYDROMET**

Lebedeva V.M., Kalashnikov D.A., Naidina T.A., Shklyayeva N.M., Znamenskaya Y.Y.  
National Research Institute on Agricultural Meteorology, Obninsk

*Annotation.* The article is devoted to the development and implementation of the automated "ARM-Agroprognoz" technology, which serves as a tool for processing of operational daily, ten-day agrometeorological and annual statistical data; consumers providing with structured information depending on the purpose of its use; productivity forecasts and gross harvest of agricultural crops, as well as other agrometeorological forecasts, creation of tables, graphs, maps, necessary for ensure the country agro-industrial complex

*Keywords.* Automated technology, operational forecast, meteorological, agrometeorological data, reports, maps, graphs.

Технология «АРМ-Агропрогноз» является необходимым инструментом помощи агрометеорологам региональных оперативных подразделений Росгидромета, способствующим увеличению скорости их работы, которую важно выполнить в сжатые сроки. Поэтому автоматизация производственных процессов работы, облегчающая расчёт агрометеорологических прогнозов, формирование таблиц с метеорологической и агрометеорологической информацией, построение графиков и картосхем с целью выпуска информационных продуктов для потребителей, особенно актуальна в наше время.

В настоящее время в ФГБУ «ВНИИСХМ» выполняется работа по адаптации и внедрению, типовой версии технологии «АРМ-Агропрогноз» в региональные подразделения Росгидромета [1–3]. Основными функциями системы «АРМ-Агропрогноз» являются: обработка входных данных [4], обеспечение прогностической агрометеорологической информацией в установленные Росгидрометом сроки с целью планирования экономических ресурсов, оценка качества производимых расчётов, формирование таблиц декадного и месячного бюллетеней, годового обзора, различных отчетов, содержащих метеорологические и агрометеорологические данные отдельных периодов года, построение картосхем с метеорологической (температура воздуха и почвы, количество осадков за разные периоды, характеристика снежного покрова) и агрометеорологической информацией (запасы влаги под сельскохозяйственными культурами), графиков, характеризующих условия вегетационного периода и условия перезимовки сельскохозяйственных культур.

На рисунке 1 представлены элементы интерфейса системы «АРМ-Агропрогноз», где кратко показано меню ввода данных, расчёта прогнозов, составления отчетов, построения картосхем и графиков.

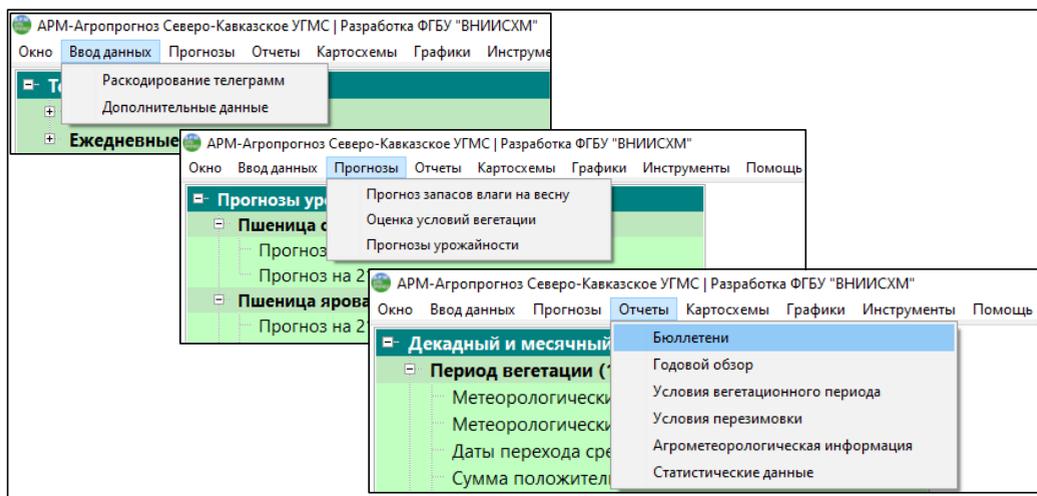


Рисунок 1 – Главное меню «АРМ-Агропрогноз»

Входными данными системы «АРМ-Агропрогноз» являются метеорологические и агрометеорологические данные, поступающие с наблюдательных пунктов в виде зашифрованных телеграмм в коде КН-21, ввод данных из которых производится посредством меню «Раскодирование телеграмм», и статистические данные об урожайности, валовом сборе, площадях и других элементах, которые заносятся в базу данных через меню «Дополнительные данные» (рисунок 1). На рисунке 2 показано меню ввода дополнительных данных, необходимых для расчета урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур.

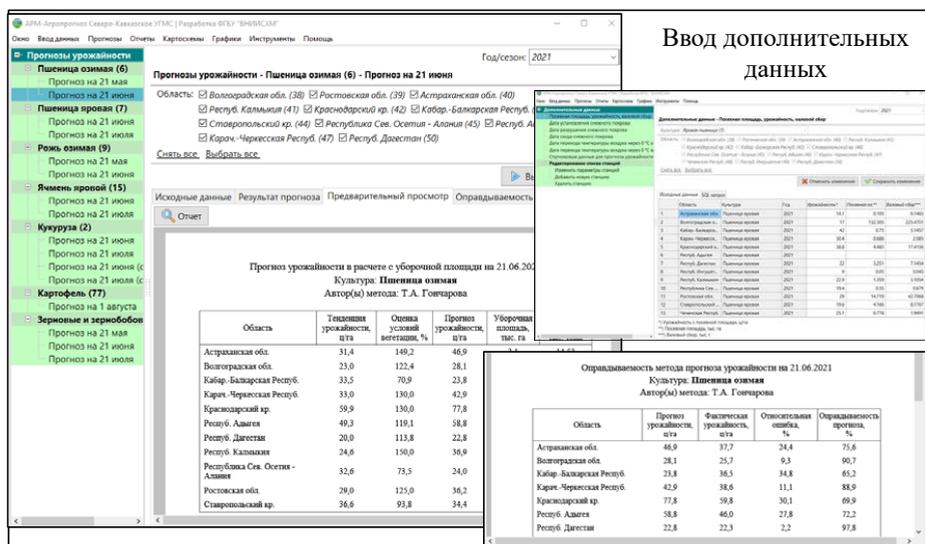


Рисунок 2 – Прогнозирование урожайности, ввод дополнительных данных и расчет оправдываемости в системе «АРМ-Агропрогноз» на примере озимой пшеницы по субъектам Северо-Кавказского УГМС

В «АРМ-Агропрогноз» встроен ряд методов прогноза, используемые в оперативных подразделениях Росгидромета, одним из них является динамико-статистический метод прогноза урожайности, разработанный в ФГБУ «ВНИИСХМ», в основе которого лежит динамическая модель продуктивности сельскохозяйственных культур [5]. В настоящее время разработаны и внедрены в оперативную практику методы прогноза урожайности и валового сбора озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, картофеля, зерновых и зернобобовых культур в целом. В 2022 году продолжалась работа по совершенствованию метода прогноза урожайности озимой ржи, о чем подробно описано в работах [6, 7].

Структура «АРМ-Агропрогноз» для всех УГМС одинакова, но отдельные составляющие системы требуют разработки дополнительных блоков и адаптации для каждого УГМС, это: базы данных, методы агрометеорологических прогнозов, отчёты в меню «Бюллетени», «Годовой обзор», «Агрометеорологическая информация» (рисунок 3), графики (рисунок 4), картосхемы (рисунок 5).



Рисунок 3 – Примеры отчетов, генерируемых системой «АРМ-Агропрогноз»

Для создания технологии использованы средства и библиотеки, находящиеся в свободном доступе: среда разработки Lazarus, язык разработки Object Pascal, система управления базами данных Firebird 2.5, средства разработки и администрирования баз данных IVExpert, библиотека создание отчетов Microsoft Word/Excel Open XML SDK for Office, средство создания и работы с картосхемами QGIS.

После адаптации типовой версии технологии и первичного тестирования осуществляется передача программного комплекса и эксплуатационной документации в УГМС. Внедрение автоматизированной технологии «АРМ-Агропрогноз» осуществляется в

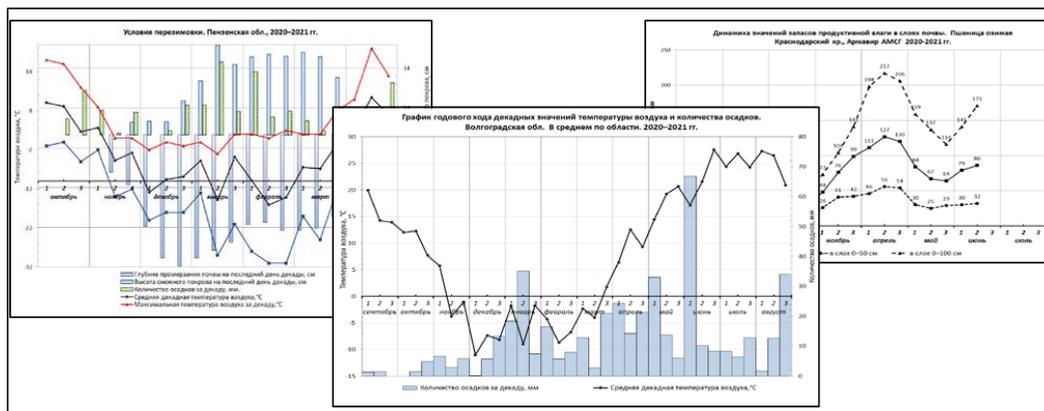


Рисунок 4 – Примеры графиков, генерируемых системой «АРМ-Агропрогноз»

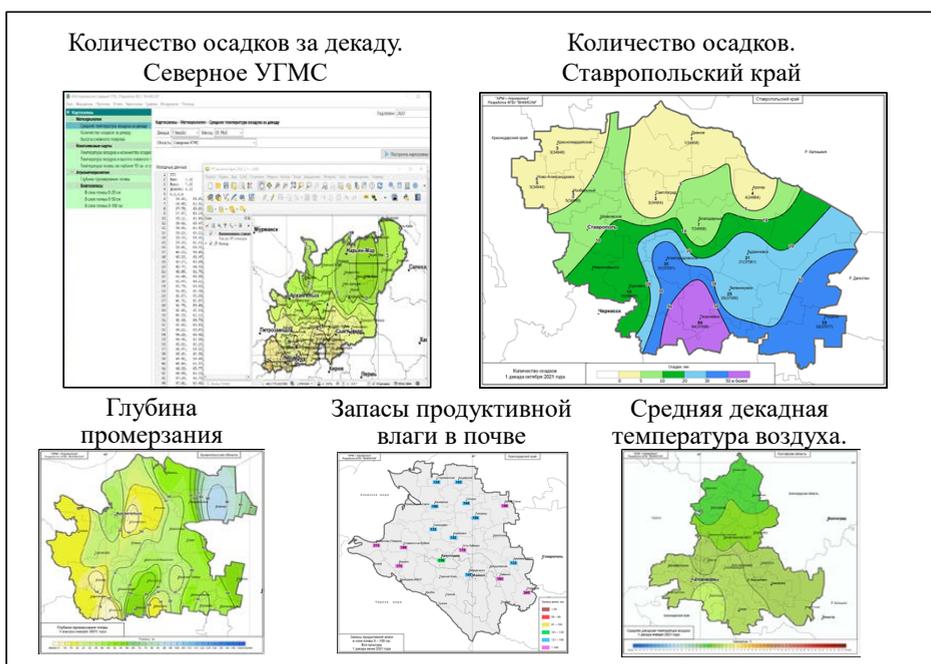


Рисунок 5 – Примеры картосхем, генерируемых системой «АРМ-Агропрогноз»

несколько основных этапов: 1) установка программного обеспечения; 2) знакомство с системой; 3) проверка данных, устранение ошибок; 4) отчет о проведении производственных испытаний «АРМ-Агропрогноз» на Техническом совете УГМС; 5) передача технологии ЦГМС для использования в оперативной работе. Сопровождение работы технологии в УГМС и ЦГМС осуществляется разработчиками.

К 2023 году внедрено и успешно работает 11 систем «АРМ-Агропрогноз» ФГБУ «ВНИИСХМ» [8–17], по мере необходимости осуществляется обновление некоторых компонентов. Например, на этапе сопровождения ранее разработанных автоматизированных технологий «АРМ-Агропрогноз» в 2022 году проведена замена декадных норм температуры воздуха, сумм осадков, дат перехода через 0, 5, 10, 15 °С, высоты снежного покрова, запасов влаги в почве, глубины промерзания почвы и ГИС, замена Nextgis-qgis (с 2022 г. продукт

стал платным) на QGIS (имеется в свободном доступе). В дальнейшем планируется адаптация технологии ещё для семи УГМС.

### Список литературы

1. Лебедева В.М., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система «АРМ-агрометпрогноз» для Уральского УГМС // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 3. С. 102-109.
2. Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система «АРМ-Агропрогноз» для агрометеорологического обеспечения АПК, адаптированная для Центрального УГМС / В.М. Лебедева, Д.А. Калашиников, Т.А. Найдина, Н.М. Шкляева, Я.Ю. Знаменская // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2020. № 3 (377). С. 92-102.
3. Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне // *Научно-практическая конференция по проблемам гидрометеорологических прогнозов, экологии, климата Сибири: Тезисы докладов*. – Новосибирск, электронное издание, 2021 г. - С.19.
4. Найдина Т.А., Лебедева В.М. Раскодирование агрометеорологической информации по районам пастбищного животноводства // *Труды СибНИГМИ, выпуск 107 "Проблемы гидрометеорологических прогнозов, экологии, климата"*. Новосибирск. Издающая организация - Сибирское отделение РАН, 2021 г."- С. 112 – 121.
5. Лебедева В.М., Страшная А.И. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование: Учебное пособие. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 216 с.
6. Лебедева В.М., Найдина Т.А. Учёт осенне-зимнего увлажнения почвы в динамико-статистической модели прогноза урожайности озимых культур. // *Труды Гидрометцентра России «Гидрометеорологические исследования и прогнозы»*. – 2022.– №4(386).– С. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-79-95>
7. Найдина Т.А. Развитие динамико-статистического метода оперативного прогнозирования урожайности озимой ржи // *Гидрометеорология и образование*. – 2020. № 4. – С. 51 – 64.
8. Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Северного УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2022680878, 08.11.2022. Заявка № 2022680096 от 27.10.2022.
9. Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Западно-Сибирского УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021668648, 18.11.2021. Заявка № 20216667733/69 от 08.11.2021.
10. Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Верхне-Волжского УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022612039, 07.02.2022. Заявка № 2022611271 от 01.02.2022.
11. Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Северо-Западного УГМС.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022617234, 19.04.2022. Заявка № 2022616069 от 06.04.2022.

12. *Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.* Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Северо-Кавказского УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2022664442, 29.07.2022. Заявка № 2022663544 от 18.07.2022.

13. *Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.* Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для УГМС Республики Татарстан. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021660745, 01.07.2021. Заявка № 2021619720/69 от 21.06.2021.

14. *Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.* Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Приморского УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021616642, 23.04.2021. Заявка № 2021615368 от 12.04.2021.

15. *Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.* Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Башкирского УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020664534, 13.11.2020. Заявка № 2020663154 от 27.10.2020.

16. *Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.* Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Крымского УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021611322, 16.03.2021. Заявка № 2021611322 от 05.02.2021.

17. *Лебедева В.М., Калашиников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю.* Автоматизированная система агрометеорологического обеспечения потребителей АПК на региональном уровне «АРМ-Агропрогноз», адаптированная для Центрального УГМС. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020616409, 17.06.2020. Заявка № 2020615416 от 26.05.2020.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ПРИ АНАЛИЗЕ ОРОГРАФИЧЕСКИХ ВОЛН**

Симакина Т.Е., Федосеева Н.В., Делиева М.Ю., Соловых А.Д.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*tatiana.simakina@gmail.com*

*Аннотация.* Приведены результаты исследования орографических волн в горах Атлас по видимому и пароводяным каналам спектрорадиометра Modis спутника Terra. На основе яркостных и геометрических признаков выполнено разделение волн на два типа: захваченные и вертикально распространяющиеся.

*Ключевые слова.* Орографические волны; спектральные каналы водяного пара; фотометрические разрезы; захваченные и вертикально распространяющиеся горные волны; турбулентность; Атласские горы.

## MULTISPECTRAL IMAGERY APPLIED TO ANALYSIS OF OROGRAPHIC WAVES

Simakina T. E., Fedoseeva N.V., Delieva M.Y., Solovykh A.D.  
Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*Annotation.* The results of investigation on orographic waves in the Atlas Mountains by using of MODIS/Terra visible and water vapor channels are presented in the paper. Based on the brightness and geometric features, the waves are divided into two types: captured and vertically propagating.

*Keywords.* Orographic waves; spectral channels of water vapor; photometric cross-sections; trapped and vertically propagating mountain waves; turbulence; the Atlas Mountains.

Одной из причин возникновения волновых процессов в атмосфере является динамическое воздействие рельефа на натекающий воздушный поток [1]. Настоящая работа посвящена исследованию орографических стоячих волн, поскольку турбулентность, с ними связанная, является опасным фактором для авиации. Волны могут сопровождаться вихрями с параллельной горному хребту осью вращения – роторами. Наиболее опасным процессом считается турбулентность при безоблачном небе, которая часто возникает вблизи тропопаузы и обусловлена вертикальными волнами в сухих условиях среды.

Исследование структуры и динамики орографических волн выполнено по фотометрическим разрезам, которые представляют собой профиль яркости пикселей спутникового снимка по какому-либо направлению.

Рассмотрено 13 случаев возникновения орографических волн в Атласских горах (рисунок 1). Красной линией обозначено сечение, по которому строились профили яркости. На наветренном склоне гор располагается аэрологическая станция, откуда брались метеоданные.

Идентификацию орографических волн целесообразно проводить с помощью синтезированных RGB-изображений. Например, комбинация видимого, ближнего инфракрасного и дальнего инфракрасного каналов позволяет распознать облачные полосы из слоисто-кучевых облаков в гребнях горных волн (рисунок 2). Желтый цвет облаков в этой RGB-схеме соответствует теплым облакам нижнего яруса.



Рисунок 1 - Рельеф Атласских гор с отрезком, по которому строились фотометрические разрезы

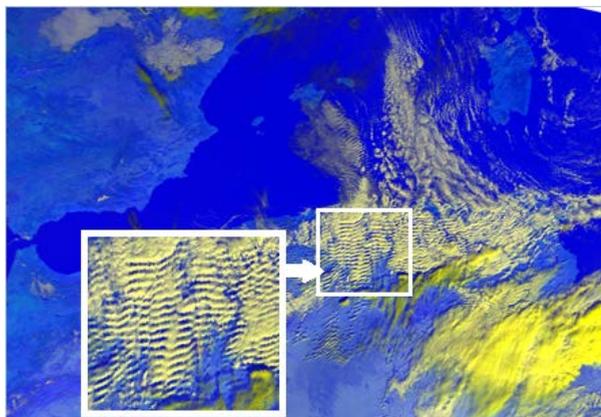


Рисунок 2 - Орографические волны на цветосинтезированном RGB (0,6; 0,8; 11,0) изображении спутника Terra

Для построения профилей использовались видимый канал и каналы поглощения водяного пара спектрорадиометра Modis спутника Terra. Пароводяные каналы чувствительны к излучению верхней тропосферы (канал 6,7 мкм) и средней тропосферы

(7,3 мкм) и поэтому могут быть использованы для дешифрирования орографических волн, в том числе орографических [2,3].

Анализ построенных профилей по снимкам в каналах 0,8; 6,7 и 7,3 мкм позволил разделить все случаи наблюдающихся в Атласских горах орографических волн на две группы.

В первую группу включены 4 случая. В этой группе волны далеко распространяются от горного хребта, колебания происходят с небольшой амплитудой, о чем свидетельствует диапазон значений яркости в видимом диапазоне 10-40 градаций. Высоко волна не поднимается, поскольку в пароводяных каналах колебания яркости отсутствуют. Орографические волны наблюдались при западных и даже юго-западных ветрах, т.е. угол между горной грядой и направлением ветра существенно больше 90°. Такие орографические волны можно назвать захваченными [4] (рисунок 3а). Характерные фотометрические разрезы захваченных волн представлены на рисунке 4. Обычно захваченные подветренные волны имеют горизонтальные длины волн от 5 до 35 км. Они существуют в слое с высокой статической устойчивостью и умеренными скоростями ветра (в нашем случае скорость ветра была не выше 8 м/с), обычно в самых нижних 1-5 км тропосферы. Поскольку энергия волн удерживается в устойчивом слое, эти волны могут распространяться далеко по ветру от горного гребня.

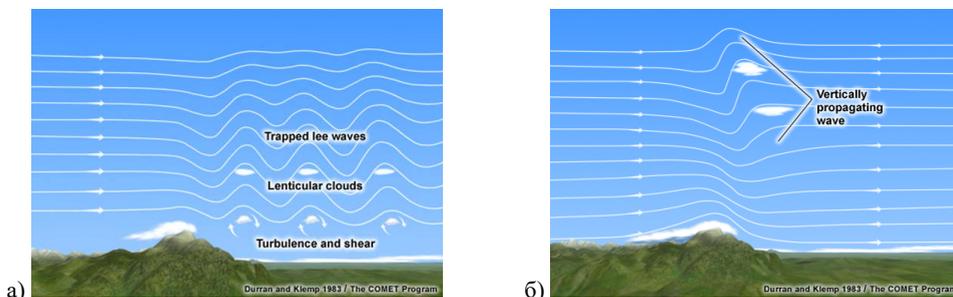


Рисунок 3 - Захваченные волны (а) и вертикально распространяющиеся волны (б)

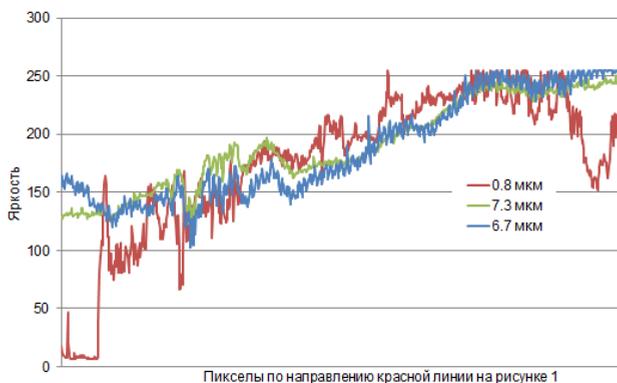


Рисунок 4 - Характерные фотометрические разрезы захваченных волн в видимом (0,8 мкм) и пароводяных каналах (6,7 и 7,3 мкм) радиометра Modis

Остальные случаи можно отнести к вертикально распространяющимся подветренным волнам [4,5] (рисунок 3б). Как видно на фотометрических разрезах таких волн (рисунок 5), размах в значениях яркости в видимом диапазоне составляет интервал 160-220, что свидетельствует о более плотных облаках в вершинах волн. Колебания поднимаются в среднюю и даже верхнюю тропосферу. Направление ветра северо-западное и северное, т.е.

воздушный поток перпендикулярен горному препятствию. Вертикально распространяющиеся волны могут быть крайне турбулентными в верхней тропосфере и нижней стратосфере в «области ломающейся волны», а также при опрокидывании волны [5].

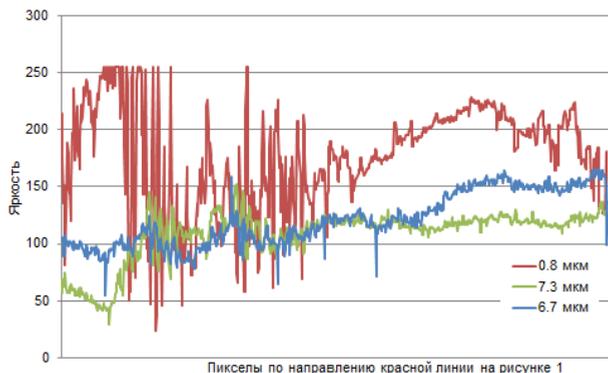


Рисунок 5 – Характерные фотометрические разрезы вертикально распространяющихся волн

Анализ результатов показал, что начало области формирования орографических волн в Атласских горах чуть раньше хребта является признаком вертикально распространяющихся волн.

#### Список литературы

1. Whiteman C D. Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications. New York: Oxford University Press, 2000, 355 p.
2. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В. Применение спутниковой съемки в каналах водяного пара при дешифрировании горных волн. // Материалы V научно-технической конференции «Проблемы военной геофизики и контроля состояния природной среды». СПб, 23-25 мая 2018 г. С. 736-739.
3. Fedoseeva N.V., Simakina T.E. The Gabor filter application in satellite analysis of “invisible” orographic waves //Physics of the atmosphere, climatology and environmental monitoring. Modern problems of atmospheric physics, climatology and environmental monitoring. ser. "Springer proceedings in earth and environmental sciences". 2022. P. 149-156.
4. Lott F.A. New Theory for Downslope Windstorms and Trapped Mountain Waves. // Journal of the atmospheric sciences. 2016, Vol. 73. P. 3585-3597.
5. Guarino M. V. Mountain wave breaking in atmospheric flows with directional wind shear. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. 2017, 147 p.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛИЙ СОСТОЯНИЯ ОЗОнового СЛОЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ЗА 2022 ГОД

Тимошук А.С., Новиков А.В., Головин С.С., Решитов А.С.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

vka@mil.ru

*Аннотация.* В докладе приводятся результаты исследования аномалий состояния озонового слоя и причин его разрушения в Арктическом регионе в различные периоды года. Авторами предлагается использование космических средств дистанционного зондирования Земли для исследования климатических особенностей состояния озонового слоя. Даются рекомендации по интерпретации спутниковых озонметрических данных и их применения для защиты людей в опасные периоды

аномального снижения уровня озонового слоя в Арктическом регионе.

*Ключевые слова.* Озоновый слой, метеорологические спутники, ультрафиолетовое излучение, контроль, Арктический регион.

## **RESEARCH OF THE ANOMALY STATE OZONE LAYER IN THE ARCTIC REGION USING SATELLITES DATA OF THE 2022 YEAR**

Timoshchuk A.S., Novikov A.V., Golovin S.S., Reshitov A.S.

Budgetary Military Educational Institution of Higher Education «Mozhaisky Military Aerospace Academy» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Sankt-Petersburg

*Annotation.* The article presents the results of the analysis of the anomaly state of the ozone layer and the causes of its destruction in the Arctic region in different periods of the year. The authors propose the use of space satellite means of remote sensing of the Earth to study the climatic features of the state of the ozone layer. Recommendations are given on the interpretation of satellite ozonometric data and their application to protect people during dangerous periods of ozone layer reduction in the Arctic region.

*Keywords.* Ozone layer, meteorological satellites, ultraviolet radiation, control, Arctic region.

Арктический регион в настоящее время является критически важным для развития страны, экономики, политики, что обуславливает необходимость расширения присутствия Российской Федерации в Арктике. Но расширение этого присутствия в условиях сурового климата Арктики требует повышенных мер безопасности и учета особенностей региона в целях сохранения здоровья людей. Одной из таких особенностей является состояние озонового слоя (ОС), учет которого в этом регионе по рассматриваемым ниже причинам крайне необходим, например, для планирования времени работы на открытом воздухе, проведения ротационных мероприятий, выбора защитной одежды и экипировки. Проведенными к настоящему времени исследованиями установлено, что основные климатические и экологические аспекты, связанные с разрушением ОС, сводятся к следующим [1-3]:

1. Озон, поглощая жесткое ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин волн 0,28-0,32 мкм, защищает жизнь на Земле.

2. Озон, поглощая некоторую часть инфракрасного излучения Земли, задерживает около 20% ее излучения и тем самым вносит свой вклад в тепляющее действие атмосферы (парниковый эффект) и изменение климата.

3. В нижних слоях атмосферы при определенных неблагоприятных условиях (наличие слоя инверсии, большая концентрация загрязняющих веществ в результате выбросов автомобильного транспорта и др.) озон может стать основной причиной образования смога в крупных городах, приводя к сильному токсичному воздействию на живые организмы, и, прежде всего, на человека.

4. Заметное снижение содержания озона может привести к существенному увеличению числа раковых заболеваний кожи (на 2,6% из расчета на каждый процент снижения содержания озона) и вызов до 150 тыс. дополнительных случаев слепоты из-за катаракты. Значительно возрастает число болезней, вызванных ослаблением иммунной системы человека (таблица 1).

5. Существенное (аномальное) снижение содержания озона приводит к образованию так называемых «озонных дыр» [4].

6. Как химическое соединение озон является сильнейшим окислителем, способным при непосредственном контакте отравить ту самую флору и фауну, которую он защищает в качестве стратосферного озонового слоя.

7. Озон является эффективным парниковым газом.

8. Поскольку озон регулирует жесткость космического излучения, то вследствие его уничтожения (или серьезного уменьшения его содержания) жесткость излучения резко возрастет, а, следовательно, произойдут реальные изменения в состоянии растительного и

животного миров.

Таблица 1 Влияние озонового слоя на УФ-излучение

УФ-излучение	УФ-А	УФ-В	УФ-С
1-400 нм	315-400 нм Характеризуется слабым биологическим воздействием на организм человека	280-315 нм Сильно воздействует на кожный покров и обладает противорахитным действием (наиболее эффективно излучение с длиной волн 297 нм)	1-280 нм Отрицательно воздействует на тканевые белки и липоиды, сетчатку глаза, разрушает кровяные тельца, вызывает мутацию молекул ДНК

Исходя из вышеизложенного, представляется интересным рассмотреть известные к настоящему времени причины разрушения атмосферного озона. Они включают в себя:

I. Воздействие на атмосферный озон окислами азота.

Окислы азота  $\text{NO}_x$  образуют каталитический цикл, приводящий к разрушению озона ( $\text{O}_3$ ):



Одна молекула  $\text{NO}$  вызывает рекомбинацию десятков, сотен молекул  $\text{O}_3$ .

Возникает вопрос: откуда берутся в атмосфере  $\text{NO}_x$ ?

1. Прежде всего, источник  $\text{NO}_x$  в стратосфере – перенос от земной поверхности закиси азота  $\text{N}_2\text{O}_2$ , образующейся в ходе естественного процесса разложения бактериями азотных веществ.

2. При контакте воздуха с очень горячими поверхностями летательных аппаратов (самолетов, ракет)



3. При сгорании топлива в двигателях реактивных самолетов.

4. При сгорании угля (8 кг угля дает при сгорании в среднем 10 г  $\text{NO}_x$ ).

II. Для целенаправленного уничтожения атмосферного озона возможно применение стратосферных самолетов.

При сгорании топлива выделяются окислы азота, которые образуют азотный цикл.

Современные оценки показали, что для уменьшения общего содержания озона на 10% необходимо, чтобы выброс  $\text{NO}_x$  из двигателей достиг значения 1-2 млн. тонн в год при высоте полета 20 км или 3-5 млн. тонн в год при высоте полета 17-18 км.

Расчеты показали, что искусственное образование окислов  $\text{NO}_x$  при использовании воздушного флота из 500 самолетов всего на один порядок меньше содержания этих компонентов в атмосфере.

При эксплуатации самолетов  $\text{AST}$  выбросы  $\text{NO}_x$  будут равны его природному содержанию в атмосфере, что может привести к изменению общего содержания озона.

III. Возможным способом воздействия на озоновый слой является внесение в атмосферу хлорфторуглеродов или хлорфторметанов.

Инертность этих соединений делает эти газы опасными для озона. Это означает, что при выбросе этих газов у поверхности земли они могут достигнуть стратосферы, пройдя тропосферу. При достижении высот 25 км ультрафиолет разрушает устойчивые в обычных условиях молекулы хлорфторуглеродов, которые распадаются на компоненты, обладающие

высокой реакционной способностью.

Сущность этого воздействия заключается в том, что хлор (Cl) сдвигает равновесие в процессах образования озона в сторону его уменьшения. Хлор действует подобно катализатору.

Его количество в процессе взаимодействия с озоном не уменьшается, вследствие чего одна молекула хлора может разрушить до 100 тыс. молекул озона



Важным резервуаром хлора является нитратхлора:



и соляная кислота:



В конце концов каждая молекула резервуара поглощает фотон или вступает в реакцию с какой-нибудь другой молекулой, в результате чего она распадается, высвобождая Cl.

Наряду с Cl, бром (Br) и его окиси (например, BrO) также могут эффективно разрушать озон. Разрушение озона может происходить под действием и других химических реакций.

IV. Еще один способ разрушения озона – проведение высотных ядерных взрывов. При таких взрывах образуется 1-10 кт NO<sub>x</sub>, при этом озон разрушается под действием мощного излучения взрыва.

V. Разрушение озона в локальном масштабе возможно и в результате запуска ракет-носителей.

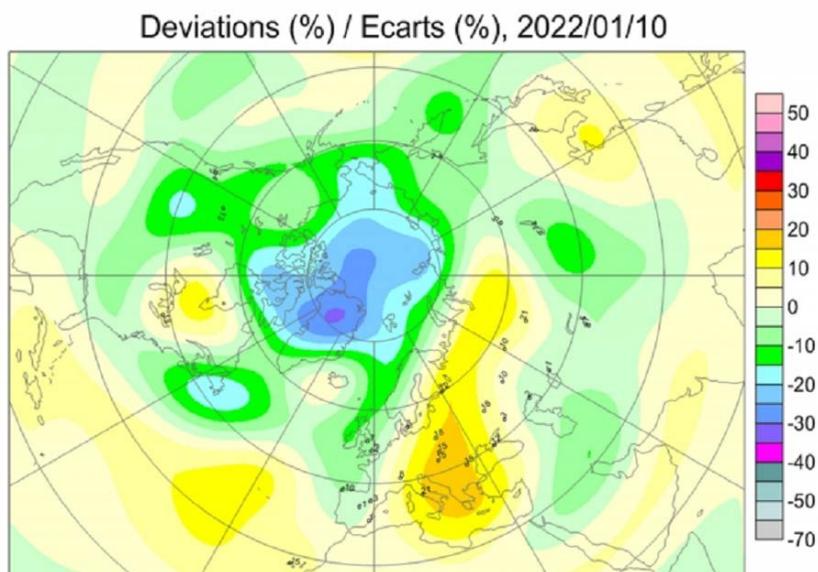
Например, при запуске ракеты-носитель «Сатурн-5» образовалась область с пониженной концентрацией озона. Подсчитано, что к значительному снижению концентрации озонового слоя Земли может привести запуск 125 ракет-носителей этого типа.

В настоящее время решение проблемы геофизического обеспечения в высокоширотных и полярных районах предполагает проведение постоянного мониторинга погодно-климатических условий, тенденции к изменению которых отчетливо проявляются в Арктической зоне РФ. В связи с обширностью Арктических территорий, отсутствием полномасштабной наземной озонометрической сети в данном регионе, особенно актуальной для наблюдений за состоянием озонового слоя является задача использования для этих целей спутниковой метеорологической группировки и наземного сегмента пункта приема и обработки оперативной спутниковой информации (типа [5-8]).

Основу наземного сегмента космической системы наблюдения Росгидромета составляет Государственная территориально-распределительная система космического мониторинга (ГСКМ), которая позволяет обеспечить полное покрытие всей территории России и ближнего зарубежья космической съемкой в режиме реального времени. ГСКМ обеспечивает прием информации с 11 и 24 зарубежных спутниковых наблюдений Земли.

В настоящее время российская орбитальная группировка дистанционного

зондирования Земли состоит из космических аппаратов серий «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М», «Электро-Л» и «Арктика-М». К настоящему времени космические аппараты дают возможность ежедневно получать информацию об озоне в глобальном масштабе в виде поля ОСО. Основная роль в космическом мониторинге озона принадлежит спектрофотометрам TOMS (спутники NIMBUS-7, Метеор-3, EARTH PROBE) и OMI (спутник AURA), осуществляющих надирные измерения уходящего УФ-излучения в течение суток. С их помощью получен длительный ряд (примерно за 31 год) ежедневных глобальных измерений озона в нижней стратосфере небольшим временным перерывом (~20 месяцев). Для получения оперативных спутниковых озонметрических данных в основном используются два космических аппарата AURA и Suomi-NPP, функционирующие на солнечно-синхронной орбите. Для оперативного контроля состояния озонового слоя по спутниковым данным ДЗЗ одним из удобных способов является использование базы данных европейской службы атмосферного мониторинга CAMS Copernic service <https://www.copernicus.eu/en>. Оценивается состояние озонового слоя по цветовой шкале. Например, голубой цвет на озонметрической карте за 10 января (рис.1) означает, что на этот период концентрация озона ниже опасного для человека уровня в 350 DU (добсонов) на большей части Арктики [9]. На этом основании делаем вывод о необходимости формирования предупреждения МЧС и выполнения защитных мероприятий.



*Рисунок 1 – Карта состояния озонового слоя за 10 января 2022 года*

В связи с тем, что в Арктическом регионе в зимний и весенний периоды года систематически наблюдаются аномально низкие значения общего содержания озона (ОСО), обусловленные в первую очередь факторами «полярной ночи» и дефицитом солнечной радиации, необходимой для процесса образования озона, для защиты здоровья человека в эти опасные периоды (особенно весной) рекомендуется:

1. Включить в системы циркуляции информации МЧС РФ, Росгидромета и Минприроды России данные по состоянию ОСО [10].
2. Использовать средства защиты от ультрафиолетового излучения (закрытая одежда и специальные кремы от загара с числом «SPF» больше 10).
3. Для защиты глаз от вредного воздействия ультрафиолетового излучения использовать специальные защитные очки, задерживающие до 100 % ультрафиолетового

излучения.

4. Минимизировать нахождение человека под прямыми солнечными лучами.

#### Список литературы

1. *Доронин А.П.* Воздействия на атмосферные процессы и явления. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 292 с.
2. *Качурин Л.Г.* Физические основы воздействия на атмосферные процессы. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 462 с.
3. Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности. – СПб, 2009. – 129 с.
4. Облака и облачная атмосфера: Справочник. – Л.: ГМИ, 1990. – 509 с.
5. Стратосферный озон: вид с космической орбиты: монография / В.Б. Кашкин, Т.В. Рублева, Р.Г. Хлебопрос. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 184 с.
6. Применение спутниковой информации для решения задач в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Справочное пособие. – М.: 2017. – 48 с.
7. Программное обеспечение приема, хранения, обработки и доведения гидрометеорологической информации (изделие «Корпускул»): руководство оператора ВДКЕ.10051-01 34 01. – СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2016. – 126 с.
8. Информационная система мониторинга озона А.В. Базаров, Д.Д. Дарижапов, И.И. Кирбижекова. Изд-во «Университетская книга», 2019. - 220 с.
9. База данных европейской службы атмосферного мониторинга CAMS Copernic service <https://www.copernicus.eu/en> (дата обращения 15.09.2022).
10. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2021. – 864 с.

## **СЕКЦИЯ 3**

### **АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ**

#### **ДИНАМИКА СУХОВЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ В РАЙОНАХ ЛУГОВОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА**

Авдеев С.М., Белолобцев А.И., Асауляк И.Ф., Дронова Е.А.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,  
Москва

*avdeev@rgau-msha.ru*

*Аннотация.* Рассматривается динамика изменения числа суховейных явлений в Центральном районе Нечерноземной зоны по данным метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Ключевые слова.* Суховей, засуха, изменение климата, кормопроизводство

#### **DYNAMICS OF DRY-WIND PHENOMENA IN THE AREAS OF MEADOW FODDER PRODUCTION**

Avdeev S.M., Belolyubtsev A.I., Asaulyak I.F., Dronova E.A.

Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A.  
Timiryazev, Moscow

*Annotation.* The dynamics of changes in the number of dry-wind phenomena in the Central region of the Non-Chernozem zone according to the data of the V.A. Mikhelson Meteorological Observatory (RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev) is considered.

*Keywords.* Dry weather, drought, climate change, forage production.

Суховей – это ветер с высокой температурой воздуха (20-25°C), низкой относительной влажностью (иногда ниже 30%) и большим дефицитом влажности (свыше 20-22 мб). Наблюдается летом как правило в степях и полупустынях Европейской части РФ (особенно на Прикаспийской низменности), Казахстана и юга Западной Сибири. Подобные суховею ветры (например, Сирокко, Хамсин) отмечаются и в других странах с засушливым климатом. Они образуются по периферии антициклона, занимающего данный район. В Европейской части РФ преобладающие направления суховея - восточные и южные при скорости ветра свыше 5 м/сек, с отдельными порывами до 15-20 м/сек, иногда — выше. В отличие от засухи суховей непродолжителен (обычно длится лишь несколько суток) [1, 2].

Высокая температура и низкая влажность воздуха при суховеях являются результатом местной трансформации (прогрева) воздушных масс, чаще всего арктического происхождения, над сильно нагретой земной поверхностью и нисходящего движения воздуха в антициклонах. Иногда при суховеях воздух в Европейской части России имеет среднеазиатское или малоазиатское происхождение. Суховей усиливает транспирацию и испарение с поверхности почвы, нарушая водный и тепловой режимы растений. В сочетании с недостатком влаги в почве это может привести к увяданию и даже к гибели полевых культур. Вредное действие суховея смягчают защитные лесные полосы, снегозадержание, создание чистых паров и др. агротехнических мероприятия, содействующие сохранению и накоплению влаги в почве, а также снижать азотфиксирующую активность бобовых культур в луговых агрофитоценозах [3]. При этом засушливые явления могут способствовать снижению концентрации загрязняющих веществ,

поскольку часть из них выпадает с атмосферными осадками и носит трансграничный характер [4].

Среди неблагоприятных явлений климата особое место принадлежит суховеям, как частным проявлениям атмосферной засухи.

В настоящей работе изучалась динамика проявления суховейных явлений в Нечерноземной зоне по данным метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Для практических целей принят критерий, согласно которому за день с суховеем считается такой день, когда дефицит насыщения воздуха водяными парами в 13 часов равен 20 гПа и более. При этом, чем выше значение дефицита насыщения, тем интенсивнее суховеи:

от 20 до 29 гПа - суховой слабой интенсивности;

от 30 до 39 гПа - суховой средней интенсивности.

Интенсивные (40-49 гПа) и очень интенсивные суховеи ( $\geq 50$  гПа) в расчёт не принимаются, так как они практически не встречаются на нашей территории.

В таблице 1 и 2 дано среднее число дней с суховеями, рассчитанное за май-август (основной период вегетации сельскохозяйственных культур). Преобладают суховеи слабой интенсивности, однако их суммарное воздействие проявляется в подготавливании и усилении засух, поэтому они заслуживают пристального внимания. Тем более, что в отдельные годы число суховеев может быть значительным. В засушливые годы увеличивается число суховейных дней. Рекордными оказались 2002, 1999 и 2010г., когда было 80, 60 и 53 таких дня соответственно.

*Таблица 1 - Среднее число дней с суховеями за май-август (1939-1980 гг.)*

Типы суховеев	Май	Июнь	Июль	Август	Наибольшее (год)	Наименьшее (год)
Слабой интенсивности	3,1	4,2	4,1	2,3	40 (1939)	2 (1942, 1976)
Средней интенсивности	0,1	0,3	0,4	0,5	15 (1972)	0 (1941,1942, 1943 и др.)
Всего	3,2	4,5	4,5	2,8	44 (1972)	2 (1942, 1976)

*Таблица 2 - Среднее число дней с суховеями за май-август (1981-2021 гг.)*

Типы суховеев	Май	Июнь	Июль	Август	Наибольшее (год)	Наименьшее (год)
Слабой интенсивности	3,3	5,1	5,7	3,9	68 (2002)	1 (2004)
Средней интенсивности	0,2	0,3	1,2	0,6	26 (2010)	0 (1982,1987, 1985 и др)
Всего	3,5	5,4	6,9	4,5	80 (2002)	1 (2004)

Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные значение по числу суховеев в первый период наблюдений составляло 40-44, то в период наблюдений 1981-2021гг максимумы значительно возросли – до 68-80 дней в течении вегетации.

В таблице 3 собраны сведения за 1939-2021 гг. о числе суховейных дней различной интенсивности (по годам). Повышенным числом суховейных явлений выделялись засушливые вегетационные периоды 1939, 1972, 1995, 1996, 1999, 2002, 2010, 2014, гг. Исключительной экстремальностью отличается последнее 20-летие. Число суховейных явлений резко возросло. Месяцы, которые характеризовались наибольшим числом суховейных явлений – это июнь и июль.

Суховеи опасны тем, что способны очень быстро приводить к потере тургора растений, а, следовательно, к нарушению процесса фотосинтеза, и, как следствие, снижение продуктивности посевов. Но последствия могут наступить и гораздо раньше, чем период

сбора урожая. При сильном суховее могут наблюдаться скручивание листьев и запал зерна уже в течении несколько часов или нескольких дней при воздействии на растение.

Таблица 3 - Среднее число дней с суховеями за май-август (1939-2021 гг.)

Типы суховеев	Май	Июнь	Июль	Август
Слабой интенсивности	3,18	4,7	4,9	3,1
Средней интенсивности	0,16	0,3	0,8	0,6
Всего	3,34	5,00	5,70	3,70

Таким образом, информация о повторениях и интенсивности суховейных явлений позволяет определить необходимый объём затрат и мероприятий по снижению их вредоносности. Рекомендуются вариация сроками посева в зависимости от культуры, использование мелиоративных мероприятий по поливу и орошению культур, посадка лесополос, а также использование сортов и гибридов, которые имеют устойчивость к подобного рода явлениям.

На рисунке 1, который отражает изменение числа дней с суховеями по скользящим десятилетиям хорошо видно, что отмечается устойчивая линия тренда на увеличение данного показателя.

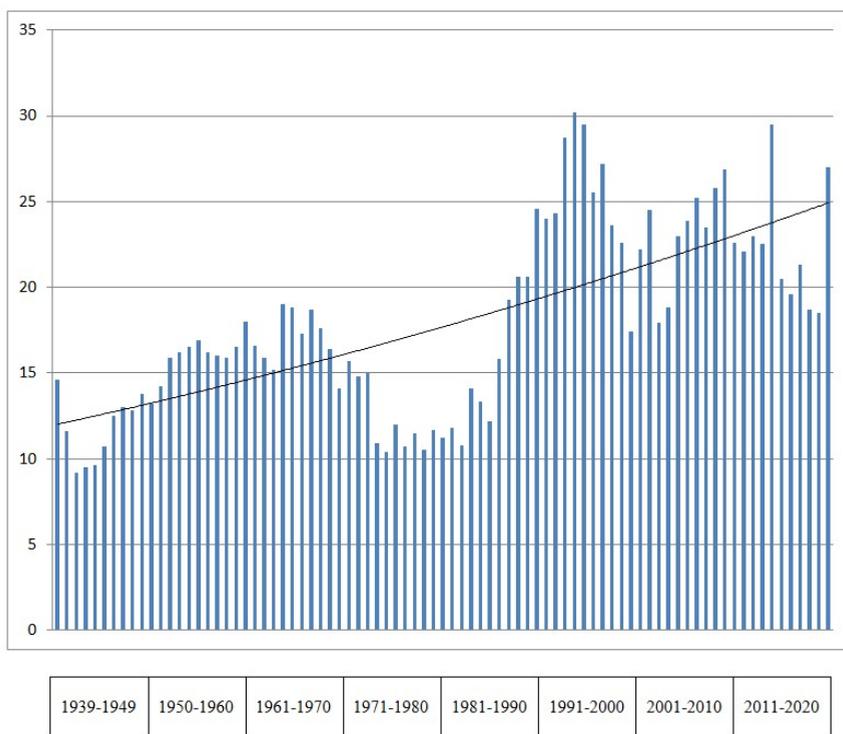


Рисунок 1 - График общего количества дней с суховеями по скользящим десятилетиям (1939-2021 гг.)

Наиболее ярко данная тенденция прослеживается в последние 40 лет. Если в первые 40 лет число суховеев в июне находилось на уровне 4,5, то во второе сорокалетие это

значение достигает уже величины 5,4. При этом в июле отмечается еще более существенное увеличение числа суховеев с 4,5 до 6,9.

В течении первого десятилетия наблюдений минимальные значения количества дней с суховейными явлениями колебались в диапазоне 2-7. Второе десятилетие (1950-1960) характеризовалось уже повышением минимального уровня до 4-14 дней. В последнее же десятилетие минимальное число дней с суховейными явлениями не опускалось ниже 10, что в целом согласуется с тем трендом, который отмечается на представленном рисунке.

#### Список литературы

1. Антонов С.А. Тенденции изменения засушливости вегетационного периода на территории Ставропольского края / С. А. Антонов // – 2013. – № 5. – С. 3-6. – EDN RENOMT.
2. Дубенок Н.Н. Приоритеты научного обеспечения развития мелиорации / Н. Н. Дубенок // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1. – С. 96-104. – EDN SBDGUL.
3. Симбиотическая фиксация азота многолетними бобовыми травами в луговых агрофитоценозах / Н. Н. Лазарев, О. В. Кухаренкова, С. М. Авдеев [и др.] // Кормопроизводство. – 2022. – № 2. – С. 20-28. – EDN BPHMZE.
4. Галушин Д.А. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории Приморского края за период с 2011 по 2020 г / Д. А. Галушин, С. А. Громов, С. М. Авдеев // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 3. – С. 42-48. – EDN APQSGG.

### ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПОЛЕЙ РАДИОЭХА ПРИ ВНУТРИМАССОВЫХ ГРОЗАХ В ПУЛКОВО

Аитова О. А., Канухина А. Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*Anna.kanukhina@rshu.ru, anakan2017@mail.ru*

*Аннотация.* Представлен корреляционный анализ связи между фактической скоростью и направлением перемещения грозы в Пулково и скоростью и направлением среднего ветра в различных слоях атмосферы. Общеизвестные методики прогноза перемещения внутримассовых гроз основываются на простом, прямо пропорциональном соотношении между перемещением грозового очага и средним ветром. В данной работе уточняется связь для района аэропорта Пулково, что актуально для использования в данной местности при текущем и сверхкраткосрочном прогнозировании перемещения внутримассовых гроз. В работе получены коэффициенты корреляции между скоростью и направлением перемещения радиоэха грозы в Пулково и скоростью и направлением среднего ветра в различных слоях атмосферы.

*Ключевые слова.* Гроза внутримассовая, средний ветер, корреляционный анализ, радиоэхо.

### DISPLACEMENT OF RADIO ECHO FIELDS OF AIR-MASS THUNDERSTORM IN PULKOVO

Aitova O. A., Kanukhina A. Yu.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* A correlation analysis of the relationship between the actual speed and direction of thunderstorm movement in Pulkovo and the speed and direction of the average wind in different layers of the atmosphere is presented. Well-known methods for predicting the movement of air-mass thunderstorms are based on a simple, directly proportional relationship between the movement of a thunderstorm cell and the average wind. In this paper, the connection for the Pulkovo airport area is specified, which is relevant for use in this area for current and very-short-term forecasting of the movement of air-mass thunderstorms. Correlation coefficients are obtained between the speed and direction of the thunderstorm radio echo in Pulkovo and the speed and direction of the average wind in different layers of the atmosphere.

*Keywords.* Air-mass thunderstorm, average wind, correlation analysis, radio echo.

Гроза – это атмосферное явление, при котором внутри облака или между облаками и земной поверхностью возникают электрические заряды, сопровождающиеся громом. Авиация – это одна из наиболее подверженных негативным последствиям гроз сфер деятельности человека. Опасность представляют такие сопутствующие явления, как сильные осадки, вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра, порывы ветра. Как правило, внутримассовые грозы над сушей возникают за счёт прогрева воздуха от земной поверхности, в результате чего развиваются восходящие токи местной конвекции и образуются мощные кучево-дождевые облака. Внутримассовые грозы над материком развиваются преимущественно в послеполуденное время. И если перемещение фронтальных гроз, как правило, связывают с перемещением фронта, то закономерности перемещения внутримассовых гроз представляет собой интересный вопрос. По оценкам, приведённым в учебном пособии О.Г. Богаткина «Авиационные прогнозы погоды», 1999 года одна гроза в среднем наносит убытки народному хозяйству в 70000 \$ [1].

Актуальность данной темы состоит в том, чтобы помочь избежать в сфере транспорта, сельского хозяйства и т.д. колоссальных убытков, спровоцированных грозами благодаря уточнённой для некоторого пункта (в данном проекте район Пулково) информации. Необходим точный и своевременный прогноз не только возникновения и развития грозовых очагов, но и их перемещения. Если стандартным способом наукастинга является экстраполяция, то для сверхкраткосрочного прогноза перемещения конвективных мезомасштабных структур требуется иной подход. Общеизвестные методы прогноза перемещения внутримассовых гроз предполагают использование прямой пропорции между перемещением радиоэха и средним ветром в некотором слое атмосферы. Коэффициент переноса и наличие корреляционной связи для каждого конкретного региона/пункта требуется устанавливать на основе анализа архивных материалов. Именно корреляционному анализу между фактической скоростью и направлением перемещения грозы в Пулково и скоростью и направлением среднего ветра в различных слоях атмосферы посвящена данная работа. При рассмотрении мезомасштабных явлений погоды, к которым относятся грозы, необходимо учитывать влияние местных условий, орографии. Так, в районе Пулково большое влияние на формирование погодных условий оказывает наличие больших водоёмов, так как они являются источниками водяного пара и способствуют генерации опасных явлений погоды из-за сильного прогрева поверхности в тёплые месяцы.

Целью работы является корреляционный анализ фактической скорости и направления перемещения грозового радиоэха в Пулково и скорости и направления среднего ветра в различных слоях атмосферы.

Были поставлены следующие задачи:

- а) создать архив случаев грозовой деятельности в Пулково за тёплый период нескольких месяцев с апреля по сентябрь с 2009 по 2014;
- б) выбрать из ряда случаев только внутримассовые грозы;
- в) подготовить данные аэрологического зондирования для расчётов среднего ветра в различных слоях атмосферы для соответствующих дней с грозами;
- г) проанализировать корреляционную связь между скоростью и направлением среднего ветра в различных слоях атмосферы и скоростью и направлением радиоэха.

Как предложено в работе Русина И.Н. и Тараканова Г.Г. [2] грозы представляют собой конвективные системы, которые смещаются, как правило, вдоль среднего вектора ветра в слое 700 – 500 гПа.

В.И. Воробьев [3] предлагает другую методику. При прогнозе перемещения внутримассовых областей радиоэха зон осадков (РОЗО) с заблаговременностью до трёх часов используется экстраполяция их перемещения за предыдущий час. При большей заблаговременности прогноз основывается на учёте скорости ветра в средней тропосфере.

Направление перемещения РОЗО площадью более 50 км<sup>2</sup> хорошо согласуется с направлением ветра на изобарических поверхностях 700 и 500 гПа.

В качестве данных использовались данные в коде METeological Aerodrome Report (METAR), предоставленные испанским сайтом, где представлена профессиональная информация о синоптической ситуации в мире, синоптические приземные карты погоды, аэрологические данные. Для выявления случаев с грозой использовались данные в коде METAR с апреля по сентябрь с 2009 по 2014 за сроки измерений 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 coordinated universal time (UTC). Для определения типа грозы использовались синоптические карты погоды за сроки 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC, предоставленные на сайте немецкой службы погоды. В случаях, когда информации с синоптических карт было недостаточно для определения типа грозы, анализировался спутниковый снимок за те же сроки с сайта международного проекта EUMETSAT с дополнительно наложенными полями численного параметра TFP (температурный фронтальный параметр) в канале IR10.8.

Аэрологические данные по ветру на уровнях 850, 700 и 500 гПа были предоставлены сайтом университета Вайоминга, где они находятся в открытом доступе. Сроки предоставления аэрологических данных по ветру 00:00, 12:00 UTC. Данные по скорости и направлению перемещения радиоэха предоставлены Северо-Западным филиалом ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета». В отделе радиолокации ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» используется в качестве программного обеспечения автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК) «Метеор-Метеоячейка». Данные наблюдений за перемещением поля радиоэха поступают каждые 10 минут.

Приземная синоптическая карта позволяла оценить синоптическую ситуацию в выбранном районе. Спутниковое изображение требовалось для уточнения местоположения фронта по расположению и типу облачности, его возможного влияния на грозу. Максимальные значения численного параметра помогали уточнить линию фронта, если приземной карты было недостаточно. В результате комплексного анализа осуществлялся выбор в пользу того или иного типа грозы: внутримассовой или фронтальной.

В качестве источника спутниковой информации использовались данные спутника Meteosat второго поколения в инфракрасном канале на длине волны 10.8 мкм. Получать достоверную информацию можно в дневное и ночное время, так как канал не подвержен влиянию поглощения радиации. Данный канал позволяет наблюдать облака любого уровня в широком температурном диапазоне, что удобно при идентификации фронтов по облачности.

После создания списка проверенных случаев внутримассовых гроз, с помощью скриптов, написанных на языке программирования Python, автоматически создавался массив данных значений скорости и направления ветра на уровне поверхности (далее обозначен как 0) и на уровнях 850, 700, 500 гПа. Следующими шагами были расчёты скорости и направления среднего ветра в слоях от 0 до 850, от 0 до 700, от 850 до 700 и от 700 до 500 гПа и коэффициентов линейной корреляции между значениями данных о перемещении радиоэха и характеристиками среднего ветра в различных слоях.

Было рассмотрено всего 175 случаев с грозой в районе Пулково. После проведения классификации по типу грозы с применением приземных синоптических карт и спутниковых изображений с наложенным численным параметром TFP было выявлено из общего числа случаев 58 внутримассовых гроз, что составило 33 % от общего количества гроз.

Методика, в работе И.Н. Русина и Г.Г. Тараканова, требовала анализа, для уточнения возможности использования формулы для прогноза перемещения грозы в районе Пулково.

Методика предполагала использование прямой пропорции между перемещением радиоэха и среднего ветра на различных слоях атмосферы. Было выбрано четыре слоя: 0 – 850, 0 – 700, 850 – 700, 700 – 500 гПа. Для каждого слоя был рассчитан коэффициент линейной корреляции между скоростью и перемещением радиоэха, и скоростью и перемещением среднего ветра.

Из всех проанализированных случаев в различных слоях атмосферы, наибольшая связь наблюдается в слое 700 – 500 гПа. Значения коэффициента линейной корреляции R по скорости составили 0.628, по направлению – 0.564. Число степеней свободы  $58-2=56$ , уровень значимости 0,05, критическое значение  $R=0,273$ ). Т.к. экспериментально найденное значение R больше критического, значит, гипотеза о корреляционной линейной связи не отвергается, но связь достаточно слаба, следовательно, данная методика не подходит для прогнозирования перемещения в Пулково. Но как видно, слой 700 – 500 гПа больше всего влияет на перемещение внутримассовой грозы.

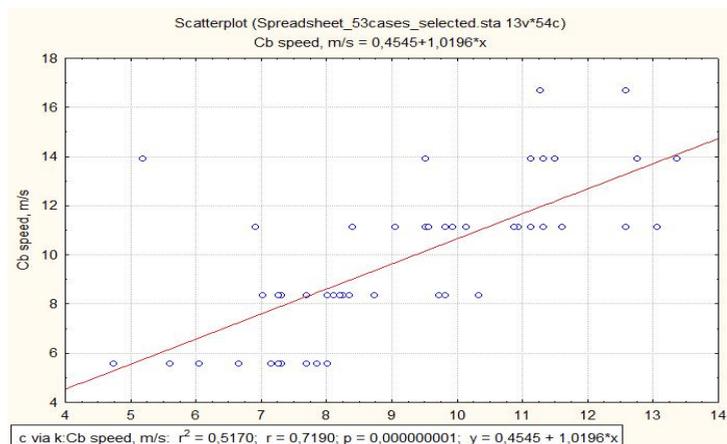


Рисунок 1 – Корреляционная связь между скоростью перемещения радиоэха (ось Y) и средним ветром в слое 700-500 гПа (ось X) для 53 случаев

При удалении 5 случаев внутримассовых гроз с направлениями перемещения от 180 до 360, корреляционная связь усилилась (рис. 1), наблюдается тесная корреляция скорости перемещения радиоэха и среднего ветра в слое 700-500 гПа  $R=0,719$  при направлении перемещения радиоэха от 0 до 180. Полученная зависимость скорости перемещения радиоэха C в м/с и среднего ветра V в слое 700-500 гПа (м/с) выглядит следующим образом:  $C=0,4545+1,0196*V$ . Представляет интерес практическое применение полученной формулы для сверхкраткосрочного прогнозирования скорости перемещения внутримассовых гроз в районе Пулково.

### Список литературы

1. Богаткин, О.Г., Тараканов Г.Г. Авиационные прогнозы погоды. СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 164 с.
2. Русин, И.Н., Тараканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. СПб.: Изд. РГГМИ, 1996. – 308 с.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометиздат, 1977. – 616 с.

## АРКТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ: РОЛЬ МЕЖДУШИРОТНОГО ОБМЕНА В АТМОСФЕРЕ

Алексеев Г.В., Харланенкова Н.Е., Вязилова А.Е.

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург  
alexgv@aari.ru

*Аннотация.* По данным реанализа NCEP и ERA5 за 1989-2020 гг рассмотрен обмен между полярной и прилегающими областями.

*Ключевые слова.* Арктика, температура воздуха, потепление, арктическое усиление, СКО, тренд, воздухообмен

## **ARCTIC FORCING: THE ROLE OF INTERLATINOUS EXCHANGE IN THE ATMOSPHERE**

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

*Abstract.* According to the NCEP and ERA5 reanalysis for 1989-2020, the exchange between the polar and adjacent regions is considered.

*Keywords.* Arctic, air temperature, warming, Arctic enhancement, RMS, trend, air exchange

Усиление потепления в Арктике по сравнению с остальной частью Северного полушария или Земного шара по-прежнему привлекает внимание, несмотря на большое количество выполненных исследований. Возможные причины арктического усиления рассматривались и продолжают обсуждаться во многих статьях и обзорах. Нами выполнена количественная оценка роли атмосферных переносов в формировании изменчивости и трендов средней приповерхностной температуры воздуха в Арктике и на прилегающих широтах Северного полушария и предложено аналитическое описание их усиления в высоких широтах.

Для исследования использованы данные реанализов NCEP ERA5 за 1989-2020 гг. и представление о множестве событий воздухообмена между областями на полушарии при неизменных условиях на границах, на основе которого получены аналитические выражения для отношений среднеквадратичных отклонений (СКО) и трендов температуры в соседних областях. Степень близости эмпирического и теоретического отношения СКО и трендов, принята как мера вклада воздухообмена в усиление СКО и трендов при потеплении.

Получено, что обмен между полярной и прилегающей областями достигает более низких широт при учтённом тренде, что означает влияние потепления на усиление обмена воздушными массами. Теоретическое значение усиления тренда средней температуры воздуха в полярной области изолированной однородной атмосферы над полушарием относительно тренда в прилегающей области определяется отношением их площадей, умноженным на отношение коэффициентов детерминации трендов. Усиление тренда температуры в полярной области реальной атмосферы по данным реанализов NCEP и ERA5 за 1989-2020 годы сравнивалось с теоретическим значением - тем самым оценивался вклад обмена воздушными массами в усиление тренда температуры в полярной области.

Получено, что обменом можно объяснить 54 % усиления тренда температуры воздуха (арктического усиления) в области 90-60° с.ш. в среднем за год и 66 % в холодную часть года относительно остальной части Северного полушария. Если принять во внимание южную границу обмена воздушными массами между полярной и прилегающей областью, то усиление тренда температуры воздуха в области 90-60° с.ш. относительно тренда в прилегающей области, с которой происходит обмен воздушными массами, почти полностью (на 93 % в среднем за год) будет результатом обмена, а в области 90-70° с.ш. – в основном (на 74 % в среднем за год).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ВЫСОКИХ ШИРОТ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА**

Алексеева Е.Г., Кошкина А.С., Анискина О.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*o.aniskina@rshu.ru*

*Аннотация.* Объект исследования – динамика средней атмосферы высоких широт северного полушария. Характер распределения геопотенциальной высоты и температуры исследуется с помощью аппарата естественных ортогональных функций на основе данных о геопотенциальной высоте и температуре воздуха трех реанализов.

*Ключевые слова.* Стратосфера, тропосфера, реанализ, естественные ортогональные составляющие.

## **STUDY OF THE DYNAMIC AND THERMAL STATE OF THE MIDDLE ATMOSPHERE OF HIGH LATITUDES ON THE BASIS OF REANALYSIS DATA**

Alekseeva E.G., Koshkina A.S., Aniskina O.G.

State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*Abstract.* The object of study is the dynamics of the middle atmosphere at high latitudes of the northern hemisphere. The nature of the distribution of geopotential height and temperature is studied using the apparatus of natural orthogonal functions based on data on geopotential height and air temperature of three reanalyses.

*Keywords.* Stratosphere, troposphere, reanalysis, empirical orthogonal function.

Несмотря на сильное различие в своих характеристиках (таких как распределение температуры с высотой, химический состав и масштабы процессов), тропосфера и стратосфера тесно взаимосвязаны. Изменения в одном слое влияют на состояние другого посредством сложных процессов радиационного, динамического и химического взаимодействия. Так, усиление активности планетарных волн в тропосфере может вызывать внезапные стратосферные потепления, а отклонения от климатического состояния в стратосфере (ВСП, или напротив, усиление полярного вихря) имеет заметное влияние на динамику тропосферы.

В данной работе объектом исследования является динамика средней атмосферы высоких широт северного полушария. Характер распределения геопотенциальной высоты и температуры исследуется с помощью аппарата естественных ортогональных функций (ЕОФ) на основе данных о геопотенциальной высоте и температуре воздуха трех реанализов:

- Метеорологической службы Великобритании UKMO (U.K. MetOffice),
- Европейского Центра прогнозов (ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA5,
- NASA MERRA2.

Для интерпретации больших наборов пространственно-временных данных требуются методы, снижающие их размерность таким образом, чтобы большая часть информации в данных сохранялась. Для этого в метеорологии используются индексы, характеризующие пространственные поля, или производится аппроксимация полей метеорологических величин с использованием в качестве базисных тригонометрических или сферических функций. Чтобы уменьшить искусственность, возникающую при использовании заранее определенных функций, был разработан метод, в котором в качестве базисных используются естественные ортогональные составляющие [1, 3]. При расчетах ЕОФ для ограниченной территории может появляться ошибка, связанная с неоднородностью расположения точек, используемых при расчете ковариационной матрицы. Так, при расчете ЕОФ для территории на основе данных метеорологических станций, эту проблему можно решить, сначала рассчитывая коэффициенты разложения полей метеорологических величин по сферическим функциям в каждый момент времени, и после восстанавливая данные в точки регулярной сетки, после чего уже используя для расчета ЕОФ [2]. Однако, также эта проблема возникает при расчете ЕОФ на основе данных, находящихся в узлах широтно-долготной сетки, так как с возрастанием широты шаг по долготе уменьшается и значения коэффициентов корреляции в ковариационной матрице увеличиваются, что приводит к некорректно построенным ЕОФ.

Данная проблема решается путем разложения функции поля по сферическим функциям и после восстановлением данных на сетку с однородным распределением точек.

В исследовании использовались ежедневные данные о геопотенциальной высоте и температуре за зимние периоды 20 лет (2000 - 2021 гг.) на территории северного полушария (севернее 60° с. ш.). Для анализа состояния атмосферы были выбраны 3 изобарических уровня, соответствующих тропосфере (850, 500 гПа) и стратосфере (10 гПа).

В полях геопотенциальной высоты, осредненной за 20 лет, можно видеть характерное для зимнего периода пространственное распределение, с ярко выраженными центрами действия атмосферы: Исландским минимумом и Азиатским антициклоном. Наибольшее среднее квадратическое отклонение (СКО) – наибольшая изменчивость – наблюдается в области Исландского минимума, где видны большие вариации, связанные с САК и более частым прохождением циклонов. Минимальное СКО можно видеть над территорией Канады и Дальним востоком России.

На картах среднего геопотенциальной высоты и температуры на уровне 10 гПа можно видеть распределения, характерные для полярного стратосферного вихря – пониженное давление, вызывающее движение воздуха по типу циклона, и пониженная температура. Очаги пониженных значений температуры и геопотенциальной высоты совпадают. А вот СКО распределено по-разному – изменчивость температуры меньше и сконцентрирована над севером европейской территории России, в то время как область максимальной изменчивости геопотенциальной высоте располагается в районе северного полюса.

Был проведен сравнительный анализ средних значений метеорологических величин разных реанализов, сравнение рассчитанных ЕОФ и оценка временного хода коэффициентов – средние значения геопотенциальной высоты в зимний период можно отметить, что в целом значения и пространственное распределение схожи и имеют лишь незначительные различия.

На рисунке 1 приведены соответствующие поля первой компоненты разложения по ЕОФ (ЕОФ1). И в этих пространственных распределениях различия заметны.

В полях ЕОФ1 на изобарической поверхности 850 гПа во всех реанализах наблюдается значительный очаг положительных аномалий около Гренландии и два очага отрицательных аномалий над Россией (более выраженный) и над Аляской (менее выраженный). При этом, если в реанализе UKMO2 разброс значений максимальный – от -240 до 180, то в реанализах ERA5 и MERRA2 он значительно меньше и составляет от -50 до 150 и от -5 до 17.5, соответственно.

Такие же закономерности, но более ярко выраженные, наблюдаются и в полях ЕОФ1 на уровне 10 гПа – в реанализе ERA5 отмечаются только положительные значения (от 150 до 1200), а в реанализе MERRA2 только отрицательные (от -120 до -15). При этом пространственное расположение очагов максимума и минимума совпадают.

Долготные вариации ЕОФ для геопотенциальной высоты и температуры, рассчитанные для широты 67,5° с. ш. в основном демонстрируют положительные аномалии на высоте 1 гПа и долготе 10° в. д. (западная Европа). Кроме положительных аномалий, наблюдающихся в большинстве случаев, можно отметить отрицательные аномалии геопотенциальной высоты, находящиеся на высотах тропосферы и стратосферы и долготе 60° з. д. и 170° в. д. В нижней тропосфере можно видеть также как положительные, так и отрицательные аномалии. Положительные аномалии геопотенциальной высоты чаще наблюдаются над Атлантикой. Отрицательные – на долготе 40° з. д. Долготные вариации ЕОФ аномалий температуры менее гладкие. Отмечается отрицательные аномалии температуры на высотах тропосферы на различных долготах.

Анализируя поля ЕОФ геопотенциальной высоты, полученные по реанализу MERRA2, четкие закономерности в распределении аномалий можно выделить только в стратосфере – уровень 10 гПа.

Стандартной ситуацией можно считать один локализованный очаг положительных аномалий. Такая ситуация наблюдается во все зимы (пятнадцать зим), кроме шести – 2004-2005, 2010-2011, 2014-2015, 2016-2017, 2017-2018, 2019-2020 гг.

В два зимних периода наблюдается также один сильный очаг аномалий, но отрицательных – 2004-2005, 2016-2017. В три зимних периода наблюдаются два одинаково сильных очага аномалий – 2010-2011, 2014-2015, 2019-2020: отрицательные аномалии в западном полушарии, положительные над Европой. Рассмотрим более подробно именно эти аномальные зимы.

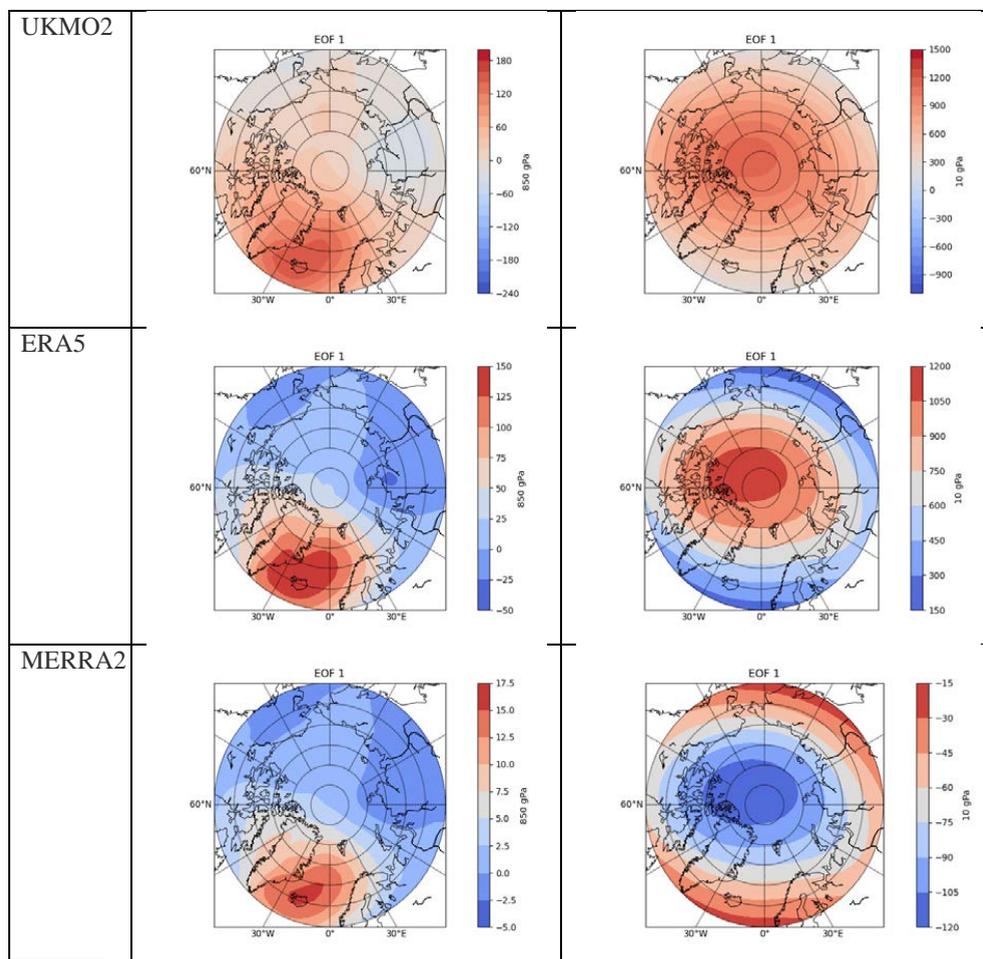


Рисунок 1 – EOF1 геопотенциальной высоты поверхностей 850 гПа (слева) и 10 гПа (справа), зима 2004-2005 гг.

Более схожи пространственное распределение в зимы 2010-2011 и 2019-2020 гг. – очаги одинаково сильные, в то время как зимой 2014-2015 года отрицательный очаг значительно сильнее.

Анализируя распределения, можно отметить, что никогда не повторяется несколько лет подряд одно пространственное распределение аномалий. Исключение зимы 2008-2009 и 2009-2010 годов, но и в эти года центры очагов смещены относительно друг друга. Чаше очаги отрицательных аномалий наблюдаются в западном полушарии с центрами над Гренландией и Канадой – всего 9 случаев. Только 5 случаев с областью отрицательных аномалий над Сибирью.

Проанализирована связь распределения аномалий геопотенциальной высоты и температуры с несколькими циркуляционными характеристика – квазидвухлетним

колебанием (КДК), Северо-Атлантическом колебанием (САК) и внезапными стратосферными потеплениями (ВСП). Связи с КДК обнаружено не было. Возможно, влияние есть, но его вклад настолько незначителен, что не прослеживается в первых трех ЕОФ. Как известно, эффект КДК проявляется в основном на экваторе и до широт 60°. Годы, в которые наблюдались ВСП, отмечены положительными аномалиями температуры над Канадой и Гренландией отрицательными аномалиями температуры над Евразией.

Годы Эль Ниньо отличаются преобладанием положительных аномалий геопотенциальной высоты над всей рассматриваемой территорией, особенно Гренландией, кроме Скандинавии и Европы, где наблюдаются отрицательные аномалии. Годы Ла Нинья, напротив, отмечены отрицательными аномалиями над территорией Гренландии и положительными над Европой. Также влияние Южного Колебания отмечается на аномалиях температуры, где в годы Эль Ниньо на Дальнем Востоке России наблюдаются отрицательные аномалии, а положительные – над территорией Северной Америки.

Положительная фаза САК приводит к теплым зимам в Европе, отрицательная – к снежным и холодным зимам в Европе и Северной Америке.

Рассматривая зимние периоды, в которые наблюдались несколько явлений, например, ЭНИЮК и ВСП или САК и ВСП, можно отметить, что чем сильнее явление влияет на атмосферу, тем раньше оно проявляется на ЕОФ.

К примеру, в зимний период 2017-2018 гг. наблюдалась положительная фаза САК (с величиной индекса 0,6) и ВСП, произошедшее в середине февраля. На картах ЕОФ аномалий температуры можно видеть, что характер распределений, соответствующий явлению САК, наблюдается на ЕОФ1 и, в большей мере, на ЕОФ2. А поля, характерные для явления ВСП, видны только на ЕОФ3.

Рассматривая следующую зиму, 2018-2019 гг., в которую наблюдалась положительная фаза САК с величиной индекса 0,5, характерная для данного явления картина аномалий температуры проявляется только на третьей составляющей, в то время как на первой виден характер распределений, соответствующий явлению ВСП, которое в этот зимний период наблюдалось в начале января раньше, чем в предыдущий год.

Также можно видеть, что паттерны, соответствующие разным явлениям, могут накладываться. К примеру, в зимний период 2002-2003 гг. на первой ЕОФ можно видеть, что в западной части полушария наблюдаются положительные, а в восточной – отрицательные аномалии температуры, в целом характер распределения совмещает в себе аномалии, характерные для зим с ЭН и ВСП.

Таким образом, можно сделать вывод об исключительном динамическом и термическом состоянии атмосферы Северного полушария в годы 2010-2011, 2014-2015 и 2019-2020 гг., о чем свидетельствуют поведения геопотенциальной высоты и температуры на высотах тропосферы и стратосферы.

Выявлены периоды с ошибками в данных реанализов UKMO2, ERA5 и MERRA2.

На величину аномалий температуры и геопотенциальной высоты влияют такие явления как Эль-Ниньо Южное Колебание, Северо-Атлантическое Колебание, Внезапные Стратосферные Потепления.

Паттерны распределения аномалий, характерные для определенного явления, проявляются на ЕОФ с наименьшим собственным числом, если данное явление играло большую роль на состоянии атмосферы.

### Список литературы

1. *Багров Н.А.* Аналитическое представление последовательностей метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих //Труды ЦИП,1959.– Вып. 74.– С. 3–24.
2. *Ракушина Е.В., Кандиева К.К., Анискина О.Г., Погорельцев А.И.* Применение аппарата естественных ортогональных функций для анализа крупномасштабных динамических процессов в средней атмосфере //Труды ГГО им. А. И. Воейкова, 2018. – №591 – С. 106-123.

3. Даценко Н.М., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М. Свойства и изменения естественных ортогональных составляющих температурных полей северной Евразии в XX веке // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2011.– том 47, № 1.– С. 35–49.

## МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Виноградов М.В.<sup>1,2</sup>, Тихонова Н.А.<sup>1,2</sup>, Захарчук Е.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

*Vinogradov\_mixa@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются пространственно-временные особенности многолетней изменчивости уровня Балтийского моря за период 1955-2020 гг. в условиях глобального изменения климата.

*Ключевые слова.* Балтийское море, межгодовая изменчивость, уровень моря, климат.

## LONG-TERM VARIATIONS OF THE BALTIC SEA LEVEL IN THE SECOND HALF OF THE 20TH – BEGINNING OF THE 21st CENTURY

Vinogradov M.V.<sup>1,2</sup>, Tikhonova N.A.<sup>1,2</sup>, Zakharchuk E.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> State Oceanographic Institute named after N.N. Zubova, St. Petersburg

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg

*Annotation.* The spatial and temporal features of the long-term variability of the Baltic Sea level for the period 1955-2020 are considered in the context of global climate change.

*Keywords.* Baltic Sea, interannual variability, sea level, climate.

**Введение.** В настоящий момент, в связи с глобальным изменением климата, в Мировом океане наблюдается заметный подъем среднего уровня моря, с середины XX века имеющий беспрецедентный характер последствий на жизнедеятельность людей [1]. Это создаёт потенциальную угрозу затопления густонаселённых прибрежных территорий, обуславливающую необходимость мониторинга многолетних колебаний уровня. При этом выделяются районы, где эта тенденция проявляется наиболее сильно. К их числу относится и Балтийское море, где также отмечается и существенная межгодовая изменчивость уровня, механизм которой до сих пор остаётся слабо изученным [2].

Первые научные работы, посвящённые изучению многолетних колебаний уровня Балтийского моря, начались во второй половине XX века. Вначале это были статьи по классификации [3, 4] и описанию [5, 6] основных факторов колебаний среднего уровня моря, заложившие теоретическую основу будущих исследований. К началу XXI был опубликован ряд научных трудов, отражающих современный подход к рассматриваемой проблеме. Среди них можно отметить работы по изучению корреляционных связей уровня моря и Североатлантического колебания [7, 8], исследования в сфере использования спутниковых измерений [9, 10], геодезические оценки чистых эвстатических колебаний [11] результаты моделирования уровня моря [2] и т.д. Наиболее комплексное на сегодняшний день исследование изменчивости уровня включает в себя численное разложение поля среднегодовых колебаний уровня по основным элементам водного баланса, что позволило получить первые количественные оценки вклада каждого из факторов среды в общие колебания уровня [12].

Целью данной работы является изучение основных особенностей многолетней изменчивости уровня Балтийского моря в условиях глобального изменения климата. Это позволит определить механизм формирования современного поля уровня Балтийского моря, необходимый при прогнозировании локальной гидрометеорологической обстановки.

Методология работы. В основе исследования лежит представление о том, что временная изменчивость уровня моря в конкретной точке пространства определяется 3-мя группами факторов: динамическими процессами в море, стерическими колебаниями уровня и изменениями в элементах водного баланса [13]. Математически это отображено в проинтегрированном по глубине уравнении неразрывности (1)

$$\frac{dz}{dt} = -\text{div}\vec{V}H - \int_0^H \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} dz + B \quad (1)$$

где  $z$  - превышение уровня моря над его средним значением,  $\vec{V}$  - средний по глубине  $H$  вектор скорости течения,  $B$  – водный баланс ( $B = Q_{\text{пр}} + O + C/S - I - Q_{\text{от}}$ ),  $Q_{\text{пр}}$  – приток воды в море,  $Q_{\text{от}}$  – отток воды из моря,  $O$  - осадки,  $I$  – испарение,  $C$  - материковый сток,  $S$  - площадь морского бассейна.

Для исследования многолетней изменчивости уровня Балтийского моря на 17 его мареографных станциях (Рисунок 1) за период времени 1955-2020 гг. были сформированы синхронизированные ряды среднегодовых значений следующих параметров: аномалии уровня моря (мареографные наблюдения PSMSL), транспорт через Датские проливы, рассчитанный по разности аномалий уровня моря (мареографные наблюдения BOOS и UHLS), стерические колебания уровня, рассчитанные по температуре и солёности морской воды (морской реанализ ORAS-5), характеристики атмосферного давления и его горизонтальных градиентов, компонентов скорости ветра, количества осадков, испарения, материкового стока (метеорологический реанализ ERA-5).

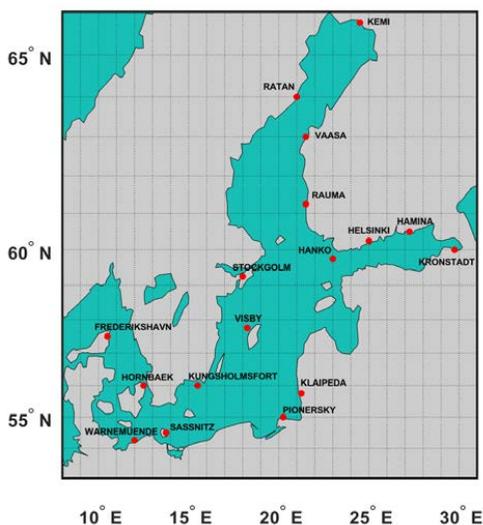


Рисунок 1 – Карта расположения 17 мареографных станций в Балтийском море.

Затем, для рассматриваемых рядов были проведены различные виды анализа данных: анализ трендов, Фурье-анализ, корреляционный, вейвлет и взаимный вейвлет анализ, множественный регрессионный анализ. Далее, производилась интерпретация полученных результатов, выявление основных закономерностей и расчёт количественных оценок соответствующих.

Результаты работы. Оценка многолетних колебаний уровня Балтийского моря показала, что за период 1955-2020 гг. его изменчивость увеличивается в направлении с юга-запада на север.

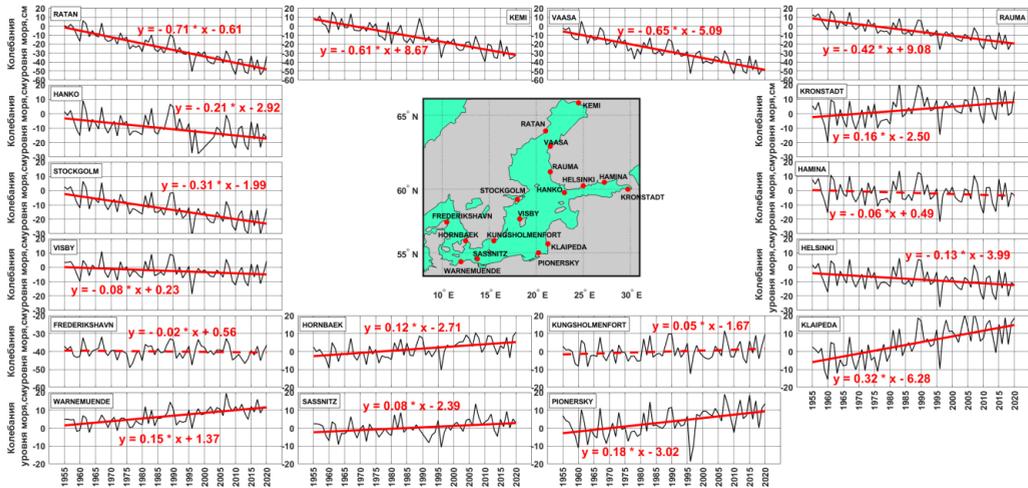


Рисунок 2 – Многолетняя изменчивость уровня Балтийского моря за 1955-2020 гг.

В спектре стационарных колебаний уровня наибольшие амплитуды отмечаются на частотах с периодом 3-4 года, 5.5 и 8 лет, 16.5 лет и 22 года. В нестационарном же приближении основная энергия колебаний сосредоточена в высокочастотной области в начале (1958-1970 гг.), конце наблюдений (2007-2020 гг.), а также в 1980-1983 и 1995-2000 гг., в то время как низкочастотные 8-ми летние пики остаются относительно постоянными.

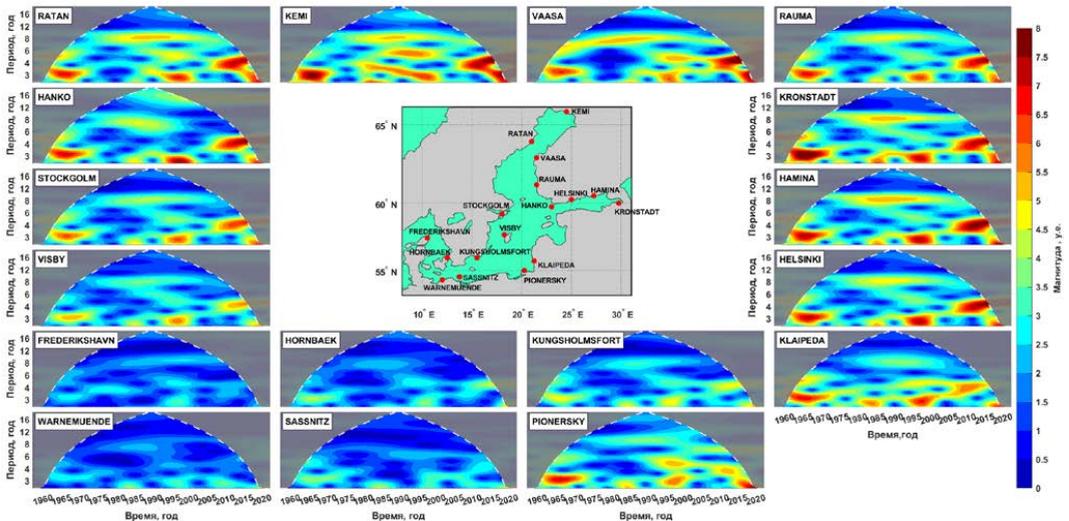


Рисунок 3 – Одиночный вейвлет уровня Балтийского моря за 1955-2020 гг.

По результатам взаимно-корреляционного анализа была отмечена преобладающая на большей части Балтийского моря высокая корреляция уровня моря лишь с меридиональным

градиентом давления, зональной скоростью ветра и атмосферным давлением. Взаимный вейвлет анализ показал высокую когерентность уровня моря с меридиональным градиентом давления и зональной скоростью ветра на периодах 1-2 года, 4-6 лет, 6-12 лет и 24-32 года для большей части Балтийского моря. При этом высокочастотные максимумы были отмечены в 1960-е и 1990-е гг., в то время как в 1970-1990-х гг. преобладали уже низкочастотные циклы. С начала 2000-х гг. наблюдается тенденция к перераспределению энергии колебаний в область более высоких частот. Также, отдельно для района Ботнического залива была зафиксирована устойчивая высокая корреляционная связь уровня моря с атмосферным давлением на диапазоне частот 1-12 лет. Результаты регрессионного анализа показали, что основной вклад в колебания уровня моря (около 50-70 %) вносят такие параметры как атмосферное давление, меридиональный градиент давления, зональная скорость ветра, причём первое слагаемое является доминирующим над северной частью моря, а два последних – попеременно над центральной и южной частью Балтики.

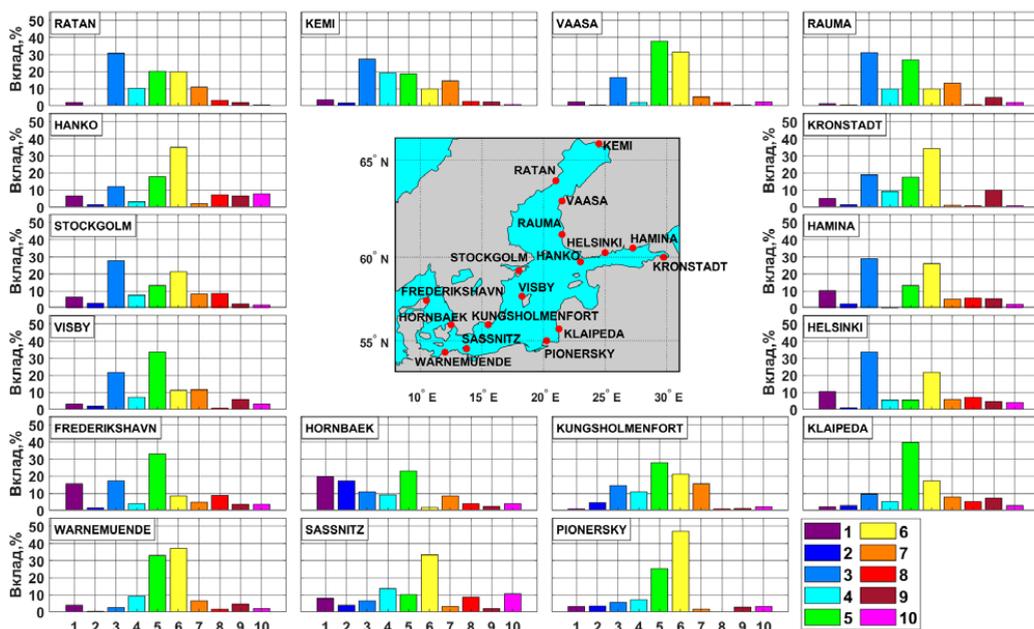


Рисунок 4 – Вклад стерических колебаний уровня (1), транспорта через Датские проливы (2), атмосферного давления (3), зональной (4) и меридиональной (5) составляющих градиента давления, зональной (6) и меридиональной (7) составляющих ветра, количества осадков (8), испарения (9), речного стока (10) в многолетние колебания уровня моря за 1955-2020 гг.

Из этого следует, что основным фактором и механизмом, влияющим на многолетней изменчивости уровня в Балтийском море, являются колебания атмосферного давления, как следствие вызываемые ими ветра и статический эффект.

### Список литературы

1. МГЭИК Обобщающий доклад по изменению климата, МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 стр., 2014.
2. Madsen Sea Level Trends and Variability of the Baltic Sea From 2D Statistical Reconstruction and Altimetry, *Frontiers in Earth Science*, p. 12, 2019.

3. *Hela* Über die Schwankungen des Wasserstandes in der Ostsee mit besonderer Berücksichtigung, *Meren-utkimuslaitoksen Julkaisu-Havsforskningsinstitutets Skrift*, p. 134, 1944.
4. *Dietrich G.* Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen Jes Meers am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg, *Die Kuste*, Т. 1 из 22: pp. 130-156, 1954.
5. Lisitzin Sea-level changes, Amsterdam: ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, 1974.
6. *Терзиев Ф.* Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, т. 3 (Балтийское море), Москва: Гидрометеиздат, 1992.
7. *Andersson* Influence of long-term regional and large-scale, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, pp. 76-88, 2002.
8. *Karimi* Multidecadal Sea Level Variability in the Baltic Sea and Its Impact on Acceleration Estimations, *Frontiers in Marine Science*, p. 12, 2021.
9. *Madsen K. S.* Recent and Future Climtic Changes of the North Sea and the Baltic Sea, 2011.
10. *Stramska N., Chudziak N.* Recent multiyear trends in the Baltic Sea level, *Oceanologia*, т. 55, № 2, 2013.
11. *Richer R. Dietrich* Geodetic observation of sea-level change and crustal deformation in the Baltic Sea region, *Physics and Chemistry of the Earth*, Т. 1 из 253-54, pp. 43-53, 2012.
12. *GRÄWE, Decomposing Mean Sea Level Rise in a Semi-Enclosed Basin, the Baltic Sea*, pp. 3089-3108, 2019.

### **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

Григорьева А.А.<sup>1,2</sup>, Лобанов В.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Якутское УГМС», Якутск  
*va\_lobanov56@mail.ru, alnrgrrva@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются многолетние ряды разных гидрологических характеристик (среднегодовые расходы воды, максимальные расходы в году, весеннего половодья, дождевых паводков и стоки стока весеннего половодья, минимальные летние и зимние расходы воды) на реках Республики Саха (Якутия) и их аппроксимация моделями нестационарного среднего (линейный тренд и модель ступенчатых изменений). Получено, что для максимальных в году расходов воды эффективные нестационарные модели практически отсутствуют, но имеют место для слоев половодья, среднегодовых и минимальных расходов воды, которые увеличились в основном в конце 20-го начале 21 века в связи с возможным дополнительным притоком воды от оттаявшей вечной мерзлоты. Построены пространственные распределения прироста характеристик речного стока в % по отношению к предыдущему стационарному периоду и по отношению к естественной изменчивости.

*Ключевые слова.* изменение климата, Республика Саха (Якутия), основные гидрологические характеристики, многолетние ряды, модели нестационарного среднего, увеличение минимального и среднегодового стока

### **IMPACT OF CLIMATE CHANGE OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE RIVERS OF REPUBLICA SAKHA (YAKUTIA)**

Grigoreva A.A.<sup>1,2</sup>, Lobanov V.A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Hydrometeorological Service of the Republic Sakha (Yakutia)

*Annotation.* Long-term series of different hydrological characteristics (average annual water discharges, maximum discharges in a year, spring floods, rain floods and spring flood runoff layers, minimum summer and winter water discharges) on the rivers of the Republic of Sakha (Yakutia) and their approximation by models of non-stationary average linear trend and step change model). It was found that there are practically

no effective non-stationary models for the maximum water discharges, but they take place for flood layers, average annual and minimum water discharges, which increased mainly in the late 20th and early 21st centuries due to the possible additional inflow of water from the thawed permafrost

*Keywords.* climate change, Republic of Sakha (Yakutia), main hydrological characteristics, long-term time series, models of non-stationary average, increase in minimum and average annual runoff.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении изменений в многолетних временных рядах различных гидрологических характеристик в разных частях территории Якутии, а также в оценке характера этих изменений, их устойчивости во времени и закономерностей по пространству, как в количественном отношении, так и по отношению к естественной изменчивости.

На реках Республики Саха (Якутия) выбран 21 пункт с наиболее продолжительными рядами наблюдений за различными гидрологическими характеристиками, включая среднегодовые и максимальные в году расходы воды, максимальные расходы и стоки весеннего половодья, максимальные расходы дождевых паводков, минимальные летние и зимние расходы воды. Пункты наблюдений находятся в разных частях Республики Саха (Якутия) и позволяют объективно оценить пространственные изменения.

В соответствии с алгоритмом исследования, прежде всего, была осуществлена аппроксимация моделями линейного тренда и ступенчатых изменений всех рядов с первого по последний год наблюдений для каждой гидрологической характеристики. Из результатов следует основной вывод, что если модели нестационарного среднего эффективны, то всегда имеет место рост среднего значения. При этом процент эффективных нестационарных моделей разный для разных гидрологических характеристик. Для многолетних рядов максимальных срочных расходов воды, как весеннего половодья, так и дождевых паводков преобладает модель стационарного среднего. Для многолетних рядов стоков весеннего половодья нестационарные модели, характерны для трети рядов, а для минимальных летних и среднегодовых расходов воды уже для половины. Наибольшее число нестационарных эффективных моделей имеет место для рядов минимальных зимних расходов воды. Наблюдаемое увеличение стока, особенно минимального и среднегодового, вполне может быть связано с дополнительным притоком воды за счет таяния вечной мерзлоты [1, 2].

Еще один важный вывод, который может быть получен — модель ступенчатых изменений эффективнее при аппроксимации временных рядов, чем модель линейного тренда, так как средние по всем рядам значения  $\Delta_{тр}$  и  $\Delta_{ст}$ , наглядно показывают, что всегда  $\Delta_{ст} > \Delta_{тр}$ . Примеры характерных эффективных моделей ступенчатых изменений среднегодовых расходов воды приведены на рисунке 1.

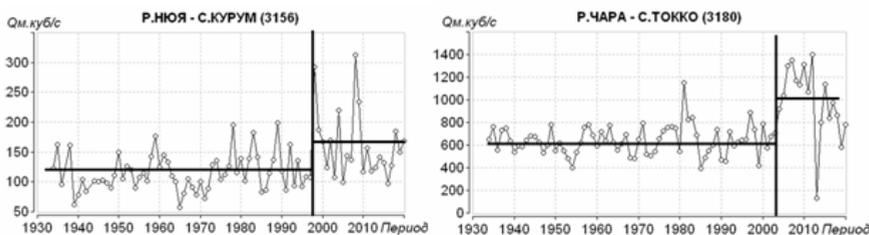


Рисунок 1 — Нестационарные ряды среднегодовых расходов воды

Если в большинстве случаев преобладает нестационарная модель ступенчатых изменений, то следующим является вопрос о годе этого ступенчатого перехода от одних однородных условий к другим. В среднем он приходится на 1990е годы (1992—1999 гг.), хотя варьирует в широких пределах. Достаточно большой диапазон  $T_{ст}$ , поэтому необходимо

было оценить устойчивость определения  $T_{ст}$ , а также остальных показателей эффективности для нестационарных моделей:  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ст}$  и  $г$ , т.к. некоторые  $\Delta_{тр}$  и  $\Delta_{ст}$  ненамного больше 10%.

Для оценки устойчивости во времени  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ст}$ ,  $T_{ст}$  и  $г$  рассматривался временной ряд разной продолжительности, которая определялась заданием разного начала временного ряда: с 1930 г, с 1940 г. и т.д. до начала ряда в 1990 г. При такой оценке за разные интервалы времени можно более надежно определить и наиболее вероятный год  $T_{стр}$ , который характеризует переход от одного однородного режима к другому. Даже, если помимо модели ступенчатых переходов эффективна и модель тренда,  $T_{стр}$  позволяет фиксировать год изменений в параметрах этой модели, например, в изменении скорости тренда или его статистической значимости, когда тренд был статистически значим до  $T_{стр}$  и стал статистически незначим после  $T_{стр}$ . Поэтому после определения  $T_{стр}$  для каждой части ряда были рассчитаны коэффициенты корреляции  $г$  со временем и оценена их статистическая значимость. Эта процедура позволяет еще раз проверить вид модели временного ряда.

В таблице 1 в качестве примера приведены результаты оценки устойчивости во времени показателей  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ст}$ ,  $T_{ст}$  и  $г$  при назначении разных лет начала ряда, а также определение  $T_{стр}$  по наибольшей повторяемости  $T_{ст}$  (повторяющиеся  $T_{ст}$  выделены жирным шрифтом) и рассчитанные  $г$  для частей ряда до и после  $T_{стр}$  для рядов среднегодовых воды с эффективными нестационарными моделями. Из результатов таблицы 1 следует, что практически всегда  $T_{ст}$  не зависит от задания начала ряда, т.е. является устойчивым и определяется надежно, а установленные  $T_{стр}$  находятся в диапазоне от 1996 по 2005 гг. Коэффициенты корреляции  $г$  для первой и второй частей ряда (до и после  $T_{стр}$ ) практически всегда статистически незначимы, что подтверждает вывод о преобладании модели ступенчатого изменения среднего значения во временных рядах. Показатели  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ст}$  и  $г$  эффективны и статистически значимы вне зависимости от задаваемого года начала ряда. В отдельных случаях имеет место или некоторый рост параметров при сдвиге задаваемого года начала ряда от прошлого к настоящему или их уменьшение при начале ряда с 1990 г., что свидетельствует о нарушении однородности рядов в последний период наблюдений с конца 20 века.

Таблица 1 — Оценка устойчивости во времени показателей эффективности нестационарных моделей среднегодовых расходов воды

Код	Пар.	С начала	с1930	с1940	с1950	с1960	с1970	с1980	с1990	до $T_{стр}$	$г$ после $T_{стр}$
3156	$\Delta_{тр}$	7,8	7,8	9,3	6,2	7,7	4,4	1,8	0,9	0,10	-0,14
	$\Delta_{ст}$	<b>11,6</b>	<b>11,6</b>	<b>12,2</b>	<b>10,6</b>	<b>11</b>	8,6	7,1	1,3		
	$T_{ст}$	<b>1998</b>									
	$г$	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	<b>0,42</b>	<b>0,35</b>	<b>0,38</b>	0,29	0,19	0,13	0,15	-0,29
3443	$\Delta_{тр}$	<b>12,6</b>	<b>12,6</b>	<b>12,6</b>	<b>15,5</b>	<b>15,5</b>	<b>19,3</b>	<b>12,5</b>	3,8		
	$\Delta_{ст}$	<b>21,9</b>	<b>21,9</b>	<b>21,9</b>	<b>22,5</b>	<b>22,5</b>	<b>23,9</b>	<b>18,2</b>	9,5		
	$T_{ст}$	<b>1996</b>									
	$г$	<b>0,49</b>	<b>0,49</b>	<b>0,49</b>	<b>0,53</b>	<b>0,53</b>	<b>0,59</b>	<b>0,48</b>	0,27	-0,07	-0,07
3445	$\Delta_{тр}$	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10,3</b>	<b>10,2</b>	<b>8,9</b>	<b>10,8</b>	4,5	0,3		
	$\Delta_{ст}$	<b>17,2</b>	<b>17,2</b>	<b>16,7</b>	<b>16,6</b>	<b>15,9</b>	<b>18,6</b>	9	2,7		
	$T_{ст}$	1988	1988	1988	1988	<b>1996</b>	<b>1996</b>	<b>1996</b>			
	$г$	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	<b>0,41</b>	<b>0,45</b>	<b>0,40</b>	-0,08	-0,03	-0,08
3507	$\Delta_{тр}$	4,7	4,7	4,7	4	3,8	8,8	5,9	3,6		
	$\Delta_{ст}$	9,6	9,6	9,6	9,3	9,8	<b>13,9</b>	<b>11,6</b>	<b>10,3</b>		
	$T_{ст}$	<b>2000</b>									
	$г$	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,28</b>	<b>0,27</b>	<b>0,41</b>	<b>0,34</b>	0,27	-0,03	-0,2

Главным результатом моделирования временных рядов является установление вида модели временного ряда, которая в основном соответствует ступенчатому росту среднего значения в 1990-х - начале 2000-х и переходу от одного стационарного режима к другому в год  $T_{стр}$ . При этом «быстрые» характеристики стока, такие как максимальные в году расходы

воды, максимальные расходы весеннего половодья и дождевых паводков пока остаются стационарными, а изменяются в основном «медленные» характеристики: годовой, минимальный зимний и минимальный летний сток и в меньшей степени слой стока весеннего половодья. В связи с тем, что атмосферные осадки практически остаются стационарными [3], то слой стока половодья от них зависящий, также мало изменяется. Поэтому изменение годового стока связано в основном с ростом минимального летнего и зимнего стока, а причиной дополнительного притока воды в реки в меженный период можно считать таяние вечной мерзлоты. Подтверждение этому дано, например, в работах [3, 2], где показан ступенчатый рост температуры почвы на разных глубинах и построена карта зон оттаивания вечной мерзлоты для территории Якутии.

Количественная оценка роста минимальных летних, зимних и среднегодовых расходов воды была получена на основе расчета разности между двумя средними значениями  $Q_{ср1}$  и  $Q_{ср2}$ , полученными по частям ряда до и после  $T_{стр}$ . Для пространственной интерполяции полученных результатов эти разности были нормированы по отношению к  $Q_{ср1}$  и  $\sigma_y$  (СКО):  $\Delta q = (Q_{ср2} - Q_{ср1}) / Q_{ср1} (\%)$  и  $k = (Q_{ср2} - Q_{ср1}) / \sigma_y$ . Результаты расчетов  $\Delta q$  и  $k$  и оценки стационарности дисперсий и средних значений за периоды до и после  $T_{стр}$  по критериям Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) приведены в таблице 2, где знак «+» или «-» свидетельствует о принятии или отклонении гипотезы стационарности при  $\alpha = 5\%$ , а рядом приводится уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия ( $\alpha_p$ ), если он находится в диапазоне  $\alpha_p$  от 1% до 10%. Жирным шрифтом в таблице 2 выделены изменения, соответствующие статистически значимым нестационарным средним значениям.

Таблица 2 — Результаты оценки различий средних значений и дисперсий двух частей временного ряда до и после  $T_{стр}$

Код	Qmin лет				Qmin зим				Qгод			
	Ф	Ст	$\Delta q\%$	k	Ф	Ст	$\Delta q\%$	k	Ф	Ст	$\Delta q\%$	k
3036	+	+5,4	12,6	0,62	+	-	<b>24,5</b>	<b>1,00</b>	-	+	5,8	0,29
3042	+	+6,7	12,6	0,60	+	-	<b>41,1</b>	<b>1,54</b>	+	+	8,0	0,46
3156	+	-	<b>56,3</b>	<b>0,95</b>	-	-	<b>90,8</b>	<b>1,27</b>	-	-	<b>40,1</b>	<b>1,04</b>
3180	-	-	<b>104</b>	<b>1,79</b>	-1,4	-2,8	<b>56,6</b>	<b>1,02</b>	-	-2,3	<b>54,2</b>	<b>1,54</b>
3222	+	-	<b>24,5</b>	<b>0,75</b>	+	-	<b>51,2</b>	<b>1,24</b>	+7,8	-	<b>18,8</b>	<b>0,95</b>
3225	+	-	<b>20,6</b>	<b>0,68</b>	+	-1,4	<b>36,5</b>	<b>0,96</b>	+	+6,3	9,3	0,19
3229	-3,8	+	13,4	0,42	+5,5	-	<b>83,0</b>	<b>1,43</b>	+8,5	+6,8	7,7	0,46
3246	-3,6	+5,4	10,4	0,16	перемерзание				+	+	-6,1	-0,21
3291	-4,9	-	<b>42,8</b>	<b>0,82</b>	+	-	<b>55,6</b>	<b>0,98</b>	-	+	12,5	0,40
3293	+	-	<b>61,6</b>	<b>1,25</b>	+7,3	-	<b>95,7</b>	<b>1,31</b>	+5,1	-	<b>52,1</b>	<b>1,28</b>
3367	-4,6	+	26,5	0,34	-	+	перемерзание		+	+7,5	15,1	0,49
3405	+	+5,7	27,4	0,52	-	-	перемерзание		+	+	11,6	0,43
3414	+	-	<b>39,8</b>	<b>1,02</b>	-	-	перемерзание		+	+9,4	14,9	0,38
3443	-	-	<b>73,0</b>	<b>1,18</b>	перемерзание				+	-	<b>39,3</b>	<b>1,26</b>
3445	+	-	<b>108</b>	<b>1,67</b>	перемерзание				-4,7	-	<b>33,4</b>	<b>1,13</b>
3483	+	+5,6	23,7	0,59	перемерзание				+	+	5,3	0,16
3507	-3,2	+	16,4	0,33	-	-	<b>116</b>	<b>0,80</b>	+	-3,2	<b>25,3</b>	<b>0,60</b>
3518	+7,6	+	2,8	0,07	перемерзание				-	+	5,1	0,18
3801	-	-	<b>87,4</b>	<b>0,81</b>	перемерзание				-2,6	+	7,7	0,31
3821	+	+7,8	16,1	0,60	-1,8	-	<b>92,7</b>	<b>1,62</b>	+	+	2,1	0,18
3881	-	-	<b>153</b>	<b>1,07</b>	-	-3,5	<b>478</b>	<b>1,35</b>	-3,6	-	<b>90,5</b>	<b>1,26</b>

Из результатов таблицы 2 следует несколько выводов:

— статистически значимое при оценке по критерию Стьюдента увеличение среднегодовых расходов воды имеет место в 38% случаев, минимальных летних – в 52% случаях и минимальных зимних в 100% случаев для не перемерзающих рек;

— увеличение средних значений в трети случаев сопровождается изменением дисперсии (в основном ростом) при оценке ее стационарности по критерию Фишера, причем рост дисперсии, особенно в рядах минимальных зимних расходов воды обусловлен влиянием отдельных экстремумов;

— статистически значимое различие средних значений имеет место, если  $\Delta q > 20\%$  и поэтому любые изменения характеристик стока и осадков менее 20% вряд ли можно считать значимыми;

— в %-ном отношении наибольшее увеличение имеет место для минимальных зимних расходов воды до 100% (за исключением аномального изменения в пункте 3881 р.Алазея – с.Аргахтах), затем для минимальных летних расходов воды до 70-80% и для среднегодовых расходов воды до 40-50%;

— для некоторых северных рек с перемерзанием (3405 р.Оленек – с.Оленек, 3414 р.Яна – г.Верхоянск) наметилась тенденция появления зимнего стока в последний период с конца 20-го века;

— сравнение увеличения стока с естественной изменчивостью показывает, что коэффициент  $k$  в лучшем случае превышает 1, но никогда не достигает 2, который соответствует 95%-ному доверительному интервалу.

Пространственные распределения  $\Delta q$  и  $k$  для среднегодовых и минимальных расходов воды приведены на рисунке 2.

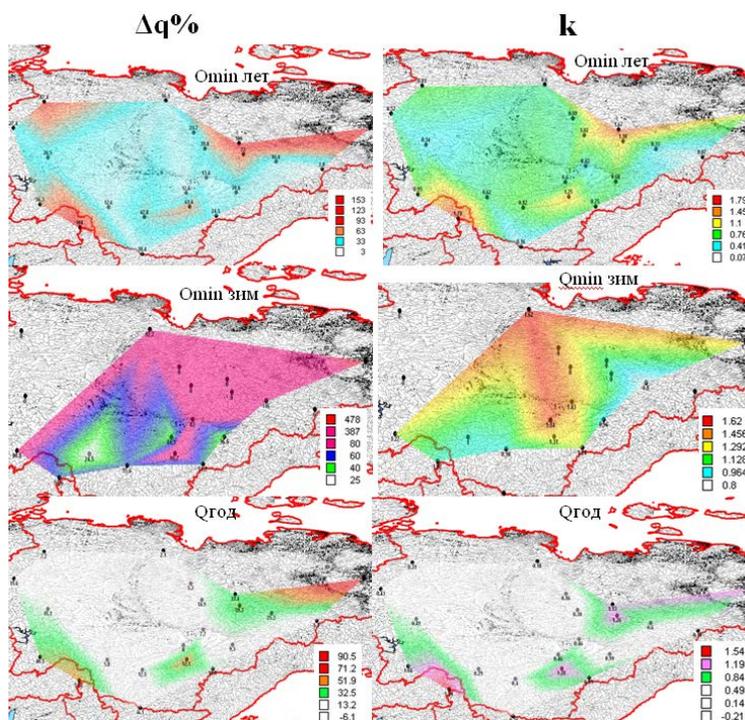


Рисунок 2 — Пространственные распределения  $\Delta q$  и  $k$  минимальных и среднегодовых расходов воды

Из пространственных распределений рисунка 2 следует их подобие для  $\Delta q$  и  $k$ , т.е. там, где большие относительные различия средних значений, там и выше отношение этой

разности к естественной изменчивости. Общим для разных гидрологических характеристик является то, что на севере-востоке Якутии рост расходов воды наибольший. Наибольший рост, как по величине, так и по территории имеет место для минимальных зимних расходов воды, а изменение в среднегодовых расходах наблюдается в виде изолированных районов на востоке и юге республики Саха (Якутия).

### Список литературы

1. *Шерстюков, А. Б.* Изменения климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009. 127 с.
2. *Lobanov V.A., Grigorjeva A.A., Goroshkova N.I.* Impact of climate change on different types of cryosphere in the Republic of Sakha (Yakutia). PEEX Newsletter, Helsinki, June 2021, p.20-21. <https://peexhq.home.blog/2021/06/14/impact-of-climate-change-on-different-types-of-cryosphere-in-the-republic-of-sakha-yakutia>.
3. *Лобанов В.А., Кириллина, К.С.* Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. Изд-во РГГМУ, Санкт-Петербург, 2019. 157 с.

## АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ СИЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Иванова И.А.<sup>1</sup>, Топтунова О.Н.<sup>1</sup>, Тараканова А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*ira.nova@mail.ru, olgakolp@yandex.ru, tarakanovanastya@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматриваются тенденции в изменениях количества явлений погоды сильной интенсивности в целом и каждого явления в отдельности по 10 станциям на территории Республики Коми за период 1976-2020 гг.

*Ключевые слова.* Явления погоды, атмосферные явления, тренд, интенсивность.

## ANALYSIS OF HIGH-IMPACT WEATHER EVENTS IN KOMI REPUBLIC

Ivanova I.A.<sup>1</sup>, Toptunova O.N.<sup>1</sup>, Tarakanova A.E.<sup>1</sup>

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

*Annotation.* Changes in the number of high-impact weather phenomena have been considered. The research is based on data collected for the period 1976-2020 from Komi Republic.

*Keywords.* Weather phenomena, atmospheric phenomena, trend, intensity, high-impact weather events.

Наблюдающиеся климатические изменения приводят к изменению режима основных метеорологических параметров: температуры воздуха, скорости ветра, количества и фазового состояния осадков. Некоторые из них достигают критериев неблагоприятного и опасного явления погоды, приводя к экономическому ущербу в различных отраслях, могут представлять угрозу безопасности людей и иметь значительные экологические последствия. Есть достаточное количество подобных исследований [1, 2], выполненных на территории Европы, однако вопрос изучения изменений количества явлений погоды сильной интенсивности в районах с континентальным климатом представляет определенный интерес.

В этом аспекте необходимо рассмотреть изменения, происходящие с количеством атмосферных явлений сильной интенсивности на выбранной для исследования территории, северная часть которой относится к Арктическому региону (схема расположения наблюдательных станций приведена ниже, на рисунке 1).



Рисунок 1 – Схема расположения наблюдательных станций

Атмосферные явления, за которыми производятся наблюдения на метеорологической станции, разделяют на несколько групп: гидрометеоры, литометеоры, электрические, оптические и неклассифицированные явления. После возникновения явления наблюдатель оценивает его интенсивность, которая для большинства атмосферных явлений представляет собой субъективную качественную оценку явления на станции. При этом различают интенсивность, обычную для данной станции в конкретный сезон (умеренную), слабую и сильную. Слабая или сильная интенсивность отмечается в тех случаях, когда характер явления значительно отличается от умеренной интенсивности [3]. Для определения интенсивности явления используют значения метеорологической дальности видимости. Так, в сильной интенсивности будут отмечены наблюдателем туман и метель при видимости в них менее 50 м, мгла - менее 1000 м. Сильная метель наблюдается, если скорость ветра составляет 10 м/с (и более), при этом видимость не должна превышать 4 км. Усиление опасности отложения гололеда, мокрого снега и изморози отмечается, если его диаметр превысит определенное для данного района опасное значение. Основные критерии опасных явлений изложены в руководящем документе [4], но могут отличаться от региона к региону.

Для выполнения исследования были выбраны срочные данные об атмосферных явлениях сильной интенсивности, наблюдавшихся в стандартный срок, из открытого источника [5] - Мирового центра данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации. Выбирались данные за период с 1976-2020 гг., который позволяет увидеть, как тенденции к потеплению климата, начавшиеся в 80-х годах XX века отразились на ходе исследуемых параметров. По итогам обработки были получены результаты, представленные на рисунках 2, 3 и 4.

Количество таких явлений погоды, как снег ливневый, снег ливневый мокрый, снег, метель и метель низовая имеет тенденцию к уменьшению в течение рассматриваемого периода почти на всех станциях. Исключения составляют станции: Усть-Уса (в середине периода), Усть-Вымь и Ирабэль - в конце периода, отмечено увеличение случаев снега в сильной интенсивности. На станции Елецкая в последние годы отмечен рост числа случаев с низовой и общей метелью.

Тенденцию к увеличению числа случаев на станции Ирабэль в последнее десятилетие имеет кристаллическая изморозь. Увеличение числа этого явления в начале 2010-х годов отмечено и на станции Печора.

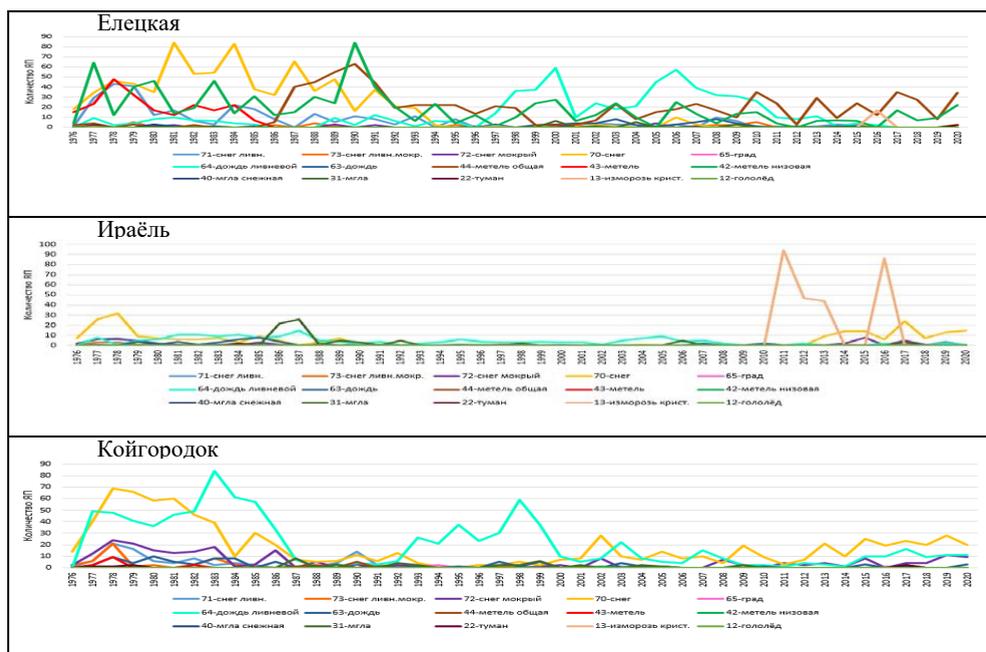


Рисунок 2 – Количество отдельных явлений сильной интенсивности на станциях Елецкая, Ираёль, Койгородок

Ливневой дождь несколько чаще встречался в сильной интенсивности в конце 1990-х, начале 2000-х годов на станциях Усть-Уса и Елецкая. На станции Койгородок такое явление имеет наибольшую повторяемость в начале периода (с середины 1970-х до середины 1980-х годов) и в 1990-х годах. Практически без изменений можно отметить количество града, тумана, снега мокрого, мглы, мглы снежной и гололеда.

Рассматривая весь период, в целом, можно увидеть, что общее количество атмосферных явлений сильной интенсивности менялось на каждой станции не одинаково. Так, явная тенденция к уменьшению видна на станциях Елецкая, Койгородок, Троицко-Печорск. Не смотря на очевидное снижение общего количества явлений сильной интенсивности на станции Сыктывкар, однозначные выводы делать нельзя, так как в 1982 году станция была перенесена с территории аэропорта на территорию ГМО. Несколько снизилось общее количество явлений сильной интенсивности на станции Петрунь и Усть-Цильма. На станции Усть-Уса наблюдалось увеличение количества таких явлений с начала 1990-х годов до 2010 года, в последнее десятилетие отмечена тенденция на уменьшение. На станции Печора, после снижения количества наблюдаемых в сильной интенсивности явлений в конце 1980-х и начале 1990-х годов, с середины 1990-х годов отмечается тенденция на увеличение. На станциях Ираёль (с 2010-х годов) и Усть-Вымь (с начала 2000-х годов) наблюдается рост общего количества атмосферных явлений сильной интенсивности.

**Выводы.** Обобщая результаты обработки и анализа данных по количеству атмосферных явлений сильной интенсивности в стандартный срок наблюдения по 10 станциям на территории Республики Коми можно сказать, что количество большинства явлений в течение рассматриваемого периода снизилось, однако для некоторых метеостанций по отдельным явлениям, есть исключения. Общее количество явлений погоды сильной интенсивности, также, не одинаково меняется на каждой станции. Наблюдающиеся изменения не выражены в географическом плане и проявляются как в Арктических, так и в других районах. И, если в 1980-х годах действительно происходила перестройка климатической системы, то в увеличении количества явлений сильной интенсивности на

рассматриваемой территории она не отразилась. На станциях Усть-Цильма, Печора и Койгородок, напротив, в этот период отмечалась минимальное количество таких явлений.

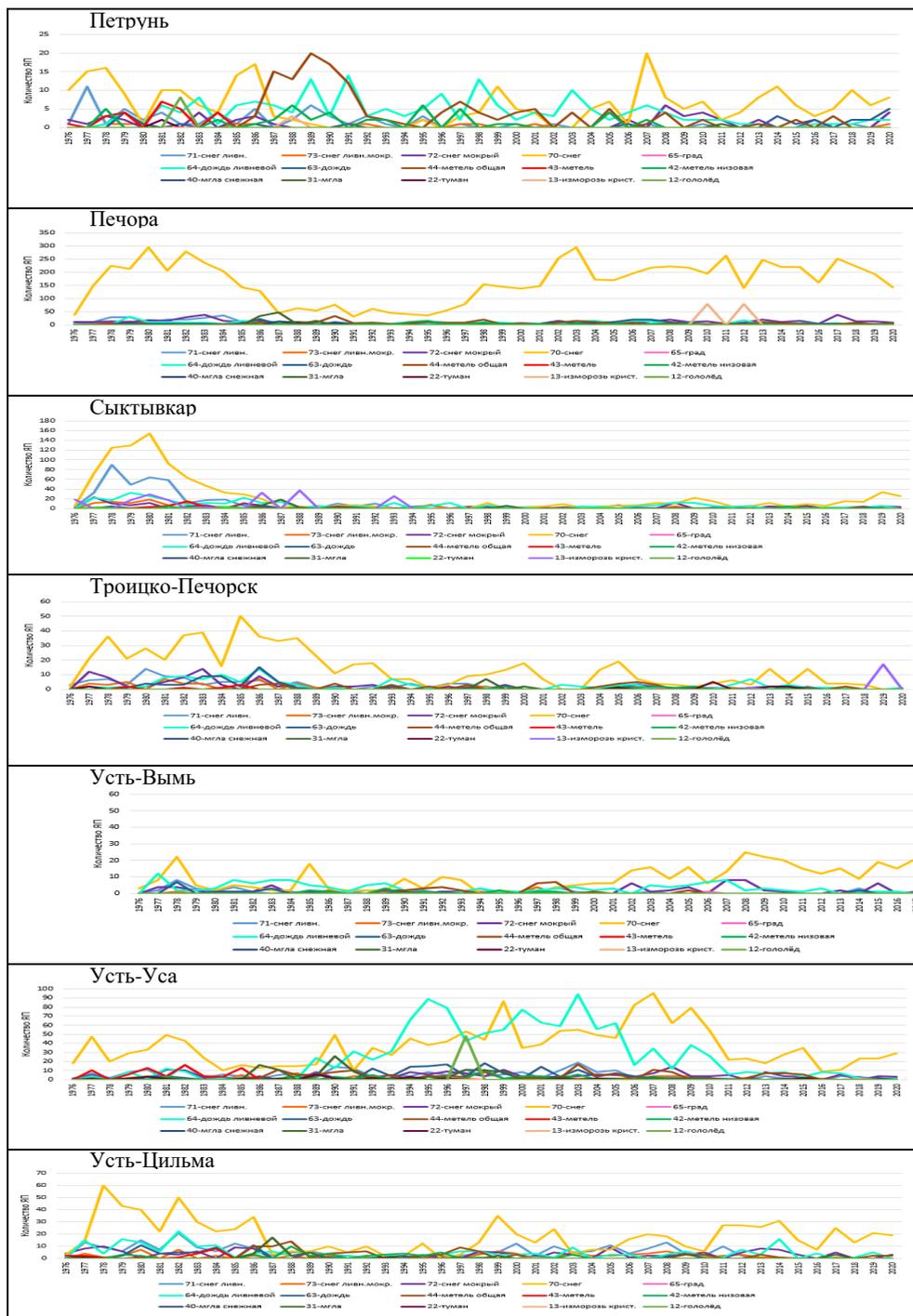


Рисунок 3 – Количество отдельных явлений сильной интенсивности на станциях Сыктывкар, Троицко-Печорск, Усть-Вымь, Усть-Уса, Усть-Цильма, Петрунь, Печора

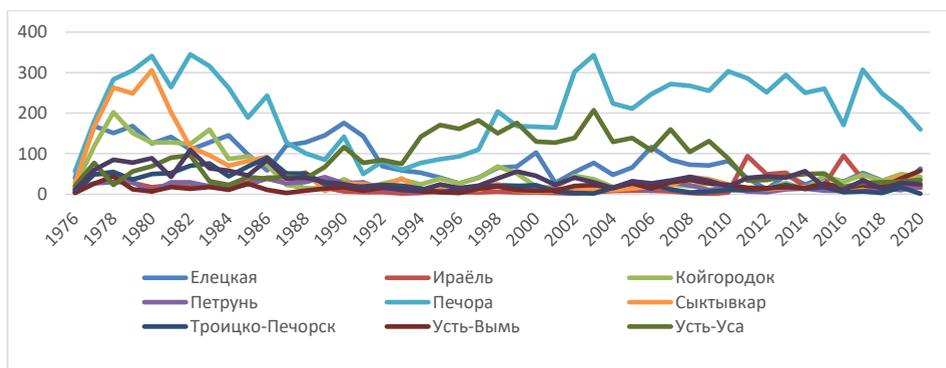


Рисунок 4 – Общее количество явлений сильной интенсивности на каждой станции

Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших работах по анализу изменений режима циркуляции атмосферы, приводящей к изменению повторяемости атмосферных явлений сильной интенсивности как на территории республики Коми, так и в масштабе первого естественно-синоптического района.

#### Список литературы

- 1 Jentsch A., Kreyling J., Beierkuhnlein C. A new generation of climate-change experiments: events, not trends // *Frontiers in ecology and the Environment*. - 2007 V. 5 Is.7 p. 365-374
2. Биненко В.И., Решетников А.И. Изменчивость температуры приземного воздуха и риски, связанные с потеплением климата // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. - 2008. М. ВИНТИ, № 6, с.86-111.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3-ий, ч. 1. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 301 с.
4. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения – М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. – 72 с.
5. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - мировой центр данных [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml> (дата обращения 28.02.2023)

#### ЭПИЗОДЫ ДЛИТЕЛЬНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В КРЫМУ

Крюкова С.В.<sup>1</sup>, Лапченко В.А.<sup>2</sup>, Симакина Т.Е.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> КНС - ПЗ РАН филиал ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия

*tatiana.simakina@gmail.com*

*Аннотация.* Приведены результаты анализа эпизодов с опасными для здоровья уровнями приземного озона на станции Карадаг (Крым) за период 2019 – 2022 г. Рассмотрены метеорологические факторы, сопровождающие и способствующие увеличению длительности таких эпизодов.

*Ключевые слова:* приземный озон, Карадаг, озоновые эпизоды.

## EPISODES OF LONG-TERM INCREASE IN GROUND LEVEL OZONE IN CRIMEA

Kryukova S.V.<sup>1</sup>, Lapchenko V.A.<sup>2</sup>, Simakina T. E.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> T I Vyazemsky Karadag Scientific Station - Nature Reserve of RAS - Branch of A O Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosiya

*Annotation.* The results of the analysis of episodes with hazardous levels of ground-level ozone at Karadag stations (Crimea) for the period 2019–2022 are presented. Meteorological factors accompanying and contributing to an increase in the duration of such episodes are considered.

*Keywords:* ground level ozone; Karadag; ozone episodes.

В большинстве стран мира в настоящее время наблюдается рост концентрации приземного озона около 1-2 % в год, что напрямую влияет на неудовлетворенность качеством воздуха [1, 2]. Системы мониторинга озона регистрируют случаи превышения предельно допустимой концентрации (ПДК), что позволяет оценивать вероятности преодоления ПДК и выработать краткосрочные и долгосрочные планы по улучшению качества воздуха. В многочисленных публикациях, посвященных анализу эпизодов аномально высоких значений концентраций приземного озона (КПО), практически отсутствует информация о длительности таких эпизодов. Однако известно, что губительное влияние приземного озона на здоровье человека и растительный покров обусловлено не только амплитудой, но и временем экспозиции «озоновых эпизодов». Пример двух таких эпизодов, когда в течение 7 и 10 часов соответственно КПО превышала 100 мкг/м<sup>3</sup>, представлен на рисунке 1.

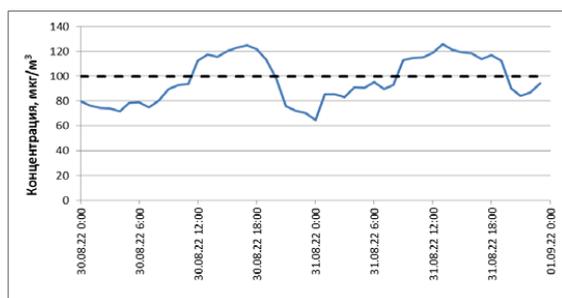


Рисунок 1 – Временной ход КПО и два эпизода, когда КПО более 100 мкг/м<sup>3</sup>

В настоящей работе приведен анализ длительностей озоновых эпизодов в Крыму за последние три года. За начало озонового эпизода брался момент превышения КПО значения 100 мкг/м<sup>3</sup>. Уже при 8-ми часовом воздействии озона с такой концентрацией на человека могут проявляться симптомы отравления озоном: раздражение слизистых глаз, носа, горла, снижение остроты зрения (особенно периферического и ночного), головная боль, возможен резкий упадок сердечной деятельности, расстройства вегетативной нервной системы [3, 4]. По оценкам некоторых экспертов, например, [5, 6], экспозиция к данному уровню содержания озона увеличивает ежедневную смертность на 1–2 %.

Значение 100 мкг/м<sup>3</sup> за 8 часов отражает кумулятивность действия озона, что не делает максимально разовой за 20 мин ПДК, (160 мкг/м<sup>3</sup>), принятое в России (ГН 2.2.5.1313-03 от 15.06.2003]. Другой же стандарт – среднесуточное значение 30 мкг/м<sup>3</sup> – не является объективным (см., например, [7]), а в горных районах оказывается превышенным почти 100 процентов времени [8].

В работе использованы ежечасные данные наблюдений приземного озона станцией фоновое экологического мониторинга, расположенной в горном массиве Карадаг на юго-восточном побережье Крымского полуострова на высоте 180 м над уровнем моря.

Всего за три последних года в Крыму зафиксированы 98 озоновых эпизодов с концентрацией больше  $100 \text{ мкг/м}^3$ . Из них каждый третий имел длительность 8 часов и более. В 2021 г. наблюдались пять озоновых эпизодов длительностью более 16 часов. Распределение длительностей озоновых эпизодов представлено гистограммой (рисунок 2).

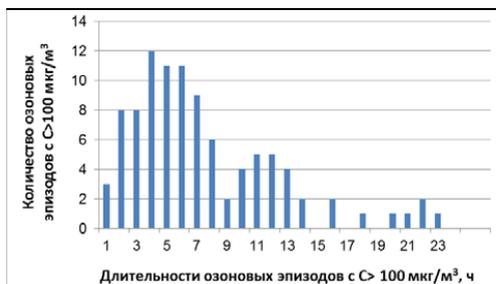


Рисунок 2 – Гистограмма длительностей эпизодов озона с концентрацией больше  $100 \text{ мкг/м}^3$

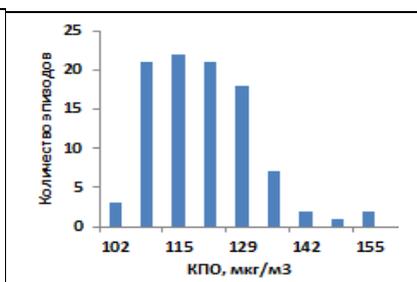


Рисунок 3 – Гистограмма концентраций озона в течение 98-ми эпизодов

Наблюдались несколько озоновых эпизодов с длительностью около суток, т.е. в ночное время при отсутствии солнечного света разрушения озона не происходило или компенсировалось его приходом. Каждый четвертый эпизод начинался в ночное время.

КПО во время озоновых эпизодов наиболее часто принимала значения в интервале  $109\text{-}130 \text{ мкг/м}^3$  (рисунок 3), в двух эпизодах концентрация достигла  $156 \text{ мкг/м}^3$ .

Заметна сезонная изменчивость в количестве и длительности озоновых эпизодов. Больше всего их происходило с апреля по август, осенью и в зимнее время проблема превышения озонем нормативов ВОЗ в горном районе Крыма не актуальна.

Как показывает анализ метеорологических данных, все озоновые эпизоды наблюдались при пониженном атмосферном давлении менее  $1000 \text{ гПа}$  и продолжающимся понижении. Причем чем больше был градиент давления, тем продолжительнее озоновый эпизод (рисунок 4).

Традиционно необходимым условием аномалий КПО считается высокая температура, однако по выполненному исследованию около половины всех озоновых эпизодов наблюдались при температуре ниже  $27^\circ\text{C}$ . В Крыму при влажности воздуха больше  $80\%$  озоновые эпизоды практически не наблюдались.

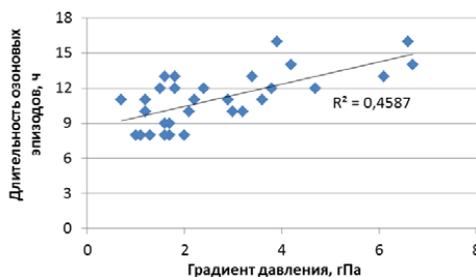


Рисунок 4 – Длительность - градиент давления

На рисунке 5 представлены розы ветров, построенные по двум массивам значений: во время озоновых эпизодов и в отсутствии их. Заметно, что озоновые эпизоды наблюдаются при южном ветре.

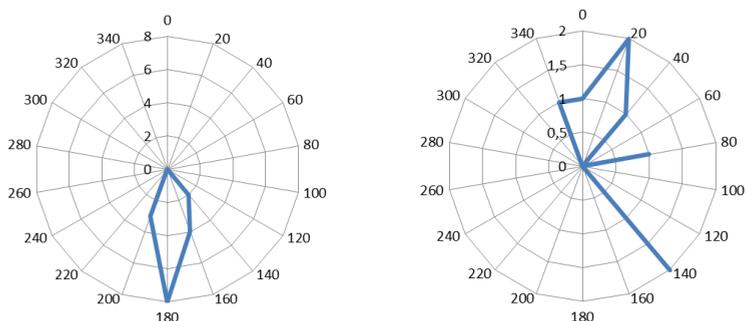


Рисунок 5 - Розы ветров во время озоновых эпизодов и в отсутствии их

Таким образом, по данным за период 2019 – 2022 гг. в Крыму зафиксировано 98 эпизодов, когда КПО превышала уровень  $100 \text{ мкг/м}^3$ . Из них 30% имели длительность более 8 часов. Все эпизоды происходили на фоне низкого (наиболее часто 993 гПа) и понижающегося (с градиентом 0,7-2,2 гПа/час) атмосферного давления, южном ветре и влажности менее 80% (наиболее часто 48-73%).

Загрязнение воздуха приземным озоном в течение многих часов является неблагоприятной ситуацией, которая требует дальнейшего исследования, особенно в курортно-туристических районах, традиционно используемых для отдыха и лечения населения.

#### Список литературы

1. Борисов Д.В., Шальгина И.Ю., Лезина Е.А. Исследование сезонной и суточной изменчивости концентраций приземного озона // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2020. – № 3 (377). – С. 122-135.
2. Monks P. S. et al. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer // Atmos. Chem. Phys. 2015. V. 15. P. 8889—8973.
3. Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики, 2017 г. - 80 с.
4. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Шальгина И.Ю. и др. Актуальность наблюдений и прогноза приземного озона в России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2018. – Т. 29. – № 1. – С. 89-106.
5. Пивоваров В.Г., Горбунов Р.В., Сальников А.И. О необходимости создания системы мониторинга приземного озона в Крыму // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 3. – С. 69-76.
6. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Приземный озон в Крыму // Пространство и время. – 2014. – № 2 (16), С. 254 – 257.
7. Демин В.И., Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. О действующих в Российской Федерации нормативах по содержанию озона в атмосферном воздухе // Экология человека. – 2009. – № 1. – С. 4 – 8.
8. Лапченко В.А., Симакина Т.Е., Крюкова С.В. Приземный озон в непромышленных районах Санкт-Петербурга и Крыма. // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - Природного заповедника РАН. – 2022. – № 2 (22). – С. 53-61.

## ДИПОЛЬНАЯ СТРУКТУРА МЕРИДИОНАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА И ВЛАГИ ЧЕРЕЗ ПАРАЛЛЕЛЬ 70°С.Ш.

Латонин М.М.<sup>1,2</sup>, Башмачников И.Л.<sup>1,2</sup>, Бобылев Л.П.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени

Нансена, Санкт-Петербург

*m.m.latonin@spbu.ru*

*Аннотация.* В этой работе изучаются крупномасштабные особенности меридиональных атмосферных потоков явного и скрытого тепла в тропосфере на входе в Арктику.

*Ключевые слова.* Арктика, потоки тепла и влаги, атмосферная циркуляция, регионализация, изменчивость, противофазность, Восточное полушарие, Западное полушарие.

## DIPOLE STRUCTURE OF MERIDIONAL ATMOSPHERIC HEAT AND MOISTURE TRANSPORT ACROSS 70°N

Latonin M.M.<sup>1,2</sup>, Bashmachnikov I.L.<sup>1,2</sup>, Bobylev L.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, Saint Petersburg

*Annotation.* This work studies large-scale features of meridional atmospheric sensible and latent heat transport in the troposphere at the entrance to the Arctic.

*Keywords.* the Arctic, heat and moisture transport, atmospheric circulation, regionalization, variability, anti-phase pattern, Eastern Hemisphere, Western Hemisphere.

Меридиональный перенос тепла и влаги атмосферной циркуляцией оказывает значительное влияние на климат Арктики. Однако несмотря на многочисленные исследования, остаются нерешёнными задачи крупномасштабной регионализации компонентов атмосферного переноса тепла.

В этом исследовании по данным климатического реанализа ERA5 были рассчитаны меридиональные интегральные потоки явного тепла и скрытого тепла (влаги) во всей толще тропосферы через параллель 70°с.ш. Разложение временных рядов потоков тепла, как функций долготы, высоты и времени на эмпирические ортогональные функции показало, что в Западном полушарии преобладает изменчивость переноса явного тепла, а в Восточном полушарии – изменчивость переноса скрытого тепла (рисунок 1).

Более того, за весь исследуемый период 1950–2019 гг. обнаружено существование противофазной структуры между полушариями для потоков тепла и влаги во всей тропосфере (рисунок 2).

Мы предполагаем, что существует крупномасштабная конвергенция переноса влаги в Арктику в Восточном полушарии. Это может быть связано с совместным влиянием преобладающих траекторий внетропических циклонов из Северной Атлантики и северной части Тихого океана и сибирских атмосферных рек [1].

Публикация выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГУ № 93016972.

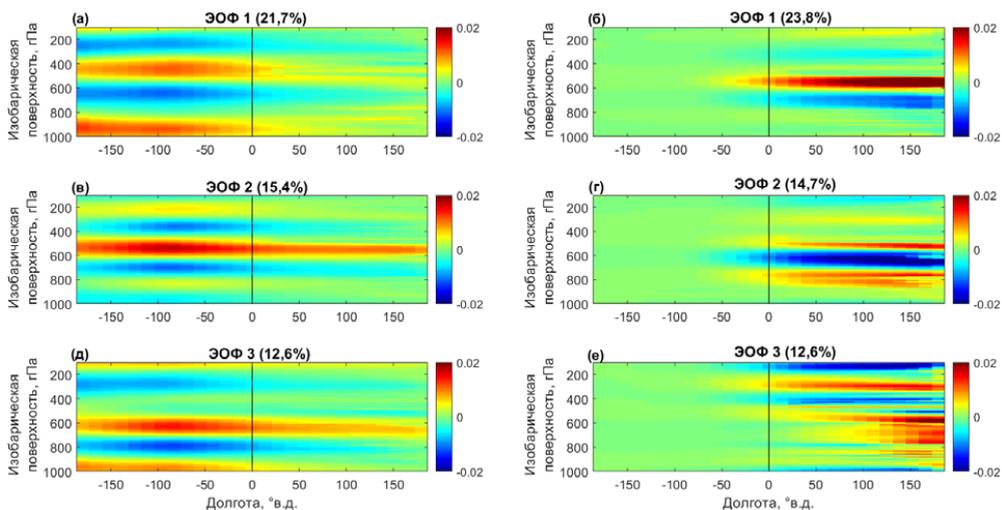


Рисунок 1 – Эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) атмосферных переносов явного (слева) и скрытого (справа) тепла (АПЯТ и АПСТ). (а) Первая ЭОФ для АПЯТ (21,7%), (б) Первая ЭОФ для АПСТ (23,8%), (в) Вторая ЭОФ для АПЯТ (15,4%), (г) Вторая ЭОФ для АПСТ (14,7%), (д) Третья ЭОФ для АПЯТ (12,6%), (е) Третья ЭОФ для АПСТ (12,6%). Опорные линии проведены через нулевой меридиан 0°. Значения в скобках – это доли дисперсии, объяснённые каждой модой изменчивости

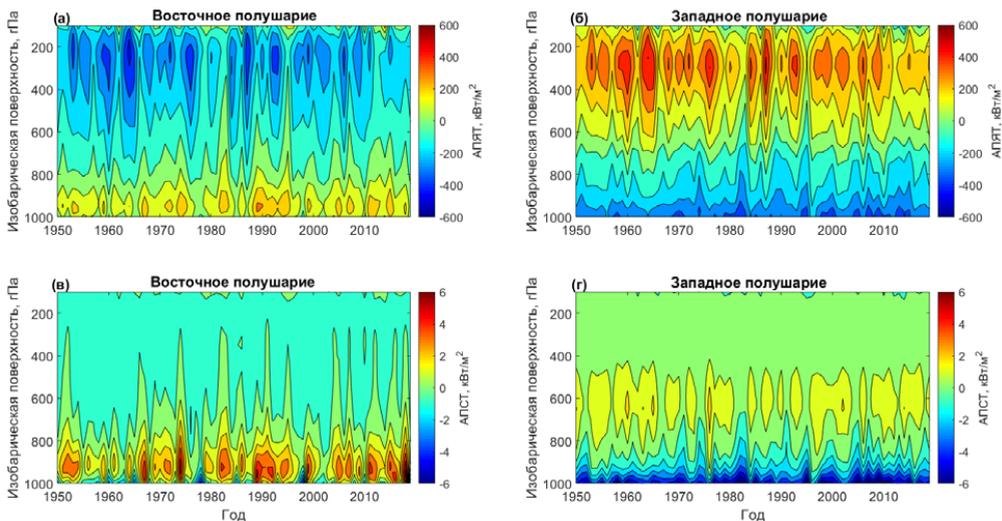


Рисунок 2 – Вертикальные разрезы компонентов атмосферного переноса тепла ( $\text{кВт}/\text{м}^2$ ), их межгодовая изменчивость и противофазность между полушариями. (а) Среднегодовой перенос явного тепла (АПЯТ) в Восточном полушарии ( $0^\circ$ – $179,75^\circ$  в.д.), (б) Среднегодовой перенос явного тепла (АПЯТ) в Западном полушарии ( $180^\circ$ – $0,25^\circ$  з.д.), (в) Среднегодовой перенос скрытого тепла (АПСТ) в Восточном полушарии ( $0^\circ$ – $179,75^\circ$  в.д.), (г) Среднегодовой перенос скрытого тепла (АПСТ) в Западном полушарии ( $180^\circ$ – $0,25^\circ$  з.д.). Положительные значения указывают на перенос тепла на север.

### Список литературы

1. Latonin, M.M., Bobylev, L.P., Bashmachnikov, I.L., Davy, R. Dipole pattern of meridional atmospheric internal energy transport across the Arctic gate, 2022 – V. 12, 2363. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06371-9>.

### СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОНГОЛЬСКИХ ЦИКЛОНОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ИРКУТСК

Латышева И.В., Лощенко К.А., Обухова М.Н.  
Иркутский государственный университет, Иркутск  
[ababab1967@mail.ru](mailto:ababab1967@mail.ru)

*Аннотация.* Статья посвящена проблеме слабой изученности современных характеристик монгольских циклонов и их влияния на взлет и посадку воздушных судов в районе аэродрома Иркутск.

*Ключевые слова.* Монгольские циклоны, типизация, циклогенез, траектория, глубина циклона, опасные явления, аэродром Иркутск.

### CURRENT CHARACTERISTICS OF THE MONGOLIAN CYCLONES AND THEIR IMPACT ON FLIGHT SAFETY IN THE IRKUTSK AERODROME AREA

Latysheva I.V., Loschenko K.A., Obukhova M.N.  
Irkutsk State University, Irkutsk

*Annotation.* The article is devoted to the problem of poor knowledge of the modern characteristics of the Mongolian cyclones and their influence on the takeoff and landing of aircraft in the area of the Irkutsk airfield.

*Keywords.* Mongolian cyclones, typification, cyclogenesis, trajectory, cyclone depth, hazardous phenomena, Irkutsk airfield.

Циклоны являются основным поставщиком влаги для территории Иркутской области. В наибольшей степени это южные циклоны, которые образуются над Монголией, Прикаспийской низменностью, Аральским морем и Казахстаном [1]. Объект исследования - монгольские циклоны формируются под передней частью глубокой меридиональной тропосферной ложбины, распространяющейся западнее Урала южнее 50-ой параллели. Бухаловой Л.Н. [2] по характеру траекторий смещения монгольские циклоны, смещающиеся на Прибайкалье и Забайкалье, удалось разделить на два типа. Первый тип характеризуется тем, что за сутки до смещения монгольских циклонов ось высотной ложбины проходит вдоль меридиана  $90^\circ$  в.д. и достигает  $50^\circ$  с.ш. При втором типе синоптических процессов ось высотной ложбины проходит восточнее ( $110-115^\circ$  в.д.), адвекция холода более выражена и распространяется южнее. Как правило, наблюдается выход одного южного циклона и с ним на территории Иркутской области часто связаны резкие изменения погоды: зимой и осенью - снегопады, сильные ветры, метели, продолжительные туманы, летом – интенсивные дожди, низкая облачность, грозы. Сравнительно редкая сеть метеорологических станций на юге Сибири и в Монголии затрудняет прогнозирование выхода этих циклонов на территорию Иркутской области.

Целью данного исследования явилось изучение характеристик монгольских циклонов, которые оказывали влияние на пилотирование воздушных судов на аэродроме Иркутск в 2010-2020 гг. для выделения прогностических признаков их образования. Основные методы исследования – синоптический анализ приземных и высотных карт погоды и статистический анализ метеорологических величин на аэродроме Иркутск по архивным данным гр5.

Таблица 1 – Число случаев монгольских циклонов в 2010-2020 гг.

Месяц	Годы											Всего
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
январь	1	1			2							4
февраль	1	1			2				2		1	7
март			2	3	2	1	2		2	1	1	14
апрель		1	2		1	1			2	3	2	12
май	2	4	4	2	1	2	2	2	5	2	4	30
июнь	3		1	3	1	1	3	1	3	4	4	24
июль	2	2	2	1	1	3	2	1	1	1	4	20
август	4	1	2	3	3	1	2	2	1	1	5	25
сентябрь	3	2	1	2	2	2	1	3	4		3	23
октябрь		1	4	1	1	1	1		3	2	4	18
ноябрь		1	3			1			1	3		9
декабрь	1									1		2
Сумма	17	14	21	15	16	13	13	9	24	18	28	188

Отмечается увеличение числа случаев образования монгольских циклонов в 2018-2020 гг. (89), из которых 40% случаев приходится на весенние месяцы. Причем основной максимум из них (5) приходится на май 2018 г., когда происходило усиление циклонической деятельности вдоль арктической и полярной ветвей высотной фронтальной зоны на территории Северного полушария (рисунок 1а). Кроме того, благоприятные условия для образования монгольских циклонов складывались под передней частью высотной ложбины циклона с центром над Таймыром (рисунок 1б).

Согласно выполненному исследованию за 2010-2020 гг. на приземной карте погоды отмечалось 188 случаев с монгольскими циклонами, которые оказывали влияние на погодные условия в районе аэродрома Иркутск (таблица 1). Чаще всего монгольские циклоны формировались в теплый период года (май-сентябрь). В межгодовой динамике максимум числа случаев (21-29) приходится на 2012, 2018 и 2020 годы, минимум (9) отмечался в 2017 году.

В работе выполнена типизация районов образования монгольских циклонов, которые оказывали влияние на погодные условия аэродрома Иркутск в 2010-2020 гг. Выделено четыре региона образования: I - центральный (45-48° с.ш., 101-108° в.д.); II - восточный (45-50° с.ш., 108-117° в.д.); III – северный (48-50° с.ш., 101-108 в.д.); IV – южный (41-46° с.ш., 101-105 в.д.) (рисунок 2). Монгольские циклоны в большинстве случаев смещались на восток и северо-восток, достигая побережья Тихого океана, где объединялись с дальневосточными циклонами и регенерировали в более северных широтах вдоль южной периферии высотной ложбины, охватывающей значительную территорию Сибири и Дальнего Востока. Выявлены случаи, когда монгольский циклон смещался на Забайкалье, где стационарировал 1-2 суток и заполнялся, не получая дальнейшего развития из-за отсутствия адвективно-динамических факторов развития циклогенеза в тропосфере либо смещался строго в широтном направлении на восток и, достигая Японии, заполнялся. Скорость смещения монгольских циклонов изменялась от 18 до 65 км/ч и в среднем составила 40 км/ч. В сезонном отношении прослеживается уменьшение скорости смещения в

летние месяцы (в среднем до 25-30 км/ч) и увеличение в переходные сезоны года (в среднем до 55-60 км/ч). Время существования монгольских циклонов варьировало от 2 до 8 суток и более. Наиболее глубокие монгольские циклоны отмечались в теплое полугодие (в среднем 990 гПа весной и 991 гПа летом), наименее глубокие в холодный период (в среднем 995 гПа осенью и 997 гПа зимой).

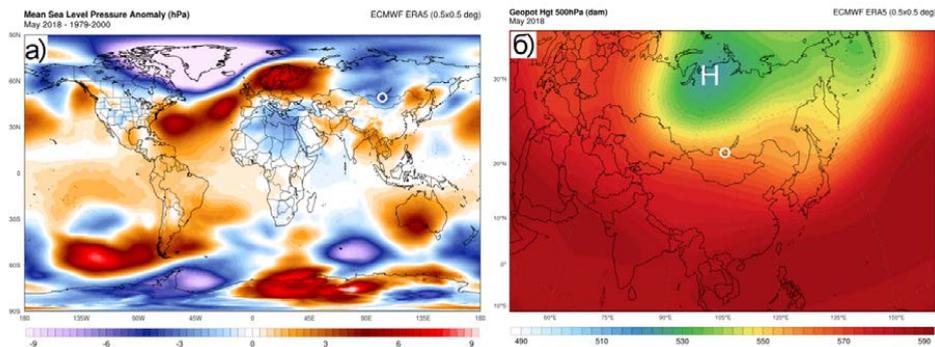


Рисунок 1 – Карта аномалий приземного давления (а) и высоты геопотенциальной поверхности AT-500 гПа (б) в мае 2018 г. по данным Реанализа ERA5 (аэродром Иркутск показан точкой)

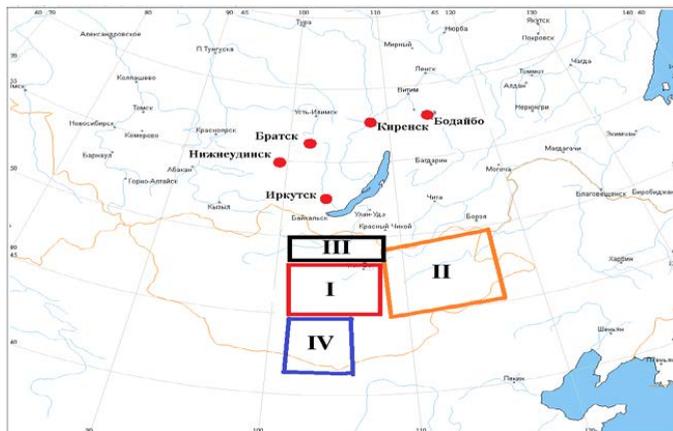


Рисунок 2 – Карта регионов зарождения монгольских циклонов в 2010-2020 гг.

Аэродром Иркутск ( $52^{\circ}16'02''$  с.ш.,  $104^{\circ}23'04''$  в.д.) расположен на правом берегу р. Ангары, на юго-восточной окраине г. Иркутска в 8-ми километрах от центра. Абсолютная высота аэродрома составляет 514 м. В орографическом отношении местность представляет собой расчлененный р. Ангарой (долина направлена с юго-востока на северо-запад) и впадающими в нее притоками (р. Иркут и р. Ушаковка) рельеф с узкими водоразделами, пологими склонами и наличием хорошо разработанных речных долин. Плоские и округлые вершины междуречий имеют высоту 480-520 м, поднимаясь относительно дна долин на 60-100 м.

В работе выполнен анализ погодных условий, наблюдаемых в разных частях монгольских циклонов, которые оказывали влияние на погодные условия аэродрома Иркутск в 2018-2020 гг. Выявлено, что наиболее сложные погодные условия чаще отмечались в

тыловой части монгольских циклонов (89 случаев) и на их северной периферии (58 случаев). Это такие опасные явления для авиации, как усиление ветра  $>15$  м/с, понижение высоты нижней границы облаков до градаций  $<200$  м, сильные осадки с ухудшением горизонтальной дальности видимости на аэродроме до градаций  $<1$  км либо сочетание указанных метеорологических величин (таблица 2).

Таблица 2 - Сложные погодные условия на аэродроме Иркутск в различных частях монгольских циклонов в 2018-2020 гг.

Опасное явление погоды	Часть циклона					Всего
	Северная периферия	Центр	Передняя часть	Тыл	Северо-западная часть	
Ветер $\geq 15$ м/с	6			26	6	38
Умеренные осадки (видимость 1-2 км)	5	2	1	4	1	13
Сильные осадки (видимость $<1$ км)	7			8		15
Гроза	6	2	1	7	1	17
Туман	5	1		1	1	8
Низкие облака (ВНГО $<200$ м)	14	6		20	7	47
Сильный ветер и сильные осадки	2			11	1	14
Гроза с сильным ветром	2			2		4
Сильный ветер и низкие облака	3			2	1	6
Сильные осадки и низкие облака	8		2	8		18
Всего случаев	58	11	4	89	18	180

При прохождении передней части монгольского циклона с адвекцией теплого воздуха в районе аэродрома Иркутск наиболее вероятно формирование таких опасных явлений, как низкие облака, сопровождаемые сильными и умеренными осадками, также возможны грозы. В тыловой части монгольских циклонов на аэродроме Иркутск в холодной неустойчиво стратифицированной воздушной массе отмечается наибольшее число опасных явлений для авиации по сравнению с другими частями монгольских циклонов. Чаще всего в тыловой части можно ожидать сильный ветер и низкие облака. При прохождении центра циклона на аэродроме чаще отмечались низкие облака. Наряду с тыловой частью циклона по числу случаев с опасными явлениями для взлета и посадки воздушных судов следует отметить северную периферию монгольских циклонов, где наибольший вклад в ухудшение условий пилотирования воздушных судов на аэродроме Иркутск вносят такие погодные явления, как низкие облака, они же чаще отмечаются и на северной периферии циклона. Грозы, как одно из наиболее опасных явлений погоды, чаще следует ожидать в тыловой части и на северной периферии циклона в зоне активной адвекции холода на высотах, а ухудшение видимости в тумане на северной периферии циклона. Случаи, когда при прохождении монгольских циклонов через аэродром Иркутск не наблюдались опасные явления погоды (8 случаев в 2018 году и 9 случаев в 2019 году) отмечались при господствующем влиянии на высоте ведущего потока (АТ-700 гПа) зонального переноса воздушных масс.

## Список литературы

1. Астафьева Н.В., Латышева И.В. Синоптические условия смещения монгольских циклонов на южные районы Иркутской области в 2009-2016 гг. Вестник Иркутского университета. №21. 2018. – С.28-29.
2. Бухалова Л.Н. Выход южных циклонов на Забайкалье Труды ДВНИГМИ. Вып. 7. 1959, - 156 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ И БУДУЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Лобанов В.А., Окуличева А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*va\_lobanov56@mail.ru*

*Аннотация.* Проведен анализ современных изменений среднемесячных температур воздуха и осадков, а также опасных и прикладных характеристик, таких как максимальная скорость ветра, максимальные суточные осадки, максимальные расходы воды, суммы активных температур и осадки за вегетационный период на метеостанциях Ленинградской области. Получены показатели нестационарных моделей и их пространственные распределения. Для оценки будущего климата осуществлен выбор наиболее эффективной климатической модели и по разработанной методике проведена корректировка сценарных значений. Получены пространственные распределения сценарных температур воздуха и осадков и сопоставлены с современными.

*Ключевые слова.* Ленинградская область, изменение климатических и опасных природных характеристик, пространственно-временные закономерности, оценка будущего климата, сценарии.

## CURRENT AND FUTURE CLIMATE CHANGE OF LENINGRAD REGION

Lobanov V.A., Okulichева A.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* An analysis was made of modern changes in average monthly air temperatures and precipitation, as well as dangerous and applied characteristics, such as maximum wind speed, maximum daily precipitation, maximum water discharges, sums of active temperatures and precipitation during the growing season at meteorological stations in the Leningrad Region. The indicators of non-stationary models and their spatial distributions are obtained. To assess the future climate, the most effective mathematical climate model was selected and the scenario values were adjusted according to the developed methodology. Spatial distributions of scenario air temperatures and precipitation are obtained and compared with modern ones.

*Keywords.* Leningrad region, changes in climatic and natural hazards, spatial and temporal patterns, assessment of the future climate, scenarios.

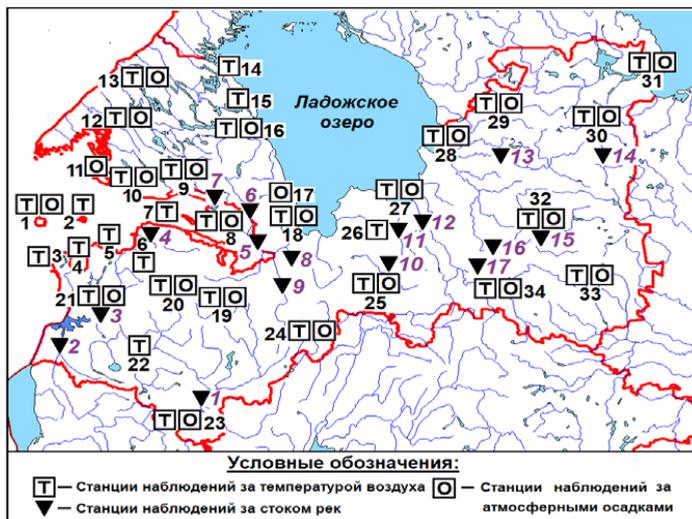
Рассматривается два вида климатических характеристик: базовые в виде среднемесячных температур воздуха и сумм осадков и экстремальные и прикладные, к которым относятся:

- максимальные в году срочные расходы воды, формирующиеся в данном регионе в период весеннего половодья;
- максимальные в году осадки, выпадающие в августе и формирующие ливневой сток;
- максимальная скорость ветра;
- суммы активных температур за вегетационный период (САТ) и соответствующие им суммы осадков и рассчитываемый на их основе гидротермический коэффициент Селянинова.

В связи с тем, что интенсивность снеготаяния, определяющая величину максимального расхода, зависит в основном от температуры воздуха, рассматривается также такой климатический фактор как средняя температура воздуха в апреле, как основного месяца подъема половодья. Оценка современных климатических изменений максимальных

расходов воды и максимальных суточных осадков актуальна для безопасности промышленности области, т.к. максимальные расходы половодья приводят к затоплению территорий, а максимальные летние осадки к повышению ливневого стока на урбанизированных территориях. Оценка изменений САТ и сумм осадков за вегетационный период определяет урожайность сельхозкультур

Для проведения исследований сформированы региональные базы данных многолетних рядов наблюдений продолжительностью более 40 лет с последним годом наблюдений от 2019г. до 2022 г. по максимальным в году расходам воды в 17 пунктах наблюдений, по максимальным суточным расходам августа в 23 пунктах наблюдений и по среднемесячным температурам воздуха апреля в 35 метеостанциях. Расположение пунктов наблюдений за рассматриваемыми характеристиками приведено на рисунок 1



*Рисунок 1 – Схема размещения пунктов наблюдений за максимальными в году расходами воды (треугольники), среднемесячными температурами апреля (кружки) и максимальными суточными осадками августа (квадраты) по территории Ленинградской области*

Методика оценки влияния современного изменения климата на региональные гидрометеорологические характеристики разработана и успешно применена в работах [1-4] и включает в себя:

- оценку качества информации, однородности экстремумов, стационарности параметров, восстановление пропусков наблюдений и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду [5-7];
- аппроксимацию многолетних временных рядов моделями тренда и ступенчатых изменений и оценку их эффективности и устойчивости показателей нестационарности;
- количественную оценку климатических изменений и построение их пространственных изменений, как в единицах измерений, так и в долях от естественной изменчивости.

Прежде всего, был проведен анализ изменений климатического фона в период подъема весеннего половодья, представленный средней температурой апреля. В связи с тем, рассматривались изменения за последнее время, начало рядов наблюдений было ограничено 1940-1950-ми годами.

В работе [8] установлено, что ступенчатый подъем среднемесячных температур, особенно весной, относится к концу 1980х годов и обусловлен резким увеличением интенсивности индекса Северо - Атлантического колебания (САК) и усилением зональной

западной атмосферной циркуляции. В связи с этим многолетние ряды средних температур апреля были разделены на две части: с начала ряда по 1987 г. и с 1988 г. по 2022 г. Проведенная статистическая оценка стационарности средних значений за эти два периода по критерию Стьюдента [9] показала, что для всех случаев гипотеза статистического равенства средних отклоняется при уровне значимости  $\alpha=5\%$ , а в 62% случаях даже и при  $\alpha=1\%$ , и среднее значение второй части ряда всегда больше, чем первой.

Пространственные распределения разностей средних значений  $\Delta T$  в  $^{\circ}\text{C}$  и в долях от СКО (среднего квадратического отклонения, характеризующего естественную изменчивость)  $\Delta T/\text{СКО}$  приведены на рис. 2.

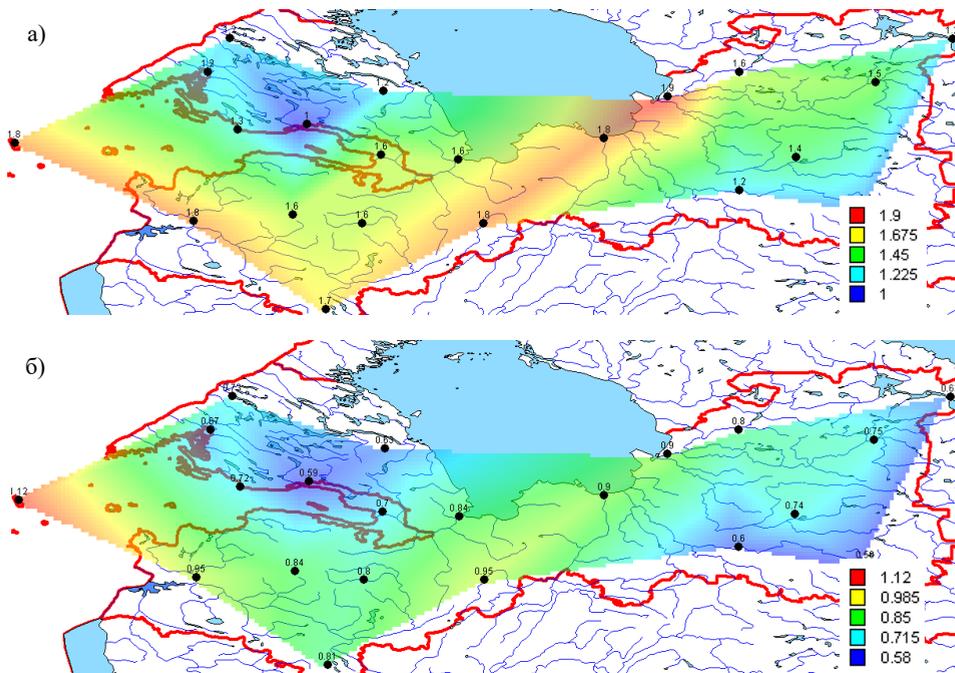


Рисунок 2 – Пространственные распределения разностей средних температур воздуха апреля  $\Delta T$  (а) и разностей в долях СКО:  $\Delta T/\text{СКО}$  (б)

Из анализа рисунка 2а следует, что по территории Ленинградской области средние многолетние значения температур воздуха апреля увеличились от 1,0-1,2 $^{\circ}\text{C}$  на северо-западе (Рошино, Выборг, Сосново) и востоке (Тихвин) до 1,8-1,9  $^{\circ}\text{C}$  на западе (Гогланд, Кингисепп) и в центре (Свирица, Новая Ладога, Любань). Вместе с тем только в одном случае (остров Гогланд) этот прирост среднего превысил естественную изменчивость (рис.2б) и приближается к ней при  $\Delta T/\text{СКО}=0,8-0,9$  в западных и центральных частях области.

Анализ многолетних рядов максимальных расходов воды весеннего половодья показал, что изменение климата пока практически не них проявляется и ряды можно считать стационарными. Для многолетних рядов максимальных в году суточных осадков, которые относятся к августу, были определены показатели нестационарности и рассчитаны разности средних осадков двух квазистационарных периодов  $\Delta X$ , а также отношение этих разностей к СКО и их пространственные распределения. Получено, что в северной части Ленинградской области максимальные осадки уменьшаются почти до 14 мм (Выборг), а в остальной части – растут (до 10, 6 мм в Тихвине). В среднем это изменение не большое и составляет 4-6 мм, но если рассматривать по отношению к среднему многолетнему значению максимальных осадков, которое по области варьирует от 21 мм до 24 мм, то эти изменения составляют 17-

28%. Вместе с тем, по отношению к естественной изменчивости только в одном случае (метеостанция Лесогорский) изменения несколько превышают СКО (1,1). В большинстве же случаев изменения средних осадков не превышают даже 0,5 СКО. Поэтому можно сделать вывод, что максимальные летние осадки, хотя и изменяются, но пока также, как и для максимальных расходов воды, эти изменения не превышают естественную изменчивость. Однако, интересно отметить, что на территории Ленинградской области максимальные осадки в основном увеличились, однако на севере области имело место их уменьшение. Также было установлено, что максимальные скорости ветра уменьшаются, а суммы активных температур увеличиваются также, как и осадки за вегетационный период.

Для оценки будущего климата были использованы результаты сценарных оценок по 10 физико-математическим моделям климата: CCCMA (CanESM2 канадский центр моделирования и анализа климата), NCAR (CCSM4 национальный центр атмосферных исследований США), CNRM (центр метеорологических национальных исследований Франции), CSIRO (центр атмосферных исследований Австралии), Hadley (Хэдли центр прогноза климата, Великобритания), INM (институт вычислительной математики РАН, Россия), IPSL (французская модель центра Лапласа), MIROC (японская модель), MPI (метеорологический институт Макса Планка, Германия) и BCC (пекинский климатический центр, Китай). Рассматривались сценарии RCP со стабилизацией общего антропогенного воздействия в 2100 году на уровнях: 2.6, 4.5 и 8.5 Вт/м<sup>2</sup>. Прежде всего, из 10 рассматриваемых была выбрана наиболее подходящая для Ленинградской области модель климата на основе сравнения данных исторического эксперимента и данных наблюдений по метеорологическим станциям. Критерием наилучшей модели принята минимальная разность средняя по всем метеостанциям в районе  $\Delta_{\text{ср}}$  между наблюдаемыми и смоделированными средними за два интервала времени: 1951–1980 гг. и 1981–2010 гг. В связи с тем, что модели климата не учитывают локальные условия и влияние азональных факторов, имеют место систематические погрешности, которые надо учитывать и в будущих сценарных оценках. Поэтому была разработана методика совместного применения установленных закономерностей современных и будущих изменений на основе, как данных наблюдений, так и сценарных оценок за 3 периода времени в будущем: 2011–2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. с учетом корректировки сценарных значений.

Для оценки эффективности результатов моделирования были выбраны 18 метеостанций на территории Ленинградской области с рядами наблюдений за среднемесячной температурой воздуха с 1951 г. по 2005 г. Получено, что в среднем для всех месяцев и всех пунктов наблюдений наиболее эффективной с погрешностью  $\Delta T=0,6^\circ$  является климатическая модель MPI и следующая по эффективности — модель CanESM2 с  $\Delta T=1,1^\circ$ . Близка к ним по эффективности также и модель Miroc с  $\Delta T=1,2^\circ\text{C}$ . Вместе с тем следует отметить, что модель CanESM2 эффективно только с сентября по апрель ( $\Delta T=0,2^\circ$ — $1,2^\circ\text{C}$ .) при среднем  $\Delta T=0,6^\circ$ , а в остальные месяцы года  $\Delta T=1,5^\circ$ — $2,4^\circ\text{C}$ . В то же время модель MPI наиболее эффективна в месяцы теплого полугодия. Поэтому для месяцев теплого полугодия с мая по октябрь в качестве наиболее эффективной для Ленинградской области следует считать климатическую модель MPI со средним  $\Delta T=0,3^\circ\text{C}$ , а для месяцев холодного периода года — климатическую модель CanESM2 с  $\Delta T=0,6^\circ\text{C}$ .

Для выбранных эффективных моделей климата были получены среднемесячные температуры трех сценариев RCP до конца 21 века: 2.6, 4.5 и 8.5 Вт/м<sup>2</sup>, осредненные за три периода 2011–2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. для всех 18 метеостанций на территории Ленинградской области. В сценарные оценки внесены поправки, учитывающие современную и будущую тенденцию изменения температур воздуха. На основе откорректированных сценарных значений были построены пространственные распределения температур воздуха за 3 интервала времени в будущем и сопоставлены с современным пространственным распределением. В качестве примера на рис.3 приведены пространственные распределения температур апреля, которые характеризуют интенсивность весеннего половодья на реках Ленинградской области, за 4 разных 30-летних интервала

времени: современный (1981–2010 гг.) и 3 будущих 2011–2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. Из рис.3 следует, что температуры апреля в середине 1990х годов по Ленинградской области изменялись от 2,4 до 5,0°C, а к 2025 г. средние температуры будут варьировать по области уже от 3,4 до 6,4°C, а в последней трети 21 века станут от 7,3 до 9,4°C, т.е. вырастут почти в 2 раза, что очень существенно для периода снеготаяния.

Для остальных сезонов года среднемесячные температуры воздуха по среднему сценарию RCP 4.5 и по соответствующей выбранной модели климата (CanESM2 и MPI) за оставшийся период 21 века вырастут в среднем на 2,2 – 2,6°C (январь), на 2,9 – 3,4°C (апрель), на 0,4 – 0,7°C (июль) и на 0,2 – 0,5°C (октябрь по Ленинградской области).

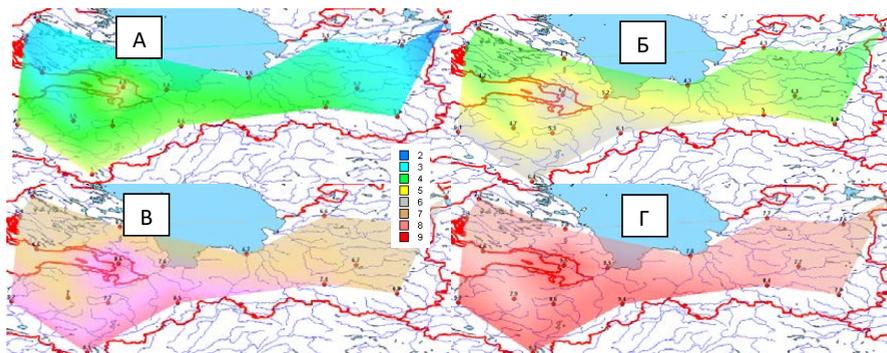


Рисунок 3 – Пространственные распределения температур апреля по Ленинградской области за разные периоды времени в настоящем и будущем: А – 1981–2010 гг., Б – 2011–2040 гг., В – 2041–2070 гг., Г – 2071–2100 гг. (модель CanESM2, сценарий RCP 4.5)

Для осадков августа получено, что в среднем по Ленинградской области за последние десятилетия осадки выросли на 13% при максимальном росте в 27,7% в Новой Ладогe, а за будущий период до конца 21 века по среднему сценарию RCP 4.5 осадки до середины века увеличатся на 10%, а затем к концу века уменьшатся на 9% при экстремальных изменениях от -19% до +15,5%. По сценарию RCP 2.6 осадки будут увеличиваться в среднем на 9% по всей области с максимальным ростом на 15,5% в Тихвине. По сценарию RCP 8.5 осадки будут уменьшаться в среднем на 6,5% по всей области с максимальным уменьшением на 11,2% в Озерках и Сосново.

#### Список литературы

1. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ. 2019. 157с.
2. Лобанов В.А., Наурызбаева Ж.К. Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 2021. 140 с.
3. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Кострома. 2013. 171 с.
4. Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. Монография. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ. 2018. 190 с.
5. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 78 с.
6. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 64 с.

7. Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России. // Метеорология и гидрология, №2, 2005. С.5-14.
8. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России. // Географический вестник, Пермский университет, 2016, №3(38). С.79—89.
9. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб, РГГМУ, 2008. 408 с.

## **СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5**

Ложкин Д.М.<sup>1</sup>, Шевченко Г.В.<sup>1,2</sup>, Цхай Ж.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск  
*dima-lm@rambler.ru*

*Аннотация.* Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Берингова моря исследовалась на основе данных реанализа ERA5 за период 1998–2020 гг. (пространственное разрешение данных четверть градуса, временной интервал один месяц) методом естественных ортогональных функций. Также в каждой пространственной ячейке для каждого месяца были рассчитаны средние многолетние значения данного параметра и коэффициенты линейного тренда, отражающие сезонные изменения термических условий на изучаемой акватории. Рассмотрены наиболее значительные отклонения от средних многолетних значений (аномалии) температуры поверхности моря.

*Ключевые слова.* спутниковые данные, аномалии температуры, линейный тренд, метод естественных ортогональных функций.

## **SEASONAL AND INTERANNUAL CHANGES IN SEA SURFACE TEMPERATURE OF BERING SEA FROM ERA5 REANALYSIS DATA**

Lozkin D.M.<sup>1</sup>, Shevchenko G.V.<sup>1,2</sup>, Tshay Zh.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

<sup>2</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk

*Abstract.* The spatial and temporal variability of the Bering Sea surface temperature was studied based on the ERA5 reanalysis data for the period 1998–2020 (spatial data resolution quarter of a degree, time interval one month) by the method of empirical orthogonal functions. In each spatial cell, for each month, the average long-term values of this parameter and linear trend coefficients were calculated, which showed seasonal changes in thermal conditions in the studied water area. The most significant deviations from the average long-term values (anomalies) are considered.

*Keywords:* satellite data, temperature anomalies, linear trend, empirical orthogonal functions.

На рисунке 1 приведены средние многолетние распределения температуры поверхности моря (ТПМ) для различных сезонов года – зимы (февраль), весны (май), лета (август) и осени (ноябрь). Зимой пространственное распределение ТПМ в Беринговом море характеризуется понижением значений от Алеутской островной дуги в направлении берега Азии, что, очевидно, отражает влияние залива более теплой океанской воды через проливы. В прилегающей к островам северо-западной части Тихого океана (СЗТО) температура

колеблется в достаточно узких пределах от 3,7 до 4,1°C и плавно уменьшается до 0°C вблизи Карагинского залива и участка побережья между мысами Наварин и Олоторский. Здесь выделяется узкая полоса с отрицательными температурами, формируется припай. Более обширная зона со значениями от -1,7 до -1,3°C выделяется в северной части моря. Здесь также наблюдаются обширные ледяные поля, но в данных реанализа в замерзающих районах обычно указывается температура замерзания морской воды.

Весной структура пространственного распределения ТПМ идентична наблюдавшейся в зимний период, только значения температуры несколько выше. В прилегающей части СЗТО температура воды колеблется от 5 до 5,7°C на восточной границе области, вблизи Алеутских островов уменьшается до 4,5°C и далее плавно снижается до 0,8°C вблизи берега. Самая холодная вода отмечена в западной части Анадырского залива (до -1,4°C).

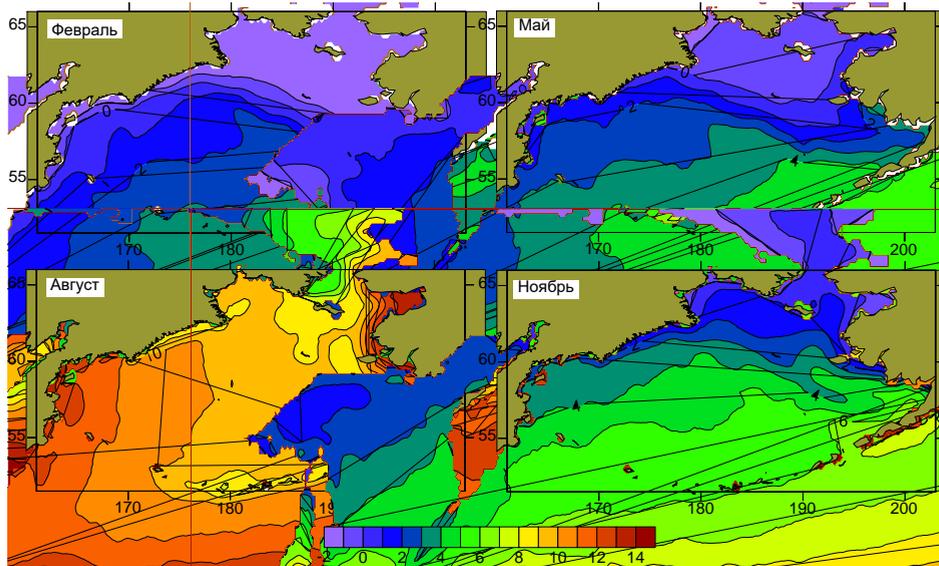


Рисунок 1 – Пространственное распределение ТПМ (°С) на акватории Берингова моря зимой (февраль), весной (май), летом (август) и осенью (ноябрь)

В период максимального прогрева поверхностного слоя в изучаемом бассейне в августе характер пространственного распределения отличается от зимне-весеннего. Наиболее теплая вода (12–13°C) отмечена на западе и на востоке рассматриваемой области, самые высокие значения около 13,5°C фиксировались в юго-западной части Карагинского залива и в заливе Нортон Саунд на Аляске. Самая холодная вода с температурой 5–7°C обнаружена на северном участке акватории моря, вблизи Берингова пролива и связана со стоком из Северного Ледовитого океана. Сравнительно холодная вода (8–9°C) наблюдалась вдоль Алеутской островной дуги. Наиболее вероятная причина ее формирования – приливное перемешивание вблизи проливов.

В ноябре пространственное распределение ТПМ вновь принимает характер, выявленный выше для зимы и весны. Вблизи Алеутских островов температура воды более 6°C (на восточном фланге гряды около 7°C), в прибрежной полосе вблизи побережья Азии колеблется от 1, до 2,5°C. В западной части Анадырского залива температура воды уже принимает отрицательные значения (около -0,4°C), как и в заливе Нортон Саунд на Аляске.

Очевидно, такой тип пространственного распределения ТПМ обусловлен влиянием адвекции более теплой воды из СЗТО и характерен для Берингова моря в период с ноября по май, когда роль солнечной радиации не является определяющей. В июле – сентябре характер пространственного распределения ТПМ иной, а в июне и октябре происходит перестройка от

одного типа к другому. В ноябре теплосодержание поверхностного слоя воды выше, чем в мае.

На рисунке 2 представлен ход ТПМ, усредненных для каждого месяца по всей площади Берингова моря. В колебаниях явно доминирует годовая гармоника со средней амплитудой  $4,5^{\circ}\text{C}$  и фазой  $221^{\circ}$ , это отвечает максимальным значениям в августе и минимальным в феврале, хотя чаще наблюдается минимум в марте, а иногда и в апреле. Вклад полугодовой составляющей существенно меньше, ее амплитуда составляет  $1,2^{\circ}\text{C}$ , а фаза равна  $63^{\circ}$ .

Амплитуда годовой гармоники максимальна на западном и восточном участках акватории моря, где летом наблюдается максимальный прогрев. Минимальные значения отмечены вблизи Берингова пролива и в особенности в районе Алеутских островов. Вариации амплитуды полугодовой гармоники незначительны. Вариации амплитуды годовой гармоники в разные годы сравнительно невелики, минимальное значение  $3,8^{\circ}\text{C}$  отмечено в 2001 г., а максимальное  $5^{\circ}\text{C}$  – в 2014 г. Это неожиданный результат, так как изменчивость летних максимумов существенна, она превышает  $3^{\circ}\text{C}$  (в их вариациях просматривается цикличность с периодом около 12 лет, на которую накладываются более слабые вариации с периодом около 3 лет). Наиболее теплые условия в летний период в масштабах моря наблюдались в 2004 и 2014 гг., наиболее холодным было лето 1999 г.

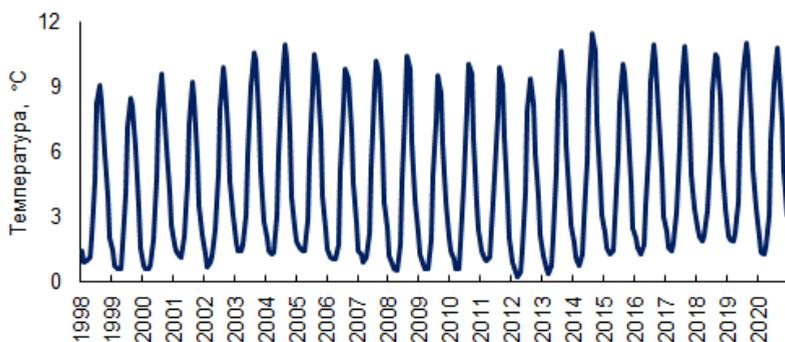


Рисунок 2 – График усредненных значений ТПМ Берингова моря за 1998–2020 гг.

Вариации зимних минимумов достаточно велики, в них также заметна роль 12-летнего цикла. Минимальные значения зимой во всех случаях были положительными, наиболее суровые зимние условия отмечены в марте 2012 и 2013 гг. ( $0,2$  и  $0,3^{\circ}\text{C}$ ), самые мягкие зимы наблюдались в 2003–2005 гг. (около  $1,4^{\circ}\text{C}$ ) и особенно в 2018 – 2019 гг. (около  $1,9^{\circ}\text{C}$ ).

В графике хода средних для всего моря значений ТПМ явно прослеживается положительный линейный тренд с коэффициентом  $0,0052^{\circ}\text{C}/\text{мес}$ , или примерно  $1^{\circ}\text{C}$  за 15 лет, что является высоким показателем. Это означает, что глобальное потепление явно выражено в повышении теплосодержания поверхностного слоя воды в Беринговом море, что согласуется с результатами работ [1–3]. Для выяснения характера этого влияния в различных районах моря в разные сезоны года, коэффициенты линейного тренда были рассчитаны методом наименьших квадратов в каждой пространственной ячейке для каждого месяца отдельно и посезонно (рисунок 3).

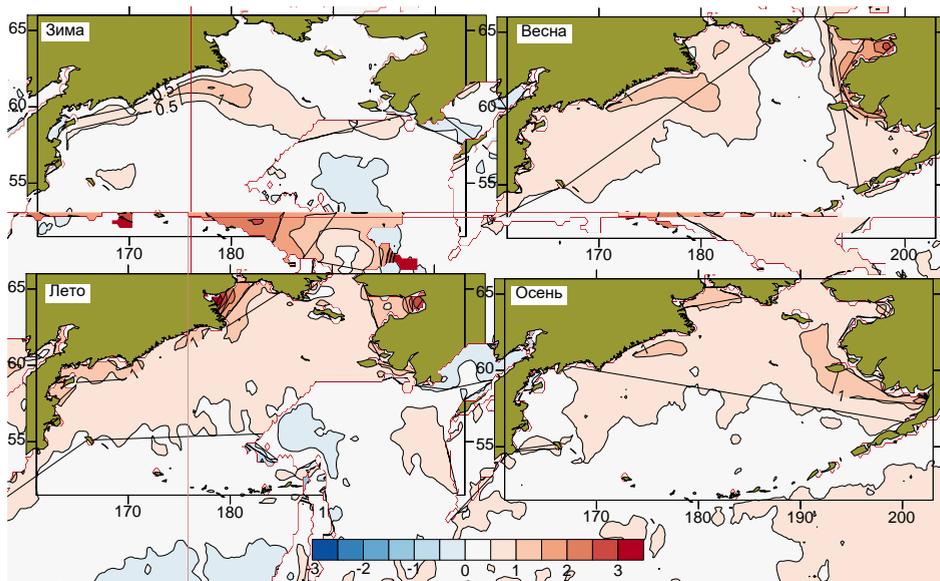


Рисунок 3 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда (в °С за 10 лет) на акватории Берингова моря зимой, весной, летом и осенью

Зимой на большей части Берингова моря коэффициенты линейного тренда положительные, но сравнительно невелики – от 0,05 до 0,2 °С/10 лет в северной части бассейна и от 0,2 до 0,4 °С/10 лет в южной. На этом фоне резко выделяется область к югу от м. Наварин, где рост ТПМ значителен – до 1,2°С/10 лет. Область с высокими скоростями роста вытянута от этого района в направлении п-ова Аляска. Также отметим два пятна с коэффициентами выше 0,5 – у Командорских островов и у Карагинского залива.

Весной тенденция к потеплению поверхностного слоя воды в Беринговом море выражена более явно. Область с высокими значениями коэффициента линейного тренда вблизи побережья Азии существенно расширилась в направлении открытого моря. Зона со значениями скорости роста выше 1°С/10 лет протянулась от м. Наварин на юг до м. Олюторский. Также увеличилась область на юго-востоке изучаемого района – от полуострова Аляска до острова Нунивак. Появляется и новый участок с тенденцией к потеплению, охватывающая залив Нортон Саунд и прилегающие к нему акватории.

Летом влияние глобального потепления достигает в Беринговом море своего максимума. Примерно на 75% его акватории значения коэффициента линейного тренда выше 0,5 °С/10 лет, а в западной части Анадырского залива и в вершине залива Нортон Саунд достигают максимальных 3°С/10 лет. Осенью картина пространственного распределения коэффициента линейного тренда не отличается существенно от наблюдавшейся летом, но его значения повсеместно уменьшаются.

Особенности сезонной и межгодовой изменчивости поля ТПМ исследовались также методом разложения последовательности временных слоев по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) [4]. На рисунке 4 представлены временные функции двух основных мод разложения (на 1-ю моду приходится 92,6% дисперсии изучаемого параметра, на 2-ю 5,3%, вклад более высоких мод незначителен), а на рисунке 5 приведены их пространственные распределения, которые полагались безразмерными.

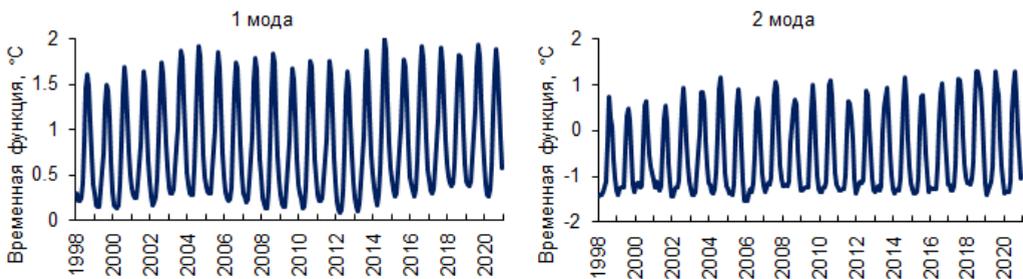


Рисунок 4 – График временных функций первых двух мод разложения ТПМ в Беринговом море по ЕОФ.

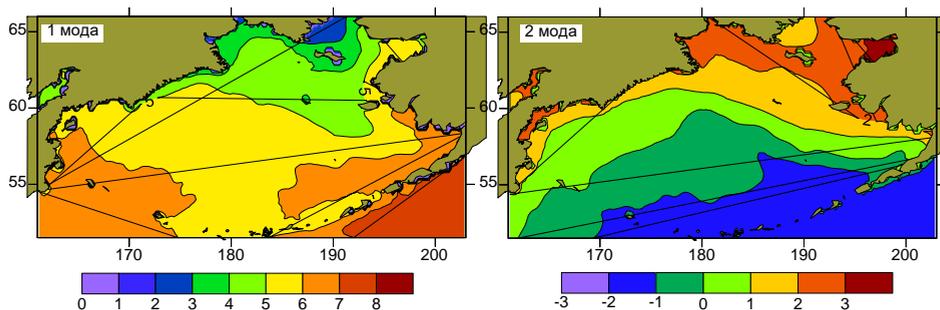


Рисунок 5 – Пространственное распределение первых двух мод разложения ТПМ по ЕОФ (безразмерное)

Вариации временной функции первой моды идентичны ходу усредненных значений ТПМ (коэффициент корреляции  $r=0,999$ ) и хорошо описываются комбинацией годовой и полугодовой гармоник с амплитудами  $0,8$  и  $0,2^{\circ}\text{C}$  соответственно. Все ее значения положительные, максимальные величины наблюдаются в августе и сентябре ( $1,78$  и  $1,66^{\circ}\text{C}$ ), минимальные в феврале–апреле ( $0,25$ ;  $0,22$  и  $0,25^{\circ}\text{C}$ ).

Максимальные значения пространственной функции (7–8) выявлены в СЗТО в районе, примыкающем к полуострову Аляска и островам восточного фланга Алеутской островной дуги. В экватории, примыкающей к этим участкам суши со стороны Берингова моря, значения моды немного ниже – от  $6,0$  до  $6,3$ . Такие же величины отмечены на юго-востоке изучаемого района, как со стороны моря, так и в океане. Наиболее низкие значения пространственной функции выявлены в районе Берингова пролива, а также в западной части Анадырского залива (от  $2$  до  $3$ ). На основной части Берингова моря эта функция меняется незначительно.

Вторая мода является поправкой к основной, отражающей несинфазные процессы в вариациях термических условий. Ее пространственная функция имеет узловую линию, которая разделяет море на две примерно равные части. Одну из них можно условно назвать прибрежной, она охватывает сравнительно мелководные районы в северной части Берингова моря. Максимальные положительные значения у побережья штата Аляска, в частности, в заливе Нортон Саунд (до  $3$ ), а также в районе устья реки Анадырь и в западной части Карагинского залива. Область с отрицательными значениями охватывает центральную часть моря и акваторию вблизи Алеутских островов. Именно вблизи них отмечены наибольшие по величине отрицательные значения моды (до  $-1,8$ ).

Временная функция второй моды также меняет знак. Она имеет положительные значения только в июле–сентябре (максимум в августе  $0,88$ ). Отрицательные значения отмечены с октября по июнь с минимумом в январе ( $-1,31$ ) Это означает, что вторая мода

обеспечивает летом положительную поправку в прибрежных районах моря и отрицательную вблизи Алеутских островов; в другие месяцы ее вклад имеет противоположный характер.

Особый интерес представляли значительные аномалии ТПМ. Для их идентификации использовалась методика [5], когда оценивалась доля площади акватории, в которой аномалия превышала удвоенную величину среднеквадратического отклонения. Более детально рассматривались ситуации, когда значительные аномалии превышали данное пороговое значение более чем на 20% от площади Берингова моря (или были близки к этому показателю). Такие ситуации были выявлены в августе 1999, январе 2000, июле 2001, феврале и октябре 2018, марте 2019 г. Эти примеры показывают, что экстремальные аномалии ТПМ периодически формируются на акватории Берингова моря и могут охватывать значительные районы. Резкие отклонения термических условий от обычных могут представлять существенную угрозу для условий обитания, в том числе промысловых видов рыб.

### Список литературы

1. *Overland J.E.* Is the climate of Bering Sea warming and affecting the ecosystem? //EOS. 2004. Vol. 85, No. 33. P. 309–316.
2. *Хен Г. В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л.* Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувековой изменчивости // Известия ТИНРО. 2008. Т. 153. С. 254 – 263.
3. *Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А.* Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных акваториях западной части Берингова моря за последние десятилетия // Изв. ТИНРО. 2018. Т. 193. С. 167–182.
4. *Багров Н.А.* Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Труды Центрального института прогнозов. 1959. Вып. 74. С. 3–24.
5. *Цхай Ж. Р., Шевченко Г. В.* Оценка температурных аномалий поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2013. № 2. С. 50–61.

## ЦИРКУЛЯЦИОННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ЮГЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Лощенко К.А., Латышева И.В., Москалев Н.С.  
Иркутский государственный университет, Иркутск  
*loshchenko@bk.ru*

*Аннотация.* Выполнено исследование климатических и циркуляционных факторов формирования засушливости атмосферного воздуха в южной (степной) части Иркутской области по данным метеорологических станций Иркутского УГМС и причин возникновения сильных засух на примере 1972, 2015 и 2022 гг.

*Ключевые слова.* Засуха, относительная влажность, сухие дни, блокирование, Эль-Ниньо, стратосферный озон.

## CIRCULATION-CLIMATE FACTORS OF DEVELOPMENT AGRICULTURE IN THE SOUTH OF THE IRKUTSK REGION

Loshchenko K.A., Latysheva I.V., Moskaev N.S.  
Irkutsk State University, Irkutsk

*Annotation.* The study of climatic and circulation factors of atmospheric air aridity formation in the southern (steppe) part of the Irkutsk region was carried out according to the data of meteorological stations of the Irkutsk UGMS and the causes of severe droughts on the example of 1972, 2015 and 2022.

*Keywords.* Drought, relative humidity, dry days, blocking, El Niño, stratospheric ozone.

Иркутская область имеет большой сельскохозяйственный потенциал, во многом определяющий темпы сельскохозяйственного развития территории Восточной Сибири в целом. Сельское хозяйство Иркутской области примерно на 62% представлено животноводством и на 38% растениеводством. Иркутская область является импортером, прежде всего, зерна и мяса в другие страны [1]. Однако обеспеченность жителей области, например, овощами составляет всего 58%, мясом 64%, картофелем 87%. Сказывается то, что в сельскохозяйственном отношении освоено только 3,7% территории Иркутской области вследствие наличия большого количества горных массивов и рек, а также сложных климатических условий. Все вышеуказанное определяет актуальность исследований климатических и циркуляционных факторов развития сельского хозяйства Иркутской области, поскольку существенный ущерб сельскому хозяйству наносят погодные факторы. Следует отметить, что в период вегетации растений наряду с заморозками опасными для сельского хозяйства остаются засухи, особенно, если они сохраняются продолжительное время [2].

В этой связи было выполнено исследование метеорологических и циркуляционных факторов засушливости климата южной (степной) наиболее освоенной в сельскохозяйственном отношении части Иркутской области. Исследование выполнено по данным метеорологических станций Баяндай, Бохан, Кутулик, Новонукутск, Оса и Усть-Ордынский Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с мая по август 1984-2019 гг. В орографическом отношении территория южных районов Иркутской области расположена в пределах: Лено-Ангарское плато, слабо наклоненное к югу; северо-западные отроги слабобасчлененной Онотской возвышенности (крайняя юго-восточная часть) с абсолютными отметками высот до 1000 м; равнины Предсаянья и Предбайкалья с абсолютными отметками высот 500-700 м; Иркутско-Черемховская равнина с глубиной расчленения 30-100 м (на юге и юго-западе); центральную часть в рельефе Эхирит-Булагатского района округа занимает Кудинская депрессия, представляющая собой равнину шириной 60-80 км со структурным грядово-ложбинным рельефом [14]. В почвенном покрове исследуемого района относительно большой вклад (до 10%) занимают среднечеткие и маломощные среднегумусовые черноземы. По климатическому районированию исследуемая территория расположена в зонах от умеренного с коэффициентом увлажнения, который определяется соотношением количества выпадающих осадков и теоретически возможным испарением, зависящим от величины радиационного баланса, со значениями от 0,8-1,0 – умеренного увлажнения до 0,6-0,8 – недостаточного увлажнения. Наиболее засушливой является восточная часть территории, относящиеся к Прибайкальской впадине.

В распределении средних значений количества сухих дней с относительной влажностью  $\leq 30\%$ , которые учитываются при прогнозе засух, в исследуемый период 1984-2019 гг. наиболее неблагоприятные условия для развития сельского хозяйства складываются в Усть-Ордынском районе и реже всего такие условия отмечаются в Баяндаевском районе (рисунок 1). Возможно, что причиной выраженных пространственных различий в относительном влагосодержании приземного слоя атмосферы являются различия структуры почвенного покрова на метеорологических станциях, ее механического состава, влагопроницаемости и т.д. В многолетней динамике числа сухих дней как преобладающие по вкладу в общую дисперсию временного ряда выделяются циклы 36 лет, далее 18-ти, 12-ти и 9-летние циклы.

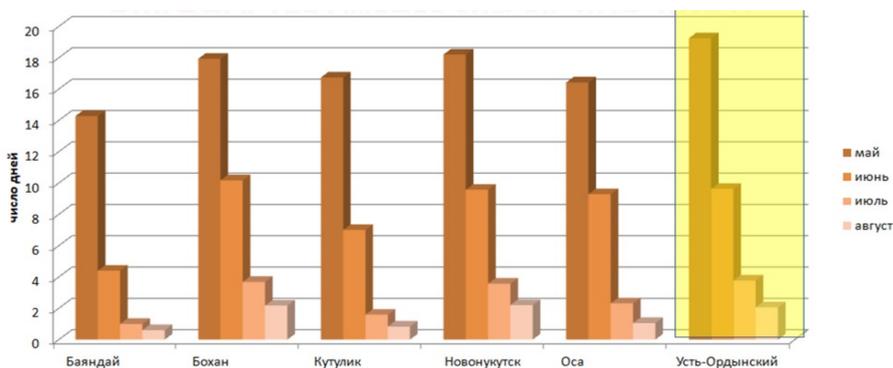


Рисунок 1 - Средние значения числа дней с относительной влажностью воздуха  $\leq 30\%$  за 2015-2019 гг. на метеостанциях Иркутской области

Одна из последних сильных и не типичных для территории Иркутской области атмосферная засуха наблюдалась в 2015 году (таблица 1). Жаркая и сухая погода отмечалась со второй декады июня, 24 июля был объявлен режим чрезвычайной ситуации по засухе, который действовал по 4 августа. Вследствие атмосферной засухи было потеряно ~15% от всей посевной площади Иркутской области. Необходимо отметить, что засуха сопровождалась большой площадью лесных пожаров.

Таблица 1 – Характеристики сильнейшей летней засухи 2015 года на юге Иркутской области

Месяц	Аномалия температуры воздуха, °С	Количество осадков по отношению к норме, в %	Число бездождевых дней	Максимальная температура воздуха (дата наступления)
Апрель	+2,8	50	22	24,7 °С (23 апреля)
Май	+0,7	126	21	30,1 °С (22 мая)
Июнь	+1,9	55	18	33,1 °С (20 июня)
Июль	+2,7	56	18	33,6 °С (14 июля)
Август	+3,0	85	20	34,7 °С (8 августа)

В работе сопоставлены циркуляционные условия сильной летней засухи в Иркутской области в 2015 году с сильнейшей летней засухой в Европе летом 2022 года и жесточайшей засухой в России в 1972 году. На рисунке 2 проведены оси блокирующих западный перенос высотных гребней. Видно, что все засухи сопровождалась блокированием по типу омега.

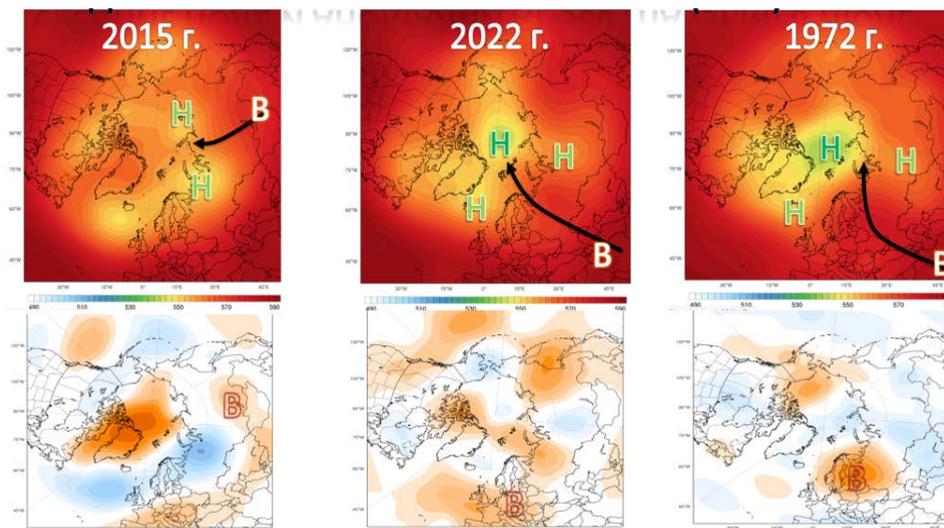


Рисунок 2 – Средние поля (верхние рисунки) и аномалии высоты геопотенциальной поверхности AT-500 гПа (5км) в июле 2015,2022 и 1972 гг. по данным Реанализов

В приземном давлении при всех рассматриваемых сильных засухах отмечалось развитие гребней Азорского и Гавайского максимумов, а при засухе в Иркутской области в 2015 г. был также усилен полярный антициклон (рисунок 3).

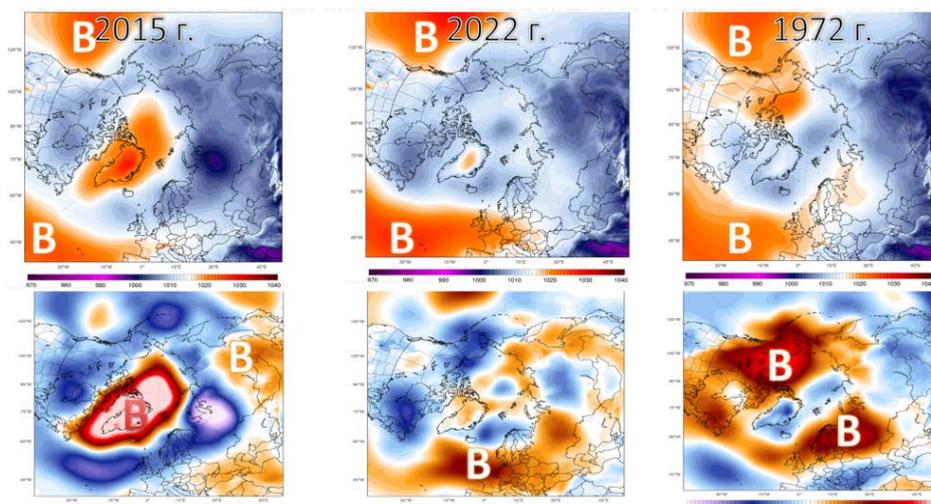


Рисунок 3 – Средние поля (верхние рисунки) и аномалии приземного давления (нижние рисунки) в июле 2015,2022 и 1972 гг. по данным Реанализов

В распределения меридиональной составляющей вектора скорости ветра на высоте 5 км и согласно построенной траектории смещения воздушной массы для районов формирования засух на юге Иркутской области на конец июля отчетливо видно, что при сильных засухах преобладали северные потоки на высотах (рисунок 4). В 2015 году они были ориентированы с районов Новой Земли, в 1972 и 2022 годах с Северной Атлантики. Интересным оказалось то, что сильные засухи 1972 и 2015 годов сопровождалось теплым

эпизодом в экваториальной части Тихого океана (Эль-Ниньо), а в 2022 году - холодным эпизодом (Ла-Нинья). Кроме того, в засушливых районах отмечалось увеличение общего содержания озона, что можно объяснить усилением нисходящих потоков с дополнительным притоком стратосферного озона в передней части блокирующих гребней.

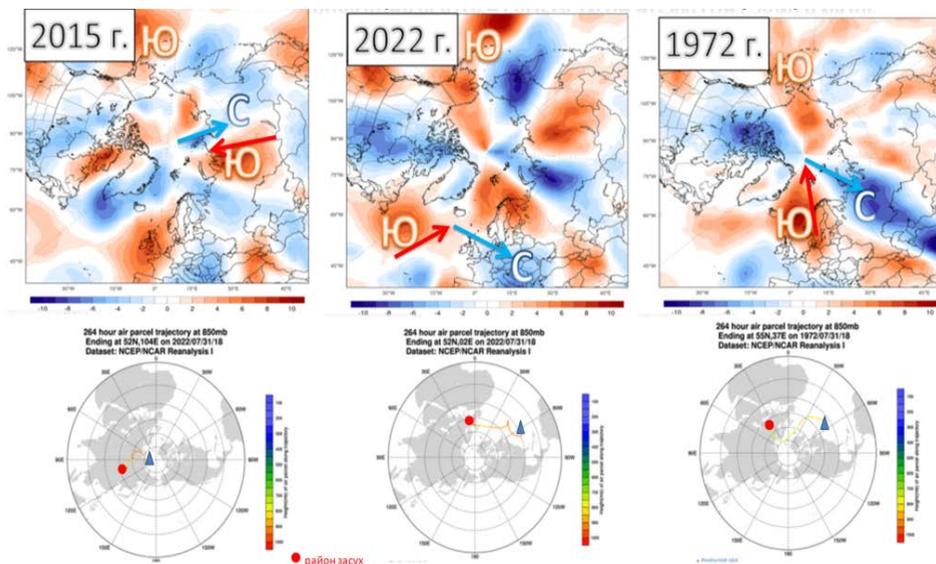


Рисунок 4 – Меридиональная составляющая вектора скорости на АТ-500 гПа (5км) в июле 2015,2022 и 1972 гг. по данным Реанализов

Таким образом, в Южном районе Иркутской области наиболее подвержен засухам Усть-Ордынский район, а реже всего сухие дни с относительной влажностью воздуха менее 30% отмечаются в Баяндаевском районе. В многолетней динамике выявлено увеличение засушливости в Боханском и Усть-Ордынском районах, максимумы проявления которой можно ожидать через 9,12,18 и 36 лет.

Обнаружена тесная корреляционная связь в многолетнем режиме различных метеорологических параметров, определяющих характер увлажнения южных сельскохозяйственных районов Иркутской области. Наиболее высокие значения коэффициентов парной корреляции выявлены для показателей атмосферной засухи, несколько меньшие – для показателей почвенной засухи.

Сильные засухи в Иркутской области летом 2015 года и в Европе в 1972 и 2022 гг. сопровождалась процессами блокирования по типу омега, усиливающимися при развитии высотных гребней океанических центров действия атмосферы – Азорского и Гавайского максимумов, нисходящих потоков со стратосферы в высоких широтах и южных потоков в сопряженных ложбинах с запада.

Сильные засухи сопровождалась как теплым эпизодом Эль-Ниньо, так и холодным эпизодом Ла-Нинья. Поэтому необходимо продолжить поиск предикторов возникновения сильных засух с учетом крупно- и мезомасштабных атмосферных факторов их развития и более детального анализа процессов облакообразования в засушливых регионах.

### Список литературы

1. Родионова А.С., Поротикова Е.О., Антонова Е.В. Сельское хозяйство Российской Федерации Иркутской области. В сборнике: Оценка качества и безопасность потребительских товаров. Материалы IX региональной научно-практической конференции молодых ученых. 2015. - С. 115-120.

2. *Иваньо Я.М., Петрова С.А., Полковская М.Н.* Вероятностная оценка повторяемости засух и определение рисков аграрного производства. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 4 (135). - С. 73-82.

## **КЛИМАТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АФРИКИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ В НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ**

Мами Магбини Токпа, Лобанов В.А.

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*mtokpa@mail.ru, va\_lobanov56@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются многолетние ряды среднемесячных температур воздуха и осадков на 65 метеостанциях Центральной Африки для оценки влияния климатических изменений на динамику средних многолетних значений. Получены количественные оценки роста температур воздуха в различные сезоны года, которые достигают 2,2—2,4 °С в южных горных и восточных районах во все сезоны и дополнительно в летний муссон в прибрежных районах и в весенний межмуссонный период на севере. В центральной части территории рост средних температур не превышает 0,5—0,6 °С. Среднее по территории повышение температуры во все месяцы к концу 21 века достигает 2,0 - 2,3°С, а по оценкам на отдельных метеостанциях получены пространственные распределения будущих температур, которые показывают наибольший рост на севере региона вблизи Сахеля. В целом, влажный период характеризуется уменьшением количества осадков по всей Центральной Африке с наибольшим уменьшения до 37% процентов на севере территории, в то время как в сухой период наблюдается увеличение количества осадков на побережье Атлантического океана (Гвинейский залив) и в горных районах восточной части территории достигая 15мм в январе.

*Ключевые слова.* Среднемесячная температура и осадки, изменение климата, Центральная Африка, проекты СМIP5/СМIP6, модели IPSL/BCC, сценарии RCP/SSP, оценки роста температуры.

## **CLIMATE IN CENTRAL AFRICA AND ITS CURRENT AND FUTURE CHANGES**

Mami Magbini Tokpa, Lobanov V.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* Multiyear series of mean monthly air temperatures and precipitation at 65 meteorological stations in Central Africa are considered to assess the influence of climatic changes on the dynamics of mean multiyear values. Quantitative estimates of the growth of air temperatures in different seasons of the year are obtained, which reach 2.2-2.4 °C in the southern mountainous and eastern regions in all seasons and additionally in the summer monsoon in coastal areas and in the spring inter-monsoon period in the north. In the central part of the territory average temperature increase does not exceed 0.5-0.6 °C. The average temperature increase in all months by the end of the 21st century reaches 2.0 - 2.3 °C in the territory, and spatial distributions of future temperatures were obtained from estimates at individual weather stations, which show the greatest increase in the north of the region near the Sahel. In general, the wet period is characterized by a decrease in precipitation throughout Central Africa with the largest decrease to 37 % in the north of the territory, while the dry period shows an increase in precipitation on the Atlantic Ocean coast (Gulf of Guinea) and in the mountainous areas of the eastern part of the territory reaching 15 mm in January.

*Keywords.* Monthly mean temperature and precipitation, climate change, Central Africa, СМIP5/СМIP6 projects, IPSL/BCC models, RCP/SSP scenarios, temperature growth estimates.

Введение. МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата) в 5-ом оценочном докладе утверждает, что глобальное потепление однозначно характеризуется повышением средней температуры атмосферы и океанов [1]. Причем температура воздуха в разных широтах повышается по-разному и наибольшее повышение температуры наблюдалось в умеренных широтах и на юге Сибири [2]. На основании

широтного роста альбедо от экватора к полюсам по физико-математическим моделям климата при современном потеплении следует ожидать наибольшего прироста температуры в высоких широтах и наименьшего в низких или экваториальных, к которым относится рассматриваемая в данной работе территория Центральной Африки. Вместе с тем в докладах МГЭИК рост температур в экваториальных районах Африки имеет большую неопределенность и составляет 0,2°C до 2°C, что в основном обусловлено низкой надежностью данных наблюдений [3-5].

Согласно средним сценариям, представленным в 5-ом докладе МГЭИК и подтвержденным различными другими климатическими исследованиями, в этом столетии большие территории Африки потеплеют более чем на 2°C выше доиндустриального уровня [6, 7]. Ожидается, что повышение температуры в регионах Африки, включая Центральную Африку, будет выше даже, чем повышение среднемировой температуры (на 1,5°C и 2°C), а волны жары будут более частыми и продолжительными. Ожидается, что экстремальные значения температуры в этом регионе будут выше, чем в среднем по планете, причем наиболее интенсивное потепление будет наблюдаться в Сахеле [8-12].

В связи с большой неопределенностью полученных результатов по региону Центральной Африки целью настоящей работы является всесторонняя оценка как качества данных наблюдений, так и оценок изменения климата в этом регионе статистическими методами и моделями.

Исходные данные. Данные, используемые для исследования, представляют собой многолетние ряды среднемесячной температуры воздуха и осадков с начала наблюдений по 2021 г. включительно на 65 метеостанциях, полученные из архивов с сайта метеорологического института Королевства Нидерланды и с сайта «Погода и климат» [13, 14].

Методика исследований. Методика исследований основана на аппроксимации многолетних временных рядов моделями нестационарного среднего двух видов: линейный тренд и ступенчатые изменения среднего значения при оценке эффективности этих моделей по отношению к модели стационарной выборки и само моделирование детально изложено в работах [15,16]. При этом для оценки эффективности моделей использован такой показатель как среднее квадратическое отклонение (СКО) остатков модели  $\sigma_\varepsilon$  и чем оно меньше, тем модель лучше. СКО остатков связано с коэффициентом детерминации модели ( $R^2$ ) следующим функциональным соотношением:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_y$  — стандартное отклонение исходного ряда, характеризующее естественную изменчивость.

Очевидно, что для модели стационарной выборки  $\sigma_\varepsilon = \sigma_y$ , а  $R^2=0$ . Если модель нестационарного среднего эффективнее модели стационарной выборки, то ее  $\sigma_\varepsilon < \sigma_y$ .

Результаты оценки современных изменений температуры воздуха. Выполненное исследование климатических изменений температуры воздуха в Центральной Африке позволило восполнить пробелы и исключить неоднозначность результатов по оценке влияния современного потепления климата в этой части планеты. В частности, получено, что данные наблюдений крайне неоднородны во времени и по пространству, и самые ненадежные наблюдения имеют место на территории Демократической Республики Конго, которая занимает почти половину Центральной Африки. Таким образом, была разработана и применена методика оценки климатических изменений температур воздуха в Центральной Африке, основанная на последовательном переходе от более надежной к менее надежной информации, на оценке устойчивости показателей нестационарности, на выделении районов однородных по динамике изменений климата и на количественной оценке произошедших изменений в зависимости от вида модели изменения среднего значения. В результате,

установлено, что изменения среднего значения имели место во второй половине 20 века в период от середины 1970-х до начала 2000-х и модель ступенчатых изменений среднего значения более эффективна, чем модель тренда. На территории Центральной Африки выделено 4 района однородных по динамике изменений среднего значения, причем в двух из них ступенчатый подъем температур имел место 2 раза: первый в конце 1970-х — начале 1980-х и второй в конце 1990-х — начале 2000-х, а в остальных двух 1 раз: в середине 1990-х или в начале 2000-х (рисунок 1).

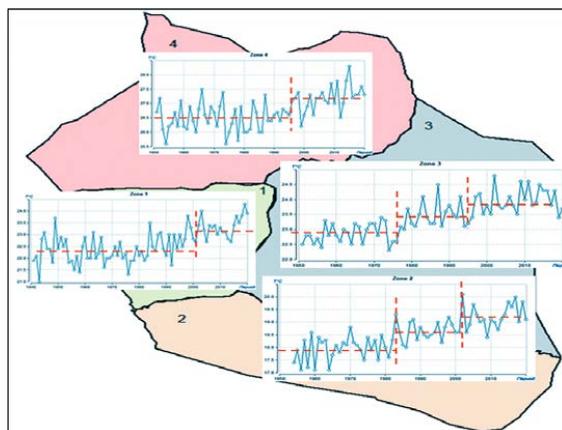


Рисунок 1 – Изменения средних температур воздуха в однородных районах

Во все сезоны года в южных горных и восточных районах территории имел место наибольший подъем температур до  $2,0\text{--}2,2^{\circ}\text{C}$ , что составляет  $1,7\text{--}2,1\text{СКО}$ . В летний муссон к области высокого роста температур до  $1,5\text{--}1,7^{\circ}\text{C}$  добавляется также прибрежная западная полоса за счет влажных и теплых воздушных масс с Атлантики, где ТПО растет. Еще одна область высокого роста температур на севере до  $2,2\text{--}2,4^{\circ}\text{C}$  имела место в наиболее жаркий весенний межмуссонный период и видимо связана с продвижением Сахары на юг. В центральной части территории, где тропические леса, прирост температуры практически во все сезоны (за исключением весеннего) небольшой и не превышает  $0,5\text{--}0,6^{\circ}\text{C}$ , что меньше СКО.

Оценка будущих температур воздуха по сценариям проектов СМIP5 и СМIP6. По результатам исторического эксперимента проектов СМIP5 и СМIP6 оценивается эффективность сценарных оценок (RCP/SSP1 2.6, RCP/SSP2 4.5 и RCP/SSP5 8.5) будущей температуры воздуха для Центральной Африки для наиболее подходящих для этой территории климатических моделей IPSL и BCC и результаты моделирования этих проектов сравниваются друг с другом и с наблюдениями метеорологических станций в регионе, как для исторического экспериментального периода, так и с наблюдениями последних лет для осуществления будущих климатических прогнозов. На основе исторического эксперимента и будущих оценок за последние 16 лет, было установлено, что версии моделей проекта СМIP6 не являются более эффективны, чем результаты СМIP5 при сравнении с данными наблюдений. В связи с тем, что различия между данными наблюдений и моделирования имеет систематический характер, результаты сценарных оценок были скорректированы по принципу сходства темпов роста температуры для исторического периода наблюдений и будущего сценарного периода до конца 21 века, который разделен на 3 интервала для оценки средних значений: 2011-2040, 2041-2070 и 2071-2100. Будущие температуры воздуха в Центральной Африке были оценены как для средних значений по территории, так и для температур отдельных метеостанций на основе скорректированных сценарных значений,

которые отличались по СМР5 и СМР6 не более, чем  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Получено, что среднее по территории повышение температуры во все месяцы к концу 21 века достигает  $2,0 - 2,3^{\circ}\text{C}$ , а по оценкам на отдельных метеостанциях получены пространственные распределения будущих температур, которые показывают наибольший рост на севере региона вблизи Сахеля.

Оценка современного изменения осадков. Оценка динамики изменения осадков для региона Центральной Африки, с начала наблюдений по 2021г. показала, что наименьшее количество осадков наблюдается с ноября по март со средними территориальными значениями 13,8 мм в январе и 79,2 мм в ноябре, а наибольшее - с апреля, достигая максимальных значений в июле (178 мм), августе (192 мм) и сентябре (196 мм). На основе этой динамики были выделены 4 однородных климатических района (рисунок 2).

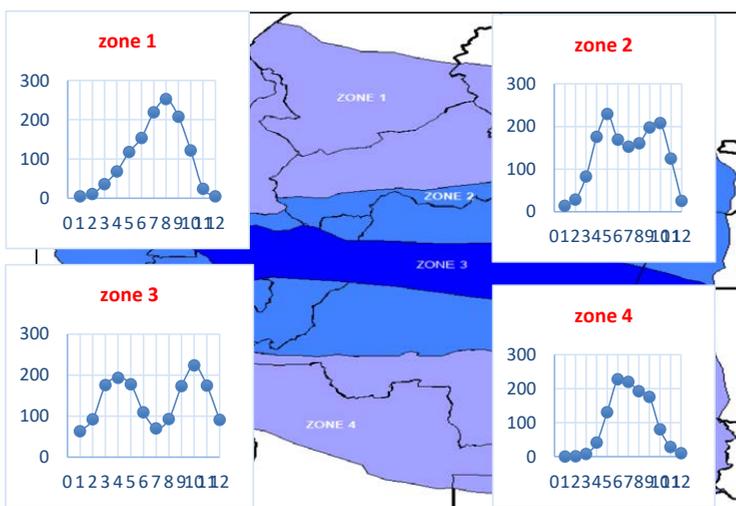


Рисунок 2 – Однородные районы по виду климатических внутrigодовых распределений осадков в Центральной Африке

При исследовании многолетних климатических изменений осадков получены следующие закономерности для влажного периода года:

- летом (с мая по август) наиболее существенные нестационарности, характеризующиеся уменьшением количества осадков со временем, наблюдаются от юго-запада территории (в Гвинейском заливе) к центру и востоку, а также в горах на севере Камеруна (где  $R$  достигает  $-0,46$  в июне) и на востоке в Рифтах;
- нестационарности, характеризующиеся увеличением количества осадков, имеют место в северо-западных регионах, где  $R$  достигло  $0,56$  в августе, и на севере Камеруна ( $R=0,38$ ) в июне.

В наиболее засушливые месяцы года (декабрь, январь и февраль) наблюдается уменьшение количества осадков на всей территории Центральной Африки.

Заклучение. Несмотря на ненадежность данных наблюдения, использованных в данной работе, была разработана и применена методика оценки климатических изменений температур воздуха в Центральной Африке, основанная на последовательном переходе от более надежной к менее надежной информации, на оценке устойчивости показателей нестационарности, на выделении районов однородных по динамике изменений климата и на количественной оценке произошедших изменений в зависимости от вида модели изменения среднего значения.

Изменения среднего значения температуры имели место во второй половине 20 века в период от середины 1970х до начала 2000х и модель ступенчатых изменений среднего значения более эффективна, чем модель тренда. Область самого высокого роста температур на севере до 2,2—2,4°C имела место в наиболее жаркий весенний межмуссонный период и видимо связана с продвижением Сахары на юг.

В целом, влажный и сухой периоды характеризуются уменьшением количества осадков по всей Центральной Африке с наибольшим уменьшением до 37% процентов на севере территории. В то же время в сухой период наблюдается увеличение количества осадков на побережье Атлантического океана (Гвинейский залив) и в горных районах восточной части территории, которое достигает 15 мм.

### Список литературы

1. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY // USA: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
2. Второй оценочный доклад РосГидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2018. 1400 с.
3. Bates B. C., Kundzewicz Z. W., Wu S., Palutikof J. P. Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat // Secrétariat du GIEC. 2008. Genève. 236 p.
4. Amraoui L. Évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest (Maroc, Mauritanie et leur proche océan entre 1950 et 2008) // Thèse de l'Université Jean Moulin — Lyon III. 2011. 43 p.
5. Camberlin P. L'Afrique Centrale dans le contexte de la variabilité climatique tropicale interannuelle et intra saisonnière // HAL Id: hal-00320705. 14 Dec 2010. P. 25—39.
6. Kruger A. C., Shongwe S. Temperature trends in South Africa: 1960—2003 // International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 2004. Vol. 24(15). P. 1929—1945.
7. WMO: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://public.wmo.int/en/events/meetings/state-of-climate-africa-2019>. Дата обращения: 17.11.2022.
8. Diedhiou A., Bichet A, Wartenburger R., Seneviratne S.I., David P. Changes in climate extremes over West and Central Africa at 1.5 °C and 2 °C global warming // Nature. 2018. No 529. P. 477—483.
9. Hulme M., Doherty R., Ngara T., New, M., Lister D. African climate change: 1900—2100 // Climate research. 2001. Vol. 17(2). P. 145—168.
10. Aguilar E., Aziz Barry A., Brunet M., Ekang L., Fernandes A., Massoukina M., Zhang X. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955 2006 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2009. 114(D2).
11. Seneviratne S. I., Donat M.G., Pitman A.J., Knutti R., Wilby R. L. Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets // Nature. 2016. No 540. P. 564—588.
12. IPCC: [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FinalDraft\\_Chapter09.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter09.pdf). Дата обращения: 17.11.2022.
13. Knmi: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone>. Дата обращения: 17.11.2022.
14. Pogodaiklimat: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogodsiklimat.ru>. Дата обращения: 17.11.2022.
15. Лобанов В. А., Кириллина К. С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. СПб.: РГГМУ, 2019. 157 с.
16. Шукри О. А. А., Лобанов В. А., Хамид М. С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. Монография. СПб.: РГГМУ, 2018. 190 с.

## К ОЦЕНКЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА В ОБЛАСТИ ПЕРУНСКОГО АПВЕЛЛИНГА

Мартина-Васкес Д.Х., Гордеева С.М., Малинин В.Н.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*malinin@rshu.ru*

*Аннотация.* Рассматривается межгодовая изменчивость температуры поверхности океана в области Перуанского апвеллинга за период 1980-2020 гг. по данным спутникового архива GODAS (Global Ocean Data Assimilation System) с помощью методов многомерного статистического анализа.

*Ключевые слова.* Перуанский апвеллинг, температура поверхности океана, межгодовая изменчивость, многомерный статистический анализ.

## ON THE ESTIMATION OF THE INTERANNUAL VARIABILITY OF THE OCEAN SURFACE TEMPERATURE IN THE AREA OF THE PERUN UPWELLING

Martina D., Gordeeva S.M., Malinin V.N.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

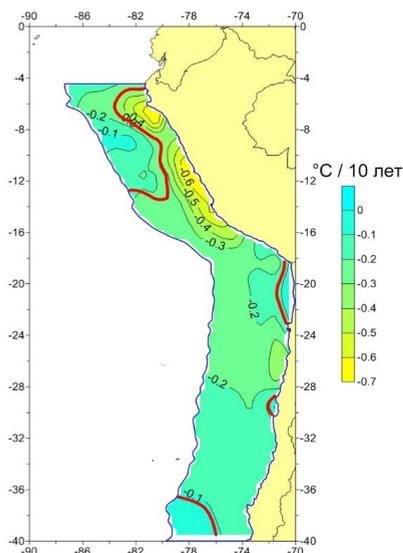
*Annotation.* The interannual variability of the ocean surface temperature in the area of the Peruvian upwelling for the period 1980-2022 is considered. according to the satellite archive GODAS (Global Ocean Data Assimilation System) using the methods of multivariate statistical analysis.

*Keywords.* Peruvian upwelling, ocean surface temperature, interannual variability, multivariate statistical analysis.

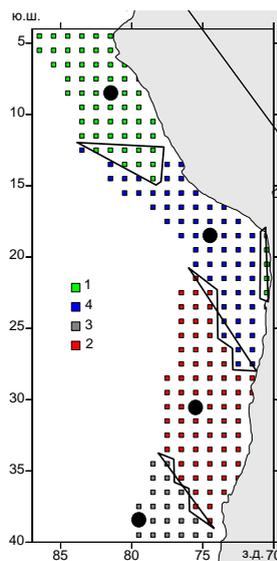
Область Перуанского апвеллинга (ПА) является важнейшим рыбопродуктивным районом Мирового океана. На акватории ПА, занимающего площадь около 0,02 % площади Мирового океана, добывают около 20 % мирового улова рыбы [1]. Важнейшим абиотическим параметром является температуры морской воды, влияние которой на жизнедеятельность морских организмов исключительно многогранно и может ускорять (замедлять) рост численности отдельных видов, их размножение, метаболизм, смертность [2]. Поэтому в качестве первого этапа изучения влияния внешних факторов на рыбопродуктивность вод ПА, рассматривалась задача оценки межгодовой изменчивости температуры поверхности океана в области ПА.

С этой целью использовалась база данных GODAS (Global Ocean Data Assimilation System). Система GODAS основана на квазиглобальной конфигурации модели GFDL MOM.v3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Modular Ocean Model). Область модели простирается от 75° ю.ш. до 65° с.ш. и имеет разрешение 1° × 1°, увеличенное до 1/3° в направлении север-юг в пределах 10° от экватора. Область ПА принята в границах от 4° ю.ш. до 40° ю.ш. (рис. 1). Всего выделено 216 точек сеточной области, для которых из базы GODAS были выбраны среднемесячные значения температуры поверхности океана (ТПО) за период 1980-2020 гг.

На рисунке 1 приводится пространственное распределение коэффициентов тренда для среднегодовых значений ТПО. Для оценки их значимости определялось пороговое (критическое) значение коэффициента детерминации, которое по критерию Стьюдента при уровне значимости  $\alpha=0,05$  вычисляется по формуле  $R_{кр}^2 = 4/(n+2) = 0,10$ , где  $n = 41$ . Из рисунка 1 видно, что отрицательные тренды ТПО наблюдаются на всей акватории ПА. Их максимальные значения сосредоточены в узкой прибрежной полосе океана в северной части ПА между 6° ю.ш. и 16° ю.ш. Можно также отметить, что почти для всей области ПА за исключением локальных очагов на севере и юге ПА тренды в ТПО являются значимыми.



*Рисунок 1 - Пространственное распределение коэффициентов тренда для среднегодовых значений ТПО в области Перуанского апвеллинга. Жирной кривой красного цвета отделены локальные очаги незначительных трендов.*



*Рисунок 2 - Результаты районирования области ПА по характеру межгодовой изменчивости ТПО. Номера районов соответствуют номерам факторов. Черными точками указаны центры квазиоднородных районов, оптимальным образом описывающих изменчивость ТПО внутри района.*

На первый взгляд, относительное похолодание вод ПА противоречит известному факту потепления вод океана. Однако потепление в океане идет неодинаковыми темпами. Наряду с очагами ярко выраженного повышения ТПО есть области с отрицательными трендами. По данным системы *SeaWiFS* за период 1993-2021 гг. [3] в области ПА и прилегающих к ней районах юго-восточной Пацифики как раз отмечается понижение ТПО. Причиной отрицательных трендов в ТПО в области ПА является холодное Перуанское течение, которое формируется из северного ответвления Антарктического циркумполярного течения.

С целью выявления пространственно-временной связности межгодовых колебаний поля ТПО из 216 точек был использован метод главных факторов, состоящий из двух вращений [2, 4]. Первое вращение – это метод главных компонент. Разложению подвергалась матрица среднегодовых значений ТПО размером  $216 \times 41$ . Была выявлена очень высокая скорость сходимости ( $k_{cc}$ ) собственных чисел  $\lambda_j$ . Так, уже 1 собственное число  $\lambda_1$  описывает более 70 % суммарной дисперсии поля ТПО. В сумме первые четыре  $\lambda_j$  описывают 93 % дисперсии поля ТПО (табл. 1). Анализ значений поля первого собственного вектора разложения показал, что значимые коэффициенты корреляции охватывают преобладающую часть акватории ПА, т.е. поле ТПО выглядит излишне однородным.

С учетом большой пространственной протяженности области ПА подобный результат показался неочевидным. Поэтому собственные вектора разложения и главные компоненты этих 4  $\lambda_j$  подвергались второму вращению методом варимакс Кайзера. В результате такого вращении произошла перекачка дисперсии из 1 общего фактора в остальные, причем 2 фактор увеличился более чем в 2 раза. Анализ факторных нагрузок (ФН) показал, что более 80 % акватории ПА описывается первыми тремя ФН, имеющими оценки более 0,70. На остальной акватории оценки ФН «размазаны» относительно равномерно, т.е. они меньше

0,65. Оценки четвертой ФН во всех точках акватории ПА оказались меньше 0,65, т.е. она практически не участвует в формировании изменчивости поля ТПО.

Таблица 1 – Оценки собственных чисел и скорости их сходимости среднегодовых значений ТПО за 1980-2020 гг., полученных методом главных факторов

$\lambda_j$	Первое вращение			Второе вращение		
	$\lambda_j$	$\lambda_j/\sum\lambda_j$ %	$k_{cc}$ , %	$\lambda_j$	$\lambda_j/\sum\lambda_j$ %	$k_{cc}$ , %
1	152,8	70,7	70,7	80,4	37,2	37,2
2	31,2	14,4	85,2	76,23	35,3	72,5
3	9,5	4,4	89,6	18,4	8,6	81,1
4	7,0	3,2	92,9	25,6	11,8	92,9

По пространственному распределению значений ФН величиной более 0,70 на акватории ПА довольно четко выделяется 4 территориально связанных квазигомогенных района. При этом в 4 район входят в основном точки, имеющие оценки ФН меньше 0,65. Отметим, что при этом возникает некоторая неопределенность в проведении границ между районами. Нахождение точных границ может быть осуществлено с помощью метода средних кластерного анализа, который минимизирует сумму квадратов внутрикластерных расстояний до центра кластера [2]. Расстояния между точками находились с помощью традиционной метрики Евклида. На рис. 2 приводятся результаты районирования области ПА по характеру межгодовой изменчивости ТПО.

Наиболее высокие ФН отмечаются для 1 района (кластера), выделенного на рис. 2 зеленым цветом. В него входит 59 точек, и он занимает крайне северное положение в области ПА. Центр этого кластера имеет координаты 8,5° ю.ш. и 81,5° з.д., а его величина (0,97) является максимальной для всей матрицы ФН. Вторая ФН в основном формирует 2 кластер (красный цвет), который занимает частично центральную и южную части области ПА, состоит из 74 точек, а центр кластера имеет величину равную 0,95. Самый маленький по площади 3 кластер (22 точки) находится на крайнем юге ПА. Наконец, 4 кластер формируется из значений ФН в основном меньших 0,65 и занимает промежуточное положение между 1 и 2 кластерами. Итак, в результате использования метода главных факторов удалось снизить размерность исходного поля ТПО до 4 точек, описывающих, по сути, межгодовую изменчивость поля ТПО в области ПА.

В табл. 2 представлены статистические характеристики годовых значений ТПО в центрах кластеров и коэффициенты корреляции между ними. Нетрудно видеть, что ТПО последовательно убывает по направлению к югу. Максимальная амплитуда характерна для 1 района. Во время Эль-Ниньо здесь идет резкое повышение ТПО. В межгодовом ходе ТПО каждого из этих кластеров проявляется отрицательный тренд, наиболее ярко выраженный в ТПО для 4 кластера. Для 1 и 3 кластеров тренд незначим. Что касается корреляции годовых значений ТПО в центрах кластеров, то он меняется от 0,67 между 1 и 4 кластерами до 0,30 между крайними 1 и 3 кластерами.

Таблица 2 – Статистические характеристики годовых значений ТПО в центрах кластеров и коэффициенты корреляции между ними ( $X_{cp}$  – среднее,  $A$  – амплитуда,  $C$  – коэффициент вариации,  $Tr$  – коэффициент тренда,  $R^2$  – коэффициент детерминации тренда)

Номер кластера	$X_{cp}$ , °C	$A$ , °C	$C$	$Tr$ , °C/10 лет	$R^2$	Корреляция		
						2	3	4
1	21,6	4,9	0,05	-0,17	0,04	0,41	0,30	0,67
2	17,3	1,6	0,02	-0,13	0,18	1	0,43	0,65
3	15,2	1,5	0,02	-0,04	0,02		1	0,46

4	20,8	2,7	0,03	-0,26	0,32			1
---	------	-----	------	-------	------	--	--	---

Учитывая близость ПА к региону ЭНЮК (Эль-Ниньо-Южное колебание), следует ожидать значимую связь между ТПО в регионе ЭНЮК и ТПО в области ПА. На рис. 3 приводится межгодовой ход ТПО в центре 1 кластера (1) и ТПО в районе N<sub>3+4</sub> Эль-Ниньо (2). Как и следовало ожидать, ТПО в районе N<sub>3+4</sub> в среднем заметно выше (на 4,5 °С) чем в центре 1 кластера. Из рис. 3 нетрудно видеть, что между указанными переменными отмечается высокая степень идентичности: практически совпадают положительные (явление Эль-Ниньо) и отрицательные (явление Ла-Нинья) экстремумы ( $r = 0,70$ ). Однако связь N<sub>3+4</sub> с ТПО более южных кластеров резко снижается и для 2 и 3 кластеров становится незначимой.

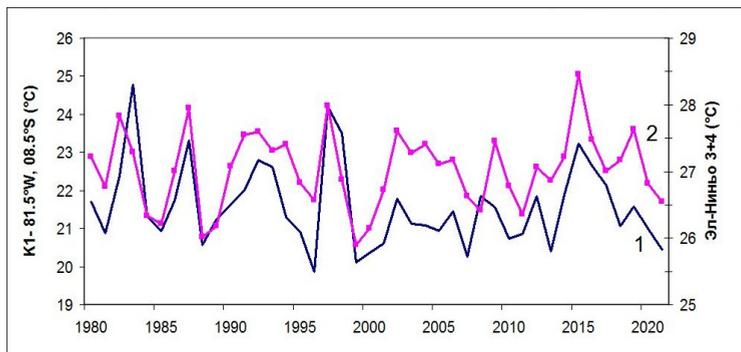


Рисунок 3 - Межгодовой ход ТПО в центре 1 кластера (1) и ТПО в районе N<sub>3+4</sub> Эль-Ниньо

**Выводы.** Показано, что для акватории ПА свойственны отрицательные тренды в годовых значениях ТПО за период 1980-2020 гг., импортированных из системы GODAS (Global Ocean Data Assimilation System). Методы главных факторов и к-средних кластерного анализа использованы для районирования поля ТПО по характеру межгодовых колебаний. Получено оптимальное разбиение поля ТПО (216 точек) на 4 квазиоднородных района. Для каждого кластера выделены центральные точки, которые наилучшим образом описывают изменчивость ТПО внутри районов. Рассмотрены статистические характеристики годовых значений ТПО в центрах кластеров и коэффициенты корреляции между ними. Выявлена высокая степень идентичности между ТПО в регионе районе N<sub>3+4</sub> ЭНЮК и ТПО в области 1 кластера ПА: полностью совпадают положительные (явление Эль-Ниньо) и отрицательные (явление Ла-Нинья) экстремумы.

Работа выполнена в РГГМУ в рамках госзадания Минобрнауки РФ № FSZU-2023-0002.

#### Список литературы

1. Tarazona J., Arntz W. The Peruvian Coastal Upwelling System // Ecological Studies. 2001. Vol.144. P. 229–244.
2. Малинин В.Н., Чернышков П.П., Гордеева С.М. Канарский апвеллинг: крупномасштабная изменчивость и прогноз температуры воды. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 154 с.
3. Sea surface temperature: climate indicators // Copernicus Climate Change Service [Электронный ресурс] Доступ: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-surface-temperature> (свободный, 03.02.2023)
4. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. 278 с.

## АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Медведько М.В., Гледко Ю.А., Дорожко Н.В.  
Белорусский государственный университет, Минск  
*marry\_medvedko25@mail.ru*

*Аннотация.* Приведен анализ пространственно-временного изменения температуры воздуха и осадков на территории Беларуси за период 1981-2020 гг. Показана актуальность комплексного исследования рассматриваемых параметров с применением методов математической статистики и картографирования. Исходными данными для анализа пространственно-временного изменения температуры воздуха и осадков являются данные Государственного климатического кадастра Республики Беларусь. Для оценки пространственно-временного изменения среднегодовой температуры воздуха и среднегодового количества осадков были взяты среднесуточные данные температуры воздуха и данные количества осадков за сутки по 42 метеорологическим станциям Беларуси. Рассматриваемый период охватывает 1981-2020 гг., который условно разделен на четыре периода: 1981-1990 гг., 1991-2000 гг., 2001-2010 гг. и 2011-2020 гг.

*Ключевые слова.* Среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, пространственно-временное распределение, Республика Беларусь.

## ANALYSIS OF SPATIO-TIME CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION ON THE TERRITORY OF BELARUS

Medvedko M.V., Hledko Y.A., Dorozhko N.V.  
Belarusian State University, Minsk

*Annotation.* The analysis of spatio-temporal changes in air temperature and precipitation on the territory of Belarus for the period 1981-2020 is given. The relevance of a comprehensive study of the parameters under consideration using the methods of mathematical statistics and mapping is shown. The initial data for the analysis of spatial and temporal changes in air temperature and precipitation are the data of the State Climatic Cadastre of the Republic of Belarus. To estimate the spatial and temporal changes in the average annual air temperature and average annual precipitation, average daily air temperature data and daily precipitation data for 42 meteorological stations of Belarus were taken. The period under consideration covers 1981-2020, which is conditionally divided into four periods: 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2020 years.

*Keywords.* Average annual air temperature, average annual precipitation, spatial and temporal distribution, Republic of Belarus.

Климат как систему можно охарактеризовать посредством статистических описаний основных тенденций и изменчивости соответствующих элементов, таких как температура, осадки, атмосферное давление, влажность и ветер, или комбинаций элементов, например, типов и явлений погоды, характерных для какой-либо местности или региона, или же для всего мира за какой-либо промежуток времени. Изменение климата в глобальном масштабе характеризуется ростом температуры, разнонаправленным изменением режима осадков, увеличением повторяемости опасных и неблагоприятных явлений погоды. Изменения основных климатических параметров на территории Беларуси происходят в соответствии с динамикой процессов, отмечающихся на глобальном, макро- и мезомасштабном уровнях, но при этом отмечаются региональные особенности. Согласно исследованиям ученых [4], за период потепления, который отмечается с 1989 г., среднегодовая температура воздуха на территории Беларуси увеличилась на 1,3°C, годовые суммы осадков изменились в пределах 20-30%, уменьшилась продолжительность их выпадения до 20%, на 1-4 дня увеличилось число сухих и жарких дней.

В настоящей работе использовались методы математической статистики на основе пакета Excel. По полученным данным построены карты с применением картографической программы Arcgis. Для этого применялся инструмент «сплайн». Инструмент Сплайн (Spline)

использует метод интерполяции, который оценивает значения, используя математические функции. Материалами для работы послужили данные Белгидромета [1] среднесуточных температур воздуха и данных количества осадков за сутки по 42 метеорологическим станциям (МС) Беларуси. Рассматриваемый период охватывает 1981-2020 гг., который условно разделен на четыре периода: 1981-1990 гг., 1991-2000 гг., 2001-2010 гг. и 2011-2020 гг.

При анализе рассматриваемых параметров эффективным является применение методов математической статистики и численного моделирования атмосферы. Исследования предполагают статистическую обработку базы данных метеорологических и спутниковых измерений, реанализ, моделирование процессов с целью понимания механизма их развития, генерации неустойчивых режимов, формирования устойчивых засушливых и переувлажненных периодов, построение алгоритмов для анализа климатической ситуации.

По данным Белгидромета [2], со второй половины 1970-х годов скорость роста температуры в Беларуси составила 0,6 градуса за 10 лет. Данные показатели в 3,5 раза превышают скорость роста по всему земному шару и практически в 2 раза превышают скорость роста температуры воздуха над сушей северного полушария. В целом растут максимумы температур, изменяется продолжительность сезонов года – увеличивается продолжительность лета и сокращается зима. Также увеличивается продолжительность вегетационного периода и сокращается отопительный период. Что касается изменения характера выпадения осадков на территории Беларуси, то в холодный период года их сумма растёт, а в отдельные месяцы теплого периода года – сокращается, что наряду с ростом температуры воздуха приводит к увеличению засушливых условий.

На территории Беларуси годовые суммы осадков мало изменились за период потепления климата, но существенно изменилось их внутригодовое распределение. В зимний сезон отмечено увеличение сезонных сумм осадков в период 1989-2020 гг., которое составляет 20-30 % по сравнению с предшествующим периодом 1948-1988 гг. [5]. Увеличение осадков зимой происходит за счет роста числа дней с осадками малой интенсивности в связи с ростом продолжительности выпадения осадков в жидком виде. В летний сезон отмечается сокращение продолжительности выпадения осадков на всей территории страны на 20%, что свидетельствует о возрастании засушливости климата, и одновременно увеличение максимальных сумм осадков на 20-30% с наибольшим их ростом в южных районах [3].

Согласно полученным результатам, по всем МС наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха. Наибольший рост среднегодовой температуры воздуха за рассматриваемые десятилетия наблюдается в Гомельской области и составляет 1,89°C, в то время как самый низкий показатель наблюдается в Минской области и составляет 1,68°C по сравнению с первым рассматриваемым десятилетием 1981-1990 гг. (таблица 1). Соответственно, наибольшей изменчивости среднегодовой температуры воздуха подвергаются южные области Беларуси, а именно: Брестская и Гомельская.

*Таблица 1 – Среднегодовая температура воздуха по областям Республики Беларусь для периодов 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 и 2011-2020 гг., составлено по [1]*

Область	Среднее арифметическое				Разность температур
	1981-1990 гг.	1991-2000 гг.	2001-2010 гг.	2011-2020 гг.	
Брестская	6,87	7,49	7,87	8,73	1,86
Витебская	5,53	6,11	6,46	7,23	1,7
Гомельская	6,74	7,24	7,81	8,63	1,89
Гродненская	6,29	6,83	7,25	8,04	1,75
Минская	6,11	6,69	7,08	7,79	1,68
Могилевская	5,69	6,22	6,75	7,43	1,74

Увеличение температуры воздуха происходит в направлении с северо-востока на юго-запад, согласно рисунку 1. Наиболее высокая среднегодовая температура воздуха наблюдается на юго-западе на протяжении всего периода исследования. Если в начале исследуемого периода на территории Витебской области среднегодовая температура воздуха варьировалась до 5,9°C, то уже в 2011-2020 гг. она заметно выросла и стала составлять до 7,6°C.

На рисунке 2 показана динамика среднегодового количества осадков по десятилетиям с 1981 по 2020 гг. Согласно полученным результатам, следует, что существенного изменения количества выпадения осадков за период потепления не наблюдается, однако можно увидеть, что произошло незначительное изменение ареалов их выпадения. В 1981-1990 гг. север был более увлажненным по сравнению с 2011-2020 гг., такая же тенденция отмечается и для юго-запада Беларуси. В то же время центральная часть республики стала получать большее количество осадков в сравнении с началом исследуемого периода.

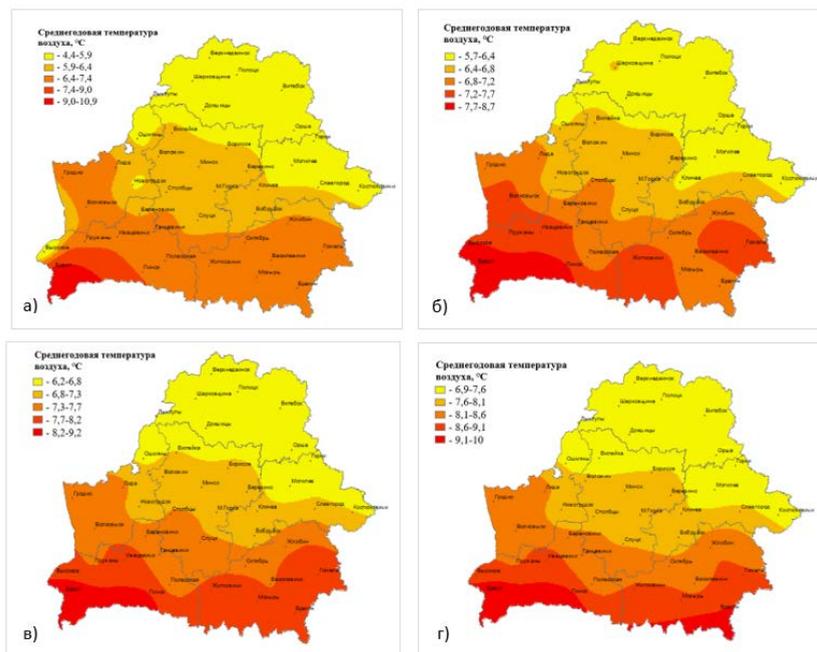
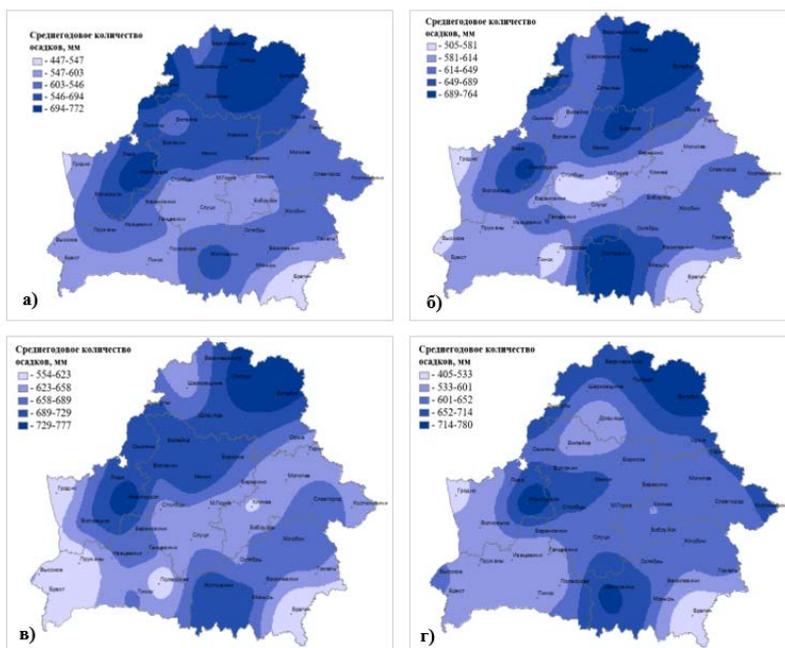


Рисунок 1 – Карты среднегодовой температуры воздуха на территории Беларуси для различных периодов: а) 1981-1990 гг.; б) 1991-2000 гг.; в) 2001-2010 гг.; г) 2011-2020 гг., составлено по [1]

Для более детального анализа рассматриваемых параметров перспективным является использование численных методов исследования атмосферы. Элементами, наиболее часто используемыми в численном анализе, являются температура воздуха (с учетом максимальной и минимальной), осадки (дождь, снег и все виды мокрого осаджения, такие как град, роса, изморозь, иней и оседающий туман), влажность, атмосферная циркуляция (скорость и направление ветра), атмосферное давление, испарение, солнечный свет и текущая погода (например, туман, град и гром). Важно отметить, что между временными и пространственными масштабами приведенных климатических явлений существует определенное взаимное соответствие, что является существенным аспектом при статистическом и численном анализе.



*Рисунок 2 – Карты среднегодовой количества осадков на территории Беларуси для различных периодов: а) 1981-1990 гг.; б) 1991-2000 гг.; в) 2001-2010 гг.; г) 2011-2020 гг., составлено по [1]*

Для региональных (локальных) климатических моделей и систем глобальные модели являются системами, определяющими начальные и граничные условия (за которые принимаются климатические параметры). Результаты глобального моделирования (глобальная динамика атмосферы, характеристики подстилающей поверхности и т.п.) являются своеобразным фоном, на котором развиваются погодные и климатические явления меньших масштабов.

### Список литературы

1. ГКК. (1995-2020 гг.) Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свидетельства 0870100021. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.
2. Государственное учреждение «Белгидромет» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belgidromet.by/ru/news-ru/view/opasnye-javlenija-pogody-v-teplyj-period-goda-grozy-livni-shkvaly-grad-3201>. – Дата доступа: 18.02.2023.
3. Данилович И.С., Пискунович Н.Г. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология, № 2, 2021. С. 32-44.
4. Данилович, И.С., Логинов, В.Ф. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси // Центральноазиатский журнал географических исследований, No. 1-2, 2021. pp. C.35-48.
5. Логинов В.Ф., Лысенко С.А., Мельник В.И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. Минск: Энциклопедикс, 2020. С. 264.

## ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА МИГРАЦИЮ ПТИЦ НА ПРИМЕРЕ АЭРОДРОМА ПУЛКОВО

Нестерова А.О., Волобуева О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*lina01nesterova@mail.ru, ovvolobueva@rshu.ru*

*Аннотация.* В работе рассмотрены и исследованы синоптические ситуации и их влияние на миграции птиц за период 2020-2021 гг. в районе аэродрома Пулково.

*Ключевые слова.* Аэропорт, миграции птиц, синоптические ситуации, погода, авиация.

## IMPACT OF WEATHER CONDITIONS ON BIRD MIGRATION ON THE EXAMPLE OF PULKOVO AIRFIELD

Nesterova A.O., Volobueva O.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Abstract.* Synoptic situations and their influence on bird migrations for the period 2020-2021 in the area of Pulkovo airfield are considered and investigated in the work.

*Keywords.* Airport, bird migrations, weather, synoptic situations, aviation.

Главная задача метеорологического обслуживания авиации – это обеспечение и повышение безопасности на протяжении всех этапов полётов. Одной из причин, по которой могут происходить авиационные происшествия является столкновение самолётов с птицами (ССП; в английском языке – bird strike). Частота ССП возросла с развитием реактивных двигателей, поскольку скорость ВС увеличилась, а шум перед двигателями уменьшился, и птицам стало труднее уклоняться от столкновения [2]. Они стали попадать в двигатели, что приводит к их полному отказу, возникновению «язычка» пламени или к разрушению. А также врезаться в окна в кабине пилотов, оставляя трещины или разбивая их, в крыло, носовые части, фюзеляж и обтекатели антенн.

Для анализа был выбран аэродром Пулково, поскольку через него проходит южная ветвь Беломоро-Балтийского пролётного пути. Из птиц встречаются различные виды чаек, стрижи, пустельги, чибисы, гуси и другие представители пернатых.



Рисунок 1 – Повреждение носовой части Boeing 737-800 [4]

### Способы отпугивания птиц

1. *Биоакустическое отпугивание.* Включает в себя крики хищников, тревоги. При применении данного способа нужно учитывать погодные условия, поскольку встречный и боковой ветер, осадки (дождь) уменьшают дальность звучания сигнала.

2. *С помощью пиротехнических акустических средств.* Осуществляется выстрелами в сторону птиц на таком расстоянии, чтобы ракета пролетела поблизости от них. Также

применяют ружья, специальные пугачи, в которых автоматически взрывается газ (применяют редко из-за низкой эффективности);

3. *Визуальные отпугивания* (пугала, флажки, огни, воздушные змеи в виде ястребов);

4. *Отпугивание с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)*;

5. *Радиоэлектронное и электромагнитное отпугивание и объединенные автоматизированные системы управления птицами.* Применяется в соответствии с законодательством о санитарном эпидемиологическом благополучии населения.

6. *Использование обученных соколов и патрульных собак [3].*



*Рисунок 2 – Гром-пушка и диско-шар для отпугивания птиц*

#### Влияние синоптических процессов на миграцию птиц

Л.Ф. Назаренко и Л.А. Амонским были введены такие понятия синоптических процессов как «стимулирующие» и «блокирующие», то есть процессы, которые стимулируют или блокируют миграцию птиц [1].

Массовые перемещения птиц стимулирует тёплая зима, ранняя весна и простые метеорологические условия, которые формируются на западных перифериях антициклонов, в тёплых секторах циклонов или между переходными зонами циклонов и антициклонов. Осенью перемещения наблюдаются при ранних похолоданиях, вторжениях арктического воздуха в тыловой части циклонов и по восточной периферии антициклонов.

Перемещение птиц блокируют циклоны и атмосферные фронты, характеризующиеся порывами ветра, зонами турбулентности, туманами, низкой облачностью. Минимальная интенсивность миграции выпадает на дни, когда наблюдаются грозы и ливни.

#### Физико-географическое и климатическое описание района аэродрома (аэропорт Пулково)

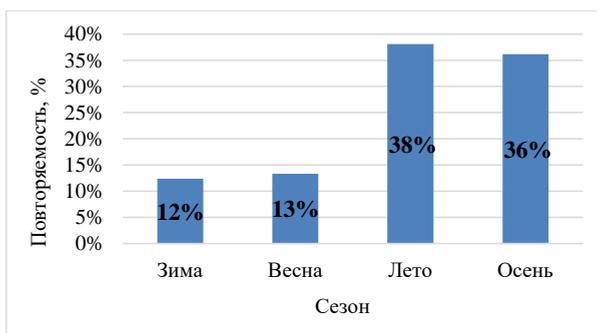
Аэродром находится в 15 километрах на юг-юго-запад от г. Санкт-Петербурга. Расположен на Приневской равнине, простирающейся с запада на восток от побережья Финского залива до Ладожского озера. Крупных лесных массивов в районе аэропорта нет. Заболоченные почвы занимают около 50% территории района.

Аэропорт располагается в зоне переходного климата – от морского к континентальному. Активная циклоническая деятельность, частая смена воздушных масс, чаще всего приходящих с Атлантического океана, создаёт постоянную смену погодных условий.

#### Анализ орнитологической обстановки

Для анализа орнитологической обстановки по сезонам, времени суток и синоптическим ситуациям в районе аэродрома, были использованы данные по зафиксированным случаям происшествий, составленные орнитологами из Пулково.

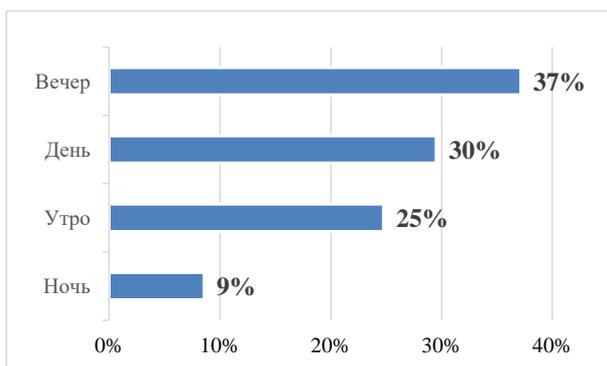
На рисунке 4 представлена повторяемость перемещения птиц по сезонам в аэропорту Пулково за период 2020-2021 гг.



*Рисунок 3 – Повторяемость перемещения птиц по сезонам в аэропорту Пулково за период 2020-2021 гг.*

На рисунке 3 видно, что наибольшее количество зафиксированных случаев за период 2020-2021 гг. наблюдалось летом (38%) и меньше всего зимой (12%). Наибольшее количество случаев летом обуславливается хорошей погодой, преимущественно перифериями циклонов и антициклонов, центрами антициклонов и малоградиентными полями повышенного давления, что способствует активной миграции. Перемещение птиц также происходило в передних частях циклонов, где погода определяется характеристиками приближающегося тёплого фронта (дожди обложного характера, падение давления, изменение направления ветра на восток).

Также была рассмотрена повторяемость случаев перемещения птиц по времени суток в аэропорту Пулково за период 2020-2021 г., представленная на рисунке 4.



*Рисунок 4 – Повторяемость случаев перемещения птиц по времени суток в аэропорту Пулково за период 2020-2021 гг.*

На рисунке 5 можно увидеть, что перемещения птиц в районе аэродрома наблюдались чаще всего вечером (37%) и меньше всего ночью (9%). Наибольшее количество происшествий в вечернее и наименьшее в ночное время может быть связано с птицами, остановившимися на отдых или ночлег или активными в данное время суток.

На рисунке 6 представлен пример типовых синоптических ситуаций в дни, когда были зафиксированы перемещения птиц за период 2020-2021 гг. в Пулково.



Рисунок 5 – Типовые синоптические ситуации в аэропорту Пулково за период 2020-2021 гг.

Наибольшее количество случаев перемещения птиц наблюдалось в дни, когда аэропорт находился под влиянием гребней (15%) и центров антициклонов (12%), наименьшее количество – при влиянии тыловой части циклона и вторичных холодных фронтов (по 1%).

Наибольшее количество случаев в гребнях и центрах антициклонов можно объяснить малооблачной и сухой погодой, хорошей видимостью. Зимой могут образовываться слоистые облака, а летом – ночные и утренние туманы, которые будут приостанавливать перемещение птиц [5].

Зафиксированные случаи на перифериях циклонов и антициклонов (южная – 10%, западная – 9%) обосновываются облачной с прояснениями погодой, возможное влияние погодных условий другого барического образования. На западных перифериях антициклонов наблюдаются наименьшие скорости ветра, на южных и западных четвертях циклонов – наиболее сильный.

**Заключение.** В представленной работе, на основе данных орнитологической службы аэропорта Пулково, было проведено исследование по сезонам, времени суток и синоптическим ситуациям за период с 2020 по 2021 гг., которые привели к кочёвке птиц. По сезонам за 2020-2021 гг. больше всего случаев было зафиксировано летом (38%) и меньше зимой (12%). По времени суток перемещения птиц в районе аэродрома наблюдались чаще всего вечером (37%) и меньше всего ночью (9%).

Анализ синоптических ситуаций, при которых возникали миграции, показал, что чаще случаи наблюдались на гребнях (15%) и в центрах антициклонов (12%), наименьшее количество – при влиянии тыловой части циклона и вторичных холодных фронтов (по 1%).

В результате проведенного анализа можно отметить важность информации о метеорологической обстановке, характеризующейся изменением метеорологических характеристик, которые могут способствовать либо блокировке миграции и скоплению птиц на аэродроме, либо стимулированию птиц к полётам, в том числе на больших высотах, что создаёт опасные ситуации для полётов воздушных судов.

### Список литературы

1. Назаренко Л.Ф., Амонский Л.А. Влияние синоптических процессов и погоды на миграцию птиц в Причерноморье. – Киев-Одесса: Вища школа, 1986. – 183 с.
2. Зырянова У.П., Гусарова В.С., Миронова Т.В., Vlatnou E. Этапы становления авиационной орнитологии как науки. – Ульяновский государственный технический университет, 2021. – с. 39-43.

3. Федеральные авиационные правила «Правила эксплуатации аэродромов гражданской авиации». Часть 1 «Борьба с опасностью, создаваемой живой природой».
4. Airline Ratings. [Электронный ресурс]: <https://www.airlineratings.com/>
5. Нестерова А.О., Волобуева О.В. Влияние синоптических процессов на миграцию птиц в районе аэродрома Пулково. – Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Иркутск, 23-25 ноября 2022 г. С. 354-360.

## **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ФАЗЫ БУТОНИЗАЦИИ ВИНОГРАДА В КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЙ**

Новикова О.А., Нестерова А.О., Волобуева О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*xelga.tyan@mail.ru, lina01nesterova@mail.ru, ovvolobueva@rshu.ru*

*Аннотация.* В статье оценивается изменение фазы бутонизации винограда, произрастающего в Курганской области, и идентифицируются возможные причины этих изменений. Фаза бутонизации является одной из важнейших стадий развития виноградной лозы. В этот период происходит формирование цветочных почек, из которых в дальнейшем вырастут цветки. Результаты основаны на метеорологических данных и наблюдениях за фенологическими фазами винограда в период с 1980 по 2022 годы. Температура воздуха и количество осадков в период с марта по май оказывают особое влияние на фазу бутонизации. Исследование выявило значительные изменения этих показателей за исследуемый период, связанные с глобальным изменением климата. Полученные результаты могут быть полезны для специалистов виноделия и сельского хозяйства в целом.

*Ключевые слова.* Виноград, фаза бутонизации, климатические изменения, температура воздуха, количество осадков, почвенные условия, заморозки, влажность почвы.

## **ASSESSING CHANGES IN GRAPEVINE BUD BREAK PHASE IN THE KURGAN REGION: EXPERIMENTAL ASPECTS AND POTENTIAL CAUSES OF CHANGES**

Novikova O.A., Nesterova A.O., Volobueva O.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Abstract.* The article evaluates the change in the budding phase of grapes growing in the Kurgan region and identifies the possible causes of these changes. The budding phase is one of the most important stages in the development of the vine. During this period, the formation of flower buds occurs, from which flowers will grow in the future. The results are based on meteorological data and observations of the phenological phases of grapes from 1980 to 2022. Air temperature and rainfall between March and May have a particular influence on the budding phase. The study revealed significant changes in these indicators over the study period associated with global climate change. The results obtained can be useful for specialists in winemaking and agriculture in general.

*Keywords.* Grapes, budbreak phase, climate change, air temperature, precipitation, soil conditions, frost, soil moisture.

Выращивание винограда является одним из видов сельскохозяйственной деятельности в курганской области России. Качество и количество урожая винограда зависят от различных факторов, включая погодные условия, качество почвы и агротехнику. Один из наиболее важных этапов жизненного цикла виноградной лозы - стадия бутонизации, когда формируются цветочные почки, которые дальше развиваются в цветы и затем в плоды. Время начала бутонизации зависит от таких факторов, как температура, количество осадков и влажность почвы.

В последние годы все больше возникает опасений о влиянии изменения климата на сельскохозяйственную продуктивность, особенно в регионах с традиционным выращиванием винограда. Исследования последних лет говорят об изменениях времени начала бутонизации и других фенологических стадий в различных виноградарствующих регионах мира. Поэтому важно понимать факторы, влияющие на стадию бутонизации в конкретном регионе и оценивать изменения, произошедшие с течением времени [4].

#### Климат Курганской области в наблюдаемый период

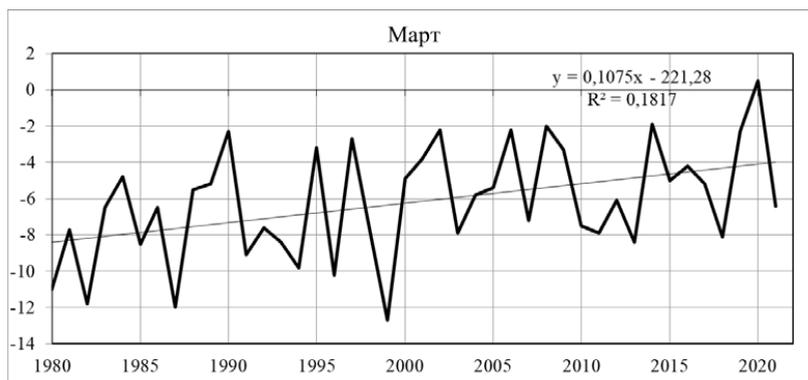
Курганская область расположена в умеренно-континентальном климатическом поясе, где характерны длинные, холодные зимы и короткие, теплые лета. В период с марта по май в регионе происходят значительные изменения климатических условий, которые оказывают влияние на растительный и животный мир. В этот период происходит существенное увеличение среднесуточных температур, которые варьируются от +5 до +15°C. В марте средняя температура составляет около -4°C, в апреле +6°C, а в мае +14°C.

В то же время, количество осадков в этот период сильно колеблется, и в зависимости от года, может варьироваться от 30 до 70 мм. Например, в марте среднее количество осадков составляет около 30 мм, в апреле - около 40 мм, а в мае - около 70 мм.

Важно отметить, что в период с марта по май в Курганской области могут происходить заморозки, которые могут нанести вред сельскохозяйственным культурам, включая виноградные лозы. Например, минимальная температура воздуха может достигать -10°C в марте, -4°C в апреле и +1°C в мае [2].

В целом, изменения климатических условий в этот период могут значительно влиять на фенологические фазы растительности, включая фазу бутонизации у виноградных лоз. Повышение температуры воздуха в марте-мае может сократить период задержки бутонизации винограда и способствовать более раннему началу вегетации. Однако, слишком высокая температура может привести к преждевременному росту и увеличить риск повреждения растений заморозками, которые могут наблюдаться в эти периоды в Курганской области. Также, слишком высокая температура может повысить влажность почвы, что может негативно сказаться на росте растений и ухудшить качество урожая. Оптимальная температура для роста виноградной лозы в фазу бутонизации составляет около 15-20 °C [1, 4].

Оценка сдвига фазы бутонизации виноградных лоз в условиях изменяющегося климата Курганской области. В рамках проведенного исследования был выполнен анализ данных о ходе среднемесячной температуры воздуха за март (рисунок 1), апрель (рисунок 2), май (рисунок 3), в период с 1980 года по 2021 гг.



*Рисунок 1 – Ход среднемесячной температуры воздуха за март в период с 1980 – 2021 гг.*

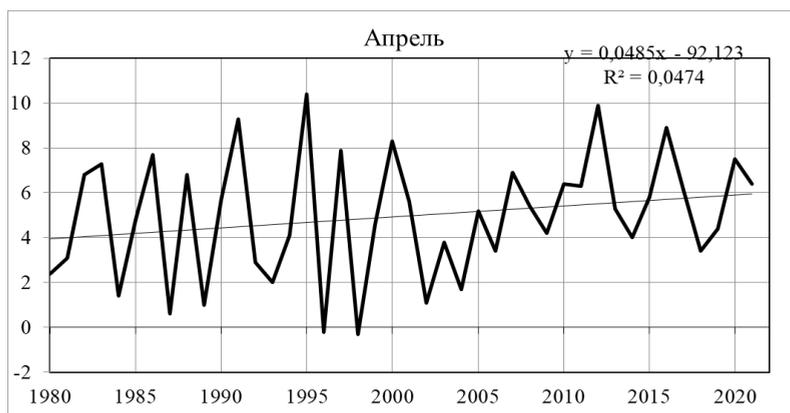


Рисунок 2 – Ход среднемесячной температуры воздуха за апрель в период с 1980 – 2021 гг.

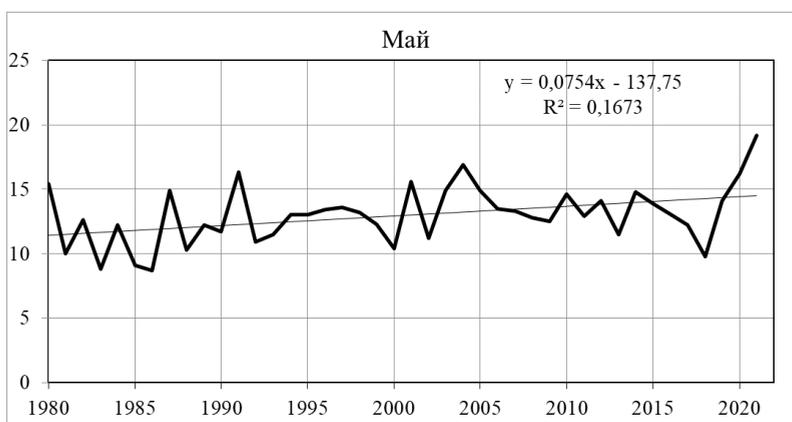


Рисунок 3 – Ход среднемесячной температуры воздуха за май в период с 1980 – 2021 гг.

По результатам анализа графиков было выявлено, что за наблюдаемый период имеет место тенденция к увеличению среднемесячной температуры воздуха в указанные месяцы. Была также построена линия тренда и оценена достоверности аппроксимации, что позволило установить значимость тренда в марте и мае, указывающую на рост среднемесячной температуры [3].

Анализ суточного хода температуры почвы на глубинах 20-40 см в марте, апреле и мае. В ходе исследования суточного хода температуры почвы на глубинах 20 и 40 см в период с марта по май была обнаружена положительная тенденция роста суточного хода температуры в указанные месяцы. Анализ данных показал, что в марте наблюдается значимый тренд на глубинах 40 и 35 см, что свидетельствует о характерном повышении температуры почвы в этот период. В апреле значимости линии тренда не было обнаружено. В мае линия тренда оказалась значимой только на глубине 40 см, что говорит о повышении температурных условий на этой глубине, способствующих благоприятному росту винограда.

В целом, результаты исследования подтверждают положительную тенденцию изменения температурных условий в период с марта по май, что может сказаться на развитии виноградных лоз [3].

Результаты проверки значимости тренда представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Проверка значимости тренда в период 1985-2001 гг. и 2004 – 2013 гг.

Проверка значимости тренда											
Месяц	глубина в см	Среднее значение	n	R <sup>2</sup>	R	s <sub>R</sub>	R /s <sub>R</sub>	t <sub>2α=5%</sub>	H <sub>0</sub> : R = 0	Значимость тренда	
Март	20	-3,08	26	0,12	0,34	0,19	1,77	2,06	не опр	тренд незначим	
	40	-2,38	26	0,17	0,41	0,19	2,22	2,06	опр	тренд значим	
	30	-2,73	26	0,15	0,39	0,19	2,06	2,06	не опр	тренд незначим	
	35	-2,56	26	0,17	0,41	0,19	2,19	2,06	опр	тренд значим	
Апрель	20	2,70	26	0,00	0,02	0,20	0,10	2,06	не опр	тренд незначим	
	40	1,67	26	0,11	0,34	0,19	1,76	2,06	не опр	тренд незначим	
	30	2,18	26	0,02	0,13	0,20	0,66	2,06	не опр	тренд незначим	
	35	1,92	26	0,05	0,23	0,20	1,18	2,06	не опр	тренд незначим	
Май	20	10,17	25	0,01	0,10	0,21	0,48	2,07	не опр	тренд незначим	
	40	8,66	24	0,19	0,44	0,19	2,30	2,07	опр	тренд значим	
	30	9,43	25	0,06	0,25	0,20	1,25	2,07	не опр	тренд незначим	
	35	9,06	25	0,10	0,32	0,20	1,62	2,07	не опр	тренд незначим	

**Выводы.** Целью настоящего исследования было изучение климатических условий в Курганской области в период с марта по май и их влияния на растительный мир, включая фазу бутонизации виноградных лоз. Для достижения этой цели был проведен анализ данных о среднемесячной температуре воздуха и суточном ходе температуры почвы на глубинах 20 и 40 см за указанные месяцы в период 1985 – 2001 гг. и 2004 по 2013 гг.

Согласно результатам исследования, климат Курганской области в период с марта по май существенно изменялся за исследуемый период (1980-2021 гг.). Средняя температура воздуха в марте увеличилась на 1,5 градуса Цельсия (с 0,5 до 2 °С), в апреле - на 2 °С (с 6 до 8 °С), а в мае - на 1,5 °С (с 13 до 14,5 °С).

В то же время, суммарное количество осадков за период с марта по май уменьшилось на 15 мм (с 115 до 100 мм). Это может свидетельствовать об увеличении засушливости региона, что, в свою очередь, может негативно сказаться на росте винограда и изменении его фенологических фаз.

Кроме того, исследование показало, что в период с 1980 по 2021 годы продолжительность фазы бутонизации у винограда сократилась на 5 дней (с 30 до 25 дней). Такие изменения климатических условий могут существенно повлиять на фенологические фазы растительности, включая фазу бутонизации виноградных лоз. Исследование позволяет лучше понять климатические условия Курганской области в указанный период и их влияние на произрастание винограда.

### Список литературы

1. Определение фаз развития растений / И. П. Никитин, А. В. Касьянова. - М.: Колос, 1999. - 246 с.
2. Агроклиматический справочник по Курганской области / Росгидрометье, Федеральная служба гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. - Екатеринбург: УрО РАН, 2012. - 312 с.
3. Методы анализа и интерпретации экологических данных / Г. К. Маркворт, Д. У. Биггерстафф. - М.: Мир, 1999. - 432 с.
4. Воздействие климатических факторов на растительный мир / Н. В. Белова, В. П. Волков. - М.: Наука, 2006. - 216 с.

## ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

*ypereved@kpfu.ru*

*Аннотация.* Рассмотрена динамика изменения температуры воздуха в Казани в XIX-XXI веках на фоне климатических процессов, происходящих в Северном полушарии. В работе использовались апробированные статистические методы обработки временных рядов, корреляционный и тренд-анализ, фильтр Поттера для выделения низкочастотной компоненты. Установлено, что наиболее быстрыми темпами потепление в регионе происходит в зимне-весенний период. При этом последнее тридцатилетие 1991 – 2021 гг. оказалось теплее в каждом месяце, чем в 5 предыдущих. Получена оценка вклада в колебания температуры воздуха в Казани со стороны всего Северного полушария (42% зимой и 27% летом). С использованием ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям из проекта CMIP6 дана оценка будущих изменений климата в регионе, согласно которым ожидается увеличение годовой температуры в Казани к концу 21 века на 2,4°C.

*Ключевые слова.* температура воздуха, низкочастотные колебания, линейные тренды, корреляция, агроклиматические показатели.

## CLIMATE CHANGES ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Mirsaeva N.A., Nikolaev A.A.

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

*Annotation.* The dynamics of air temperature changes in Kazan in the XIX-XXI centuries against the background of climatic processes occurring in the Northern hemisphere is considered. The work used proven statistical methods of time series processing, correlation and trend analysis, and a Potter filter to isolate the low-frequency component. It is established that the fastest rate of warming in the region occurs in the winter-spring period. At the same time, the last thirty years of 1991 – 2021 turned out to be warmer in each month than in the previous 5. The contribution of the entire Northern Hemisphere to the fluctuations in the air temperature in Kazan was estimated (42% in winter and 27% in summer). Using ensemble calculations based on 40 climate models from the CMIP6 project, an assessment of future climate changes in the region is given, according to which an increase in the annual temperature in Kazan by the end of the 21st century is expected by 2.4°C.

*Keywords.* air temperature, low-frequency fluctuations, linear trends, correlation.

Введение. В последние годы опубликован ряд обобщающих докладов в которых нашли свое отражение происходящие изменения климата как на территории Земного шара [1], так и в России [2]. Актуальные проблемы по недопущению глобального превышения приповерхностной температуры воздуха порогового значения в 1,5°C относительно «доиндустриального» периода 1850 – 1900 гг. обсуждены недавно на Всемирной конференции по климату (Шарм-Эль-Шейх, Египет, октябрь 2022 г.).

В этих документах дан комплексный анализ по взаимодействию всех компонент климатической системы, включающей в себя атмосферу, гидросферу, сушу, криосферу и биосферу. Особое внимание уделено настоящим и будущим проявлениям экстремальных явлений. Подчеркивается роль антропогенного фактора в происходящих природных процессах. В настоящей статье рассматриваются долговременные климатические изменения происходящие на территории Республики Татарстан (РТ), начиная с 1828 г. по настоящее время, что оказалось возможным благодаря образованию в 1812 г. Метеорологической обсерватории при Казанском университете, первой метеостанции на Востоке России [3]. Следует отметить, что первую научную статью о климате Казани опубликовал профессор Ф.К. Броннер «Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 г.».

Материалы и методы. Цель исследования рассмотреть долгопериодные изменения температуры воздуха (ТВ) в Казани на фоне меняющегося температурного режима Северного полушария в период 1828 – 2021 гг. и оценить динамику агроклиматических

ресурсов на территории Республики Татарстан в период 1950 – 2021 гг.

Задачами исследования явились: оценка вклада глобального и циркуляционного фактора в изменения термического режима в Казани, оценка сезонных изменений температуры до конца XXI века с использованием результатов ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям проекта СМIP6.

В качестве исходных данных в работе использовались результаты наблюдений на одной из старейших в России метеостанции Казань, университет (1828 – 2021 гг.), а также результаты ежедневных наблюдений на 13 метеостанциях РТ. Для оценки долговременных изменений ТВ в Северном полушарии использовались данные приземной температуры воздуха по Северному полушарию (1850 – 2021 гг.) Университета Восточной Англии (CRU) [4].

Многолетние данные подвергались статистической обработке. Находились средние значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты наклона линейного тренда, коэффициенты корреляции между ТВ и индексами атмосферной циркуляции [5].

**Основные результаты.** Рассматривались долгопериодные колебания ТВ в Казани в период 1850 – 2021 гг. (172-летний период) на фоне изменения температуры на суше Северного полушария (СП) и СП в целом. С этой целью в рядах аномалий среднегодовых, зимних и летних температур осредненных для территории суши СП, всего полушария и Казани, рассчитанных относительно норм за 1961 – 1990 гг., выделялись низкочастотные колебания с периодом более 25 лет. Результаты представлены на рисунке 1, из которого видно, что среднегодовые температуры (СГТВ) всего СП и Казани до 1970 г. изменялись в противофазе (рисунок 1А). Так, в 1942 г. аномалия СГТВ для СП достигла максимума и составила  $+0,1^{\circ}\text{C}$ , а в Казани, наоборот, отмечен минимум  $-0,6^{\circ}\text{C}$ , т.е. в регионе наблюдалось похолодание. С 1970-х годов по 2021 г. СГТВ в Казани повысилась на  $2,2^{\circ}\text{C}$ , а на всем СП на  $1,7^{\circ}\text{C}$ , потепление в регионе происходило более интенсивно, чем в СП.

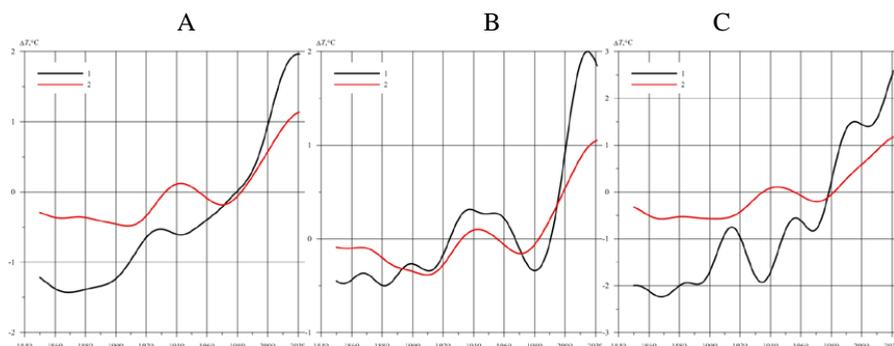


Рисунок 1 – Низкочастотная компонента аномалий (1961 -1990 гг.) температуры воздуха на ст. Казань, университет (1) и приповерхностной температуры Северного полушария (2) 1850 - 2021 гг. за год (А), лето (В), зиму (С)

В зимний период картина заметно отличается от среднегодовой (рисунок 1В). На фоне достаточно плавного повышения ТВ в СП, температура в Казани испытывает значительные колебания. В целом с 1870 г. зимняя ТВ в Казани повысилась на  $4,7^{\circ}\text{C}$ , при этом наибольший прирост ( $3,3^{\circ}\text{C}$ ) пришелся на фазу активного потепления климата (с 1970 г.). В СП зимняя температура повысилась за весь период лишь на  $1,6^{\circ}\text{C}$ . В летний период (рисунок 1В) отмечаются значительные квазисинхронные колебания ТВ в Казани и в СП. Так, в 1910 г. отмечается минимум ТВ, в 1940 г. – максимум, затем в 1970 – 1980 гг. вновь минимум ТВ, и начиная с середины 1970-х г. в СП, а в Казани лишь с 1980 г. отмечается ее интенсивный подъем (потепление). Этот прирост для СП составил  $1,2^{\circ}\text{C}$ , а для Казани  $2,3^{\circ}\text{C}$ . Обнаруженный «горб» на низкочастотной кривой температуры воздуха в период 1920 – 1960

гг. можно объяснить с позиций учета двух факторов. В период 1918 – 1947 гг. прямая радиация в условиях повышенной прозрачности атмосферы в СП была на 2% больше, чем в более ранний период 1888 – 1917 гг., что привело к возрастанию температуры в Казани примерно на 0,7°C. Кроме того, не исключается влияние квазишестидесятилетнего цикла, отмеченного в колебаниях температуры [6, 7].

В таблице 1 представлены осредненные по 30-летним периодам температуры воздуха по месяцам, основным сезонам и годам для ст. Казань, университет. Как и следовало ожидать, последнее тридцатилетие (1991 – 2020 гг.) оказалось теплее предыдущих во всех месяцах года. Следует отметить, что данные таблице 1 относящиеся к сезонам и году хорошо коррелируют с данными рисунка 1. Они также позволяют выделять периоды колебаний температуры (потеплений и похолоданий).

Таблица 1 – Тридцатилетние нормы температуры воздуха (°C) на метеорологической станции Казань, университет за 1841–2020 гг.

Month	Period					
	1841-1870	1871-1900	1901-1930	1931-1960	1961-1990	1991-2020
I	-13.73	-14.26	-12.26	-12.42	-12.25	-9.46
II	-11.97	-12.54	-12.01	-12.17	-10.64	-9.15
III	-7.07	-6.58	-5.93	-5.81	-4.19	-2.69
IV	2.89	2.91	4.29	4.51	5.42	6.41
V	12.12	12.94	12.66	12.79	13.81	14.63
VI	17.48	17.05	17.96	18.48	17.89	18.89
VII	20.15	19.80	19.73	20.17	20.15	21.23
VIII	17.57	17.44	17.50	18.18	17.75	18.90
IX	11.26	10.81	11.26	12.17	11.82	12.92
X	3.80	3.94	3.47	4.23	4.47	5.84
XI	-3.60	-4.15	-3.38	-3.04	-2.68	-1.94
XII	-11.35	-10.65	-10.33	-9.59	-8.34	-7.49
Год	3.13	3.06	3.58	3.96	4.44	5.68
Лето	18.40	18.10	18.40	18.94	18.60	19.70
Зима	-12.32	-12.58	-11.47	-11.52	-10.38	-8.65

Рассчитанные за весь период (1828 – 2021 гг.) коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) показали, что в зимний период температура воздуха повышалась со скоростью 0,24°C/ 10 лет, летом потепление было выражено заметно слабее (КНЛТ=0,10°C/ 10 лет). В целом наибольшие значения КНЛТ приходятся на зимне-весенние месяцы (в декабре КНЛТ=0,28, в марте 0,25°C/ 10 лет), которые и обусловили основной вклад в годовое потепление климата региона. Следует отметить, что колебания ТВ в Казани тесно связаны с колебаниями ТВ в целом всего СП. Коэффициенты корреляции ( $r$ ) рассчитанные между ТВ Казани и СП для периода 1850 – 2021 гг. оказались значимыми для всех месяцев года и изменялись в пределах: от 0,40 (июнь, июль) до 0,68 (январь, март). Величины  $r$  для года, лета и зимы оказались равными 0,79; 0,52; 0,66 соответственно, что соответствует вкладу глобального вклада в региональный на уровне 63% (для года), 27% (лета), 43% (зимы). Весомый вклад в изменения ТВ вносят и циркуляционные моды [8, 9]. Зимой коэффициенты корреляции между ТВ в Казани и индексом Северо-Атлантического колебания достигает 0,60 (отепляющее воздействие), Скандинавское колебание приводит к понижению зимой ТВ ( $r=-0,49$ ), в летний период главная роль в охлаждении региона принадлежит колебанию Восточная Атлантика – Западная Россия ( $r=-0,71$ ).

Для оценки будущих изменений ТВ в Казани были привлечены результаты ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям проекта CMIP6. Были выбраны 2 сценария: наиболее вероятный (умеренный) сценарий ssp245, согласно которому к концу 21

века радиационное воздействие увеличится на  $4,5 \text{ Вт/м}^2$  по сравнению с периодом до 1750 г., а концентрация  $\text{CO}_2$  возрастет до  $600 \text{ млн}^{-1}$  (в настоящее время она порядка  $420 \text{ млн}^{-1}$ ). При жестком сценарии ssp585 радиационное воздействие возрастет на  $8,5 \text{ Вт/м}^2$  и концентрация  $\text{CO}_2$  увеличится в 4 раза. Результаты расчетов по 20-летним периодам представлены в таблице 2.

Согласно расчетам прогнозных средних сезонных и годовых величин температуры воздуха в Казани в 21 веке при различных климатических сценариях, по наиболее вероятному сценарию ТВ в Казани между 2021 - 2040 и 2081 – 2100 гг. зимой возрастет на  $2,8^\circ\text{C}$ , весной на  $2,37^\circ\text{C}$ , летом на  $1,2^\circ\text{C}$ , на  $2,12^\circ\text{C}$  осенью и за год на  $2,4^\circ\text{C}$ , т.е. потепление будет происходить в основном в холодное время года. Согласно жесткому сценарию в конце столетия годовая температура возрастет на  $5,5^\circ\text{C}$ , а зимой на  $6,6^\circ\text{C}$ .

В качестве последствий климатических изменений рассмотрим динамику агроклиматических ресурсов РТ в период 1966 – 2021 гг. Вначале рассмотрим основные параметры вегетационного периода, связанные с переходом средней суточной температуры воздуха (ССТ) через определенные пределы. Анализ полученных результатов определения дат перехода ССТ через значение  $10^\circ\text{C}$  весной и осенью по методике Педа [10], продолжительности периода с  $\text{ССТ} > 10^\circ\text{C}$ , сумм температур и осадков показал, что между станциями нет больших различий (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики периода со среднесуточными температурами более  $10^\circ\text{C}$

Станция	Индекс сухости (лето)		ГТК		КУ	
	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет
Арск	2,72	0,10	1,05	-0,2	0,91	-0,2
Елабуга	2,94	0,23	1,09	-0,2	0,92	-0,3
Вязовые	3,00	0,04	1,01	0,0	0,83	0,0
Казань	2,70	0,16	1,07	-0,4	0,92	-0,2
Мензелинск	2,86	0,15	1,00	-0,3	0,83	-0,3
Кайбицы	3,16	0,15	0,96	-0,4	0,81	-0,2
Муслюмово	3,13	0,21	0,98	-0,3	0,77	-0,2
Акташ	3,26	0,17	0,98	-0,2	0,83	-0,1
Азнакаево	3,05	0,37	1,06	-0,3	0,88	-0,2
Тетюши	2,93	0,09	1,00	-0,2	0,84	-0,1
Дрожжаное	2,81	0,11	1,05	-0,1	0,86	-0,2
Бугульма	2,87	0,38	1,16	-0,4	0,94	-0,3
Чулпаново	3,12	0,19	0,98	-0,3	0,81	-0,2

Примечание: Начало и конец периода вычисляются в днях от начала года.

Следует отметить, что весной начало рассматриваемого периода смещается на более ранние сроки со скоростью  $0,2 \text{ дня}/10 \text{ лет}$ , а осенью переход наступает позднее со скоростью  $1,4 \text{ дня}/10 \text{ лет}$ .

**Выводы.** В результате выполненного исследования получены новые данные об изменчивости основных климатических показателей в регионе за длительный период:

1. В 1828- 2021 гг. в Казани во всех месяцах выявлена неравномерная тенденция роста ТВ: максимальная скорость потепления в декабре (КНЛТ= $0,28^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ ) и в марте (КНЛТ= $0,25^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ ), минимальная в июле (КНЛТ= $0,09^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ ).

2. Выявлен вклад глобального фактора потепления в региональный – для года это 63%, для лета 27% и 43% для зимы. В зимний период температура в Казани имеет достаточно высокую зависимость от Северо-Атлантического колебания (коэффициент корреляции равен 0,60) и от Скандинавского колебания ( $r=-0,49$ ). В летний период тесная связь устанавливается между ТВ Казани и колебанием Восточная Атлантика – Западная Россия ( $r=-0,71$ ). Зимой Северная Атлантика способствует нагреву региона, а летом охлаждению.

3. Переход ССТ через  $10^\circ\text{C}$  весной на территории РТ происходит на 122–126 сутки от начала года, а осенью заканчивается на 268–271 сутки. Продолжительности активной фазы

вегетационного периода растет со скоростью от 0,57 до 3,38 суток/10 лет за счет ее более раннего наступления весной и более позднего завершения осенью.

4. Сумма активных температур в РТ растет со скоростью 51–77°C/10 лет, в поле атмосферных осадков, наоборот, проявляется неоднородность: по данным одних станция суммы осадков уменьшаются, а по другим растут.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ и Кабинета Министров Республики Татарстан в рамках научного проекта № 22-27-20080.

### Список литературы

1. Шестой оценочный доклад МГЭИК. Изменение климата 2022: последствия, адаптация и уязвимость. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2022 г.
3. Смоляков П.Т. К 125-летию Метеорологической обсерватории Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина. Уч. Записки Казанск. ун-та, 1936, т.96, кн. 1, с. 9 – 14.
4. <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit/data>, дата доступа 28.12.2022 г.
5. Отнес Р.К. Прикладной анализ временных рядов. М., Мир, 1982 г. - 428 с.
6. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л., Гидрометеиздат, 1971 г. - 472 с.
7. Груза Г.В., Ранкова Е.Ю. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата в России: температура воздуха. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 2012 г. - 194 с.
8. Brohan P. et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. J. Geophys. Res. 2006, 111, D12106, doi: 10.1029/2005JD006548.
9. Доценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А., Клищенко Н.Н., Сонечкин Д.М. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет. Вестник Российской академии наук. 2004, 399, 2, 253-256.
10. Педь Д.А. Определение дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология, 1951, №10, с. 38-39.

## ФРАКТАЛЬНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА ГОРЕ ЦУГШПИТЦЕ (ГЕРМАНИЯ)

Рябова С.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук, Москва

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва  
[riabovasa@mail.ru](mailto:riabovasa@mail.ru)

*Аннотация.* Цель настоящей работы заключалась в изучении мультифрактальных особенностей температуры воздуха на горе Цугшпитце (47°25'00" с.ш., 10°58'59" в.д.) на основе метода мультифрактального флуктуационного анализа. Метеостанция расположена на высоте 2574 м над уровнем моря. Рассматривались временные ряды минимальной, максимальной и средней суточной температуры за период с 1 августа 1900 г. по 31 января 2023 г.

*Ключевые слова.* Температура воздуха, фрактальность, монофрактальность, флуктуационная функция, показатель Херста, спектр сингулярности.

## FRACTALITY OF AIR TEMPERATURE ACCORDING TO THE DATA OF MEASUREMENTS ON ZUGSPITZE MOUNTAIN (GERMANY)

Riabova S.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>2</sup> Schmidt Institute of Geosphere Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow

*Annotation.* The purpose of work was to study the multifractal features of air temperature on the Zugspitze mountain (47°25'00" N, 10°58'59" E) based on the method of multifractal fluctuation analysis. The weather station is located at an altitude of 2574 m above sea level. The time series of the minimum, maximum and mean daily temperature for the period from August 1, 1900 to January 31, 2023 were considered.

*Keywords.* Air temperature, fractality, monofractality, fluctuation function, Hurst exponent, singularity spectrum.

В последние десятилетия интерес к климату и его изменениям сильно возрос поскольку климат – важнейшая составляющая природной среды обитания человека и общества. Вариации метеорологических параметров, определяющих климатическую систему, характеризуются случайными колебаниями в разных временных и пространственных масштабах, возникающими под воздействием сложных природных процессов, которые невозможно полностью проанализировать, используя только линейные статистические или физические методы [1]. Таким образом, такую сложную систему, как климат, необходимо дополнительно анализировать с привлечением развивающихся сейчас методов анализа динамики нелинейных систем [2, 3].

Одним из методов исследований нелинейных сложных процессов, получившим в последнее время широкое развитие в самых разнообразных областях науки, является мультифрактальный анализ [4–6]. Что касается метеорологии и климатологии, то здесь мультифрактальные методы в основном привлекаются при анализе данных об осадках, причем исследования варьируют от простых эмпирических исследований [7, 8] до выделения однородных областей осадков [9] и проверки моделей осадков [10]. Здесь следует отметить, что исследований, посвященных анализу мультифрактальности временных вариаций температуры воздуха, значительно меньше [11, 12].

Цель настоящей работы заключалась в изучении мультифрактальных особенностей температуры воздуха на горе Цугшпитце.

Цугшпитце – самая высокая гора на территории Германии и самая высокая вершина гор хребта Веттерштайнс (Северные Известняковые Альпы). Точная высота горы составляет 2962 м над уровнем моря.

Гора Цугшпитце расположена в умеренной климатической зоне с преобладающими западными ветрами. Будучи первым высоким орографическим препятствием для западных ветров в Альпах Цугшпитце особенно подвержена влиянию погоды. На горе Цугшпитце преобладают морозные дни (период с отрицательными температурами длится в среднем 310 суток в году). Кроме того, погодные условия Фена влияют на горный массив в другом направлении, время их воздействия на регион невелико и составляет порядка 60 суток в году.

В настоящей работе использовались данные инструментальных наблюдений за вариациями температуры воздуха на метеостанции, расположенной на высоте 2574 м на горе Цугшпитце. Географические координаты: 47°25'00" с.ш., 10°58'59" в.д.

Рассматривались суточные данные за период с 1 августа 1900 г. по 31 января 2023 г. В данных регистрации температуры имеется единственный пропуск, с 1 мая по 14 августа 1945 г., который при выполнении настоящих исследований восстанавливался с помощью метода на основе вейвлет-преобразования, представленного в работе [13]. Анализировались три временных ряда: минимальная, максимальная и средняя суточная температура.

При исследовании мультифрактальной структуры временных рядов использовался

метод мультифрактального флуктуационного анализа [14]. Анализ показал, что для рассматриваемых временных рядов (минимальная, максимальная и средняя суточная температура) характерна годовая периодичность с максимумом температуры в летний период (июль, август) и минимумом в зимний период (февраль).

В ходе тестирования метода мультифрактального флуктуационного анализа было установлено, что периодические тренды искажают результаты мультифрактального анализа. Поэтому перед применением метода мультифрактального флуктуационного анализа из временных рядов минимальной, максимальной и средней температуры воздуха удалялась сезонная вариация с помощью метода Loess, описанного в работе [15].

Поскольку результаты получились аналогичными для всех рассматриваемых в настоящей работе рядов, более подробно покажем результаты на примере вариаций минимальной суточной температуры на горе Цугшпитце.

В качестве параметров, характеризующих фрактальность временных рядов, использовались следующие параметры: флуктуационная функция  $F_q(s)$  для различных моментов  $q$  ( $s$  – длина сегмента, при проведении настоящего исследования выбиралась в диапазоне от  $10^{1.5}$  до  $10^{3.5}$  суток), обобщенный показатель Херста  $h(q)$  и спектр сингулярности.

Как видно из рисунка 1, до 90 суток флуктуационная функция имеет практически линейный вид, однако при отрицательных значениях момента  $q$  и при длинах сегмента в диапазонах от  $\sim 30$  до  $\sim 90$  суток наблюдается нарушение линейного хода. На основании этих данных можно сделать вывод о монофрактальном поведении флуктуационной функции на больших масштабах (большие сегменты  $s$ ).

В целом временной ряд минимальной суточной температуры проявляет свойство мультифрактальности, что подтверждает нелинейное поведение зависимости обобщенного показателя Херста  $h(q)$  от момента  $q$ . Для всех моментов  $q$   $h(q) > 0.5$ . Такое значение обобщенного показателя Херста говорит о персистентности вариаций температуры.

Анализ спектра сингулярности для временного ряда минимальной суточной температуры воздуха на горе Цугшпитце показал, что он имеет левое усечение и длинный правый хвост. Это связано с мультифрактальной структурой рассматриваемых временных рядов, нечувствительной к локальным флуктуациям большой величины.

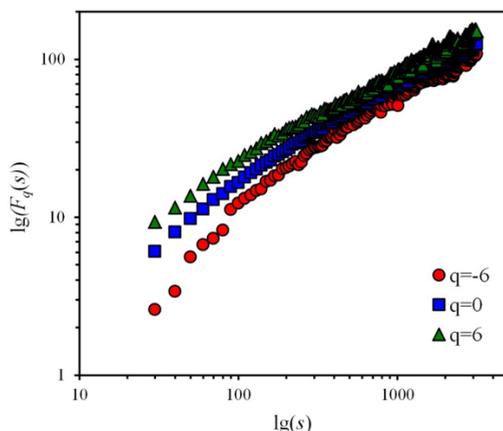


Рисунок 1 – Зависимость флуктуационной функции  $F_q(s)$  для моментов  $q = -6, 0, 6$  от длины сегмента  $s$  для временного ряда минимальной суточной температуры воздуха

Источник финансирования. Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 «Проявление процессов природного и техногенного

происхождения в геофизических полях» и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

### Список литературы

1. Rial J.A., Pielke R.A., Beniston M., Claussen M., Canadell J., Cox P., Held H., de Noblet-Ducoudre N., Prinn R., Reynolds J.F., Salas J.D. Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system // *Climatic Change*. 2004. V. 65. P. 11–38.
2. Антуков В.Н., Мутин В.Ю. Фрактальный анализ метеорологических рядов с помощью метода минимального покрытия // *Географический вестник*. 2021. № 2. С. 67–79.
3. Govindan R.B., Vyushin D., Bunde A., Brenner S., Havlin S., Schellnhuber H.J. Global climate models violate scaling of the observed atmospheric variability, *Physical Review Letters*. 2002. V. 89. No. 2. doi: 10.1103/PhysRevLett.89.028501.
4. Тараненко А.М. Фракталы и мультифракталы в электрокардиограммах и электроэнцефалограммах: Информативность и новые возможности // *Современные проблемы науки и образования*. 2019. № 6. doi: 10.17513/spno.29500.
5. Liu Y., Cizeau P., Meyer M., Peng C.K., Stanley H.E. Correlations in economic time series // *Physica A*. 1997. No. 245. P. 437–440.
6. Riabova S.A. Study of the multifractality of geomagnetic variations at the Belsk Observatory // *Doklady Earth Sciences*. 2023. Vol. 508. No. 1. P. 93–97.
7. Sivakumar B. Fractal analysis of rainfall observed in two different climatic regions // *Hydrological Sciences Journal*. 2000. V. 45. No. 5. P. 727–738.
8. Svensson C., Olsson J., Berndtsson R. Multifractal properties of daily rainfall in two different climates // *Water Resources Research*. 1996. V. 32. No. 8. P. 2463–2472.
9. Garcia-Marin A.P., Estevez J., Medina-Cobo M.T., Ayuso-Munoz J.L. Delimiting homogeneous regions using the multifractal properties of validated rainfall data series // *Journal of Hydrology*. 2015. V. 529. No. 1. P. 106–119.
10. Garcia-Marin A.P., Jimenez-Hornero F.J., Ayuso-Munoz J.L. Multifractal analysis as a tool for validating a rainfall model // *Hydrological Processes*. 2008. V. 22. No. 14. P. 2672–2688.
11. Kalamaras N., Tzani C.G., Deligiorgi D., Philippopoulos K., Koutsogiannis I. Distribution of air temperature multifractal characteristics over Greece // *Atmosphere*. 2019. V. 10. No. 2. doi: 10.3390/atmos10020045.
12. Jiang L., Zhang J., Liu X., Li F. Multi-fractal scaling comparison of the air temperature and the surface temperature over China // *Physica A*. 2016. No. 462. P. 783–792.
13. Сидак С.В. Восстановление пропущенных значений температуры воздуха с использованием вейвлетов // *Устойчивое развитие: региональные аспекты: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 24–26 апреля 2019 г. Брест: БрГТУ, 2019. С. 141–143.*
14. Ihlen E.A.F. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab // *Frontiers in Physiology*. 2012. Vol.3. doi: 10.3389/fphys.2012.00141.
15. Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on Loess // *Journal of Official Statistics*; Stockholm. 1990. V. 6. No. 1. P. 3–33.

### АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ РАСЧЕТА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Седова А.А., Хайретдинова В.Р., Нафикова Э.В., Шаниязова А.Ф.  
Уфимский университет науки и технологий, Уфа  
anechka24\_99@mail.ru

*Аннотация.* Рассматриваются методики расчета углеродного следа от автомобильного транспорта.  
*Ключевые слова.* Автомобильный транспорт, углеродный след, выбросы, парниковые газы

## ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF CALCULATING THE CARBON FOOTPRINT OF ROAD TRANSPORT

Sedova A.A., Khayretdinova V.R., Nafikova E.V., Shaniyazova A.F.  
Ufa University of Science and Technology, Ufa

*Annotation.* The methods of calculating the carbon footprint of road transport are considered.

*Keywords.* Road transport, carbon footprint, emissions, greenhouse gases.

Углеродный след – это количество выбросов диоксида углерода ( $CO_2$ ), связанных с отдельным человеком, организацией, продуктом или транспортом. Вред от автомобильного транспорта для экологии измеряется не только в количестве диоксида углерода, которое выделяется при сжигании топлива, но и «углеродным следом», под которым понимаются вредные выбросы транспортного средства, производимые за все время его жизненного цикла [1].

Большой проблемой в настоящее время является отсутствие стандарта, по которому однозначно может быть оценен углеродный след, в результате этого расчеты различаются по своей структуре и получаемым результатам при аналогичных исходных данных.

Существует множество различных инструментов для расчета углеродных следов для частных лиц, предприятий и других организаций, в том числе и для автомобильного транспорта. Обычно используемые методики для расчета углеродного следа включают протокол GHG и ISO 14064, стандарт, разработанный Международной организацией по стандартизации, специально посвященный выбросам парниковых газов.

Методика оценки и учета выбросов парниковых газов, получившей наибольшее распространение, является Протокол по выбросам парниковых газов (GHG Protocol), разработанный Институтом мировых ресурсов (World Resource Institute) и Всемирным деловым советом по устойчивому развитию (World Business Council for Sustainable Development). Он позволяет определить углеродный след, как общее количество выбросов парниковых газов, произведенных прямо или косвенно в результате деятельности организации, обычно выражаемое в эквиваленте диоксида углерода. Стандарт ISO 14064, как и протокол GHG, также проводит различие между прямыми и косвенными выбросами, но не определяет их области применения [2].

Следует на конкретных примерах расчетных методик рассмотреть возможности вычисления углеродного следа. Первая методика, которая разработана Межправительственной группой экспертов по изменению климата, представлена в обобщенном виде для всех видов загрязняющих элементов, способных производить углеродный след. Выбросы от автомобильного транспорта могут быть рассчитаны на основании как данных по сжиганию топлива, так и по пройденному транспортным средством расстоянию.

Обобщенная расчетная формула по методике МГЭИК:

$$\text{Выбросы} = \sum_{\alpha} [\text{Топливо}_{\alpha} \cdot EF_{\alpha}], \quad (1)$$

где: Выбросы – выбросы  $CO_2$  (кг);  
Топливо <sub>$\alpha$</sub>  – продано топлива (тДж);  
 $EF_{\alpha}$  – коэффициент выбросов (кг/тДж). Равен содержанию в топливе углерода, умноженному на 44/12;  
 $\alpha$  – вид топлива [3].

В России сегодня используется расчетная методика от НИИАТ – «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», данная методика была

разработана по заказу Минтранса РФ и предназначена для расчета выбросов загрязняющих веществ и оценки загрязнения атмосферы автотранспортными средствами различных экологических категорий при эксплуатации в городских условиях.

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества автотранспортными средствами рассчитывается по формуле:

$$M_{ipj} = g_{ipj} \cdot Q_{pj} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

где:  $Q_{pj}$  – потребление моторного топлива  $p$ -го вида АТС  $i$ -го расчетного типа за определённый период, т;  
 $g_{ipj}$  – удельный выброс  $i$ -го загрязняющего вещества АТС  $j$ -го расчетного типа при использовании  $p$ -го вида топлива, г/кг.

Данная методика предназначена для инвентаризации выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух автотранспортными средствами (АТС) на территории населенных пунктов и при движении по автомобильным внегородским дорогам общего пользования.

Для инвентаризации выброса загрязняющих веществ АТС на территории крупных и крупнейших городов могут использоваться специальные методики, уточняющие расчетную схему настоящей методики и учитывающие изменение удельного выброса загрязняющих веществ АТС при высоком уровне загрузки улично-дорожной сети [4].

Еще один способ расчета записан в руководстве по инвентаризации выбросов от ЕАОС – ЕМЕП (совместная система мониторинга и оценки дальнего переноса атмосферного переноса загрязняющих веществ в Европе). Данная система расчета также активно применяется в России.

Расчеты проводятся по формуле:

$$E_i = \sum_j \left( \sum_m (\Phi K_{j,m} \cdot EF_{i,j,m}) \right) \quad (3)$$

где:  $E_i$  – потребление моторного топлива  $p$ -го вида АТС  $i$ -го расчетного типа за определённый период, т;  
 $\Phi K_{j,m}$  – удельный выброс  $i$ -го загрязняющего вещества АТС  $j$ -го расчетного типа при использовании  $p$ -го вида топлива, г/кг;  
 $EF_{i,j,m}$  – расход топлива - удельный коэффициент выбросов загрязняющего вещества  $i$  для категории транспортного средства и топлива  $m$  (г/кг) [5].

Таким образом, методики оценки выбросов от автомобильного транспорта, принятая в разных странах имеют свои особенности. Расчёт выбросов от автомобильного транспорта может основываться на потреблении топлива или по расстоянию, пройденному транспортным средством. Дополнительно в методиках учитываются категории транспортного средства и их нормы выбросов.

### Список литературы

1. Седова А.А. Углеродный след от электротранспорта / А. А. Седова // Мавлютовские чтения: Материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции, 2022. – С. 219-222.
2. Ермакова М.С. Выбросы парниковых газов: раскладываем по полочкам / М. С. Ермакова // Экология производства. - 2021. - № 2. - С. 98-105
3. Кристина Дэйвис Уолдрон, Йохен Харниш, Освальдо Люкон, Р. Скотт МакКиббон, Шарон Б. Сэйли, Фабиан Вагнер и Майкл П. Уоли Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. Том 2: Энергетика, 2006. - 88 с.

4. Рузский А.В., Донченко В.В., Кунин Ю.И., Петрухин В.А., Виженский В.А., Вайсблом М.Е., Степанов И.Г. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух, 2006. – 66 с.
5. Leonidas Ntziachristos, Zissis Samaras ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook, 2019. - 147 с.

## **ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В 1980-2021 ГОДЫ**

Серых И.В.<sup>1,2</sup>, Толстиков А.В.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Геофизический центр РАН, Москва

<sup>3</sup> Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск  
*iserykh@ocean.ru, alexeytolstikov@mail.ru*

*Аннотация.* Исследованы климатические изменения температуры воздуха, количества осадков, скорости ветра, температуры верхних 1,5 метров почвы, толщины и площади снежного покрова, влагосодержания верхнего слоя почвы толщиной 1 метр и влажности воздуха на высоте 2 метра от поверхности в регионе западной части российской Арктики (60°–75° с.ш., 30°–85° в.д.) за 1980-2021 гг.

*Ключевые слова.* Потепление климата, Баренцево море, Белое море, Карское море, Северо-Запад России, гидрометеорологические параметры, климатический сдвиг, обратные связи, атлантификация Арктики.

## **CHANGES IN THE MAIN HYDROMETEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE WESTERN PART OF RUSSIAN ARCTIC IN 1980-2021**

Serykh I.V.<sup>1,2</sup>, Tolstikov A.V.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>3</sup> Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk

*Annotation.* Climatic changes in air temperature, precipitation, wind speed, temperature of the upper 1,5 meters of soil, thickness and area of snow cover, moisture content of the top layer of soil 1 meter thick and air humidity at a height of 2 meters from the surface in the region of the western part of the Russian Arctic (60°–75°N, 30°–85°E) were studied for 1980-2021.

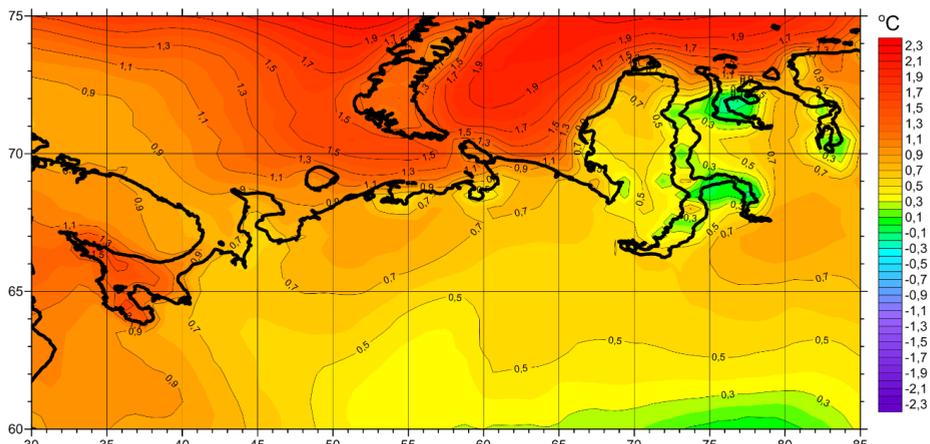
*Keywords.* Climate warming, Barents Sea, White Sea, Kara Sea, Northwest Russia, hydrometeorological parameters, climate shift, feedbacks, Arctic atlantification.

Потепление климата Арктики подтверждается изменениями основных гидрометеорологических величин атмосферы и океана за многолетний период времени, и наиболее ярко оно проявляется в последние десятилетия [1, 2]. Свидетельства этого процесса в высоких широтах: повышение температуры приповерхностного слоя атмосферы [3], сокращение площади морского льда и уменьшение его толщины, повышение температуры поверхностного слоя воды в морях, таяние многолетней мерзлоты, увеличение доли жидких осадков в течение года [4]. Таким образом, изменения климата Арктики являются важным объектом для исследования.

В данной работе для анализа выбраны среднемесячные данные температуры воздуха на высоте 2 метра от поверхности, общего количества осадков за сутки, скорости ветра на высоте 50 метров от поверхности, температуры верхних 1,5 метров почвы, толщины и фракционной площади снежного покрова, влагосодержания верхнего слоя почвы толщиной 1 метр и влажности воздуха на высоте 2 метра от поверхности из реанализа спутниковых

измерений NASA MERRA-2 на сетке  $0.5^\circ\text{ш.} \times 0.625^\circ\text{д.}$  за период 1980–2021 гг.

Подтверждено существенное потепление климата западной части российской Арктики в 1980-2021 гг. Причем, наиболее сильное увеличение температуры отмечается для ноября и апреля, что свидетельствует о произошедшем смещении границ сезонов – более позднем начале зимы и раннем ее завершении [5]. Обнаружено, что в период 2001-2021 гг. температура быстрее всего росла в акваториях Баренцева, Карского и Белого морей (Рис. 1), и этот рост происходил с ускорением. Таким образом, уменьшилась разница температуры между югом и севером западной части российской Арктики. Предположено, что одной из причин этого ускоренного роста температуры могла послужить альбедная обратная положительная связь с площадью морского льда.



*Рисунок 1 - Средние изменения температуры воздуха на высоте 2 метра от поверхности между периодами 1980-2000 гг. и 2001-2021 гг. (разность средних значений между этими периодами) по данным MERRA-2*

Выявлено увеличение количества осадков, особенно явно проявляющееся для летнего сезона и сентября. Вызванное этим увеличение поступления пресных вод в моря способствовало распространению и усилению стратификации верхнего слоя воды, более раннему образованию морского льда, сокращению потоков тепла из океана в атмосферу и понижению приповерхностной температуры воздуха в зимние периоды в локальных районах впадения крупных рек в Карское и Баренцево моря.

Обнаружено значительное изменение циркуляции атмосферы в исследуемом регионе (Рис. 2) [5, 6]. В зимние сезоны 2001-2021 гг. в Баренцевом и Карском морях произошло усиление южного ветра по сравнению с 1980-2000 гг. Это могло привести к ветровому нагону морского льда с юга на север Баренцева и Карского морей, сокращению площади льда и усилению перемешивания верхнего слоя воды на юге этих морей. В летний сезон 2001-2021 гг. произошло усиление западного ветра по сравнению с 1980-2000 гг., что способствовало усилению западного переноса тепла и влаги из Северной Атлантики в исследуемый регион.

Обнаружено повышение температуры верхних 1,5 метров почвы (ТП) в 2001-2021 гг. по сравнению с 1980-2000 гг. приблизительно на  $0.5^\circ\text{C}$  на западе исследуемого региона [7]. Это может привести к сокращению и даже полному исчезновению островной многолетней мерзлоты на Кольском полуострове, где средняя ТП в 2001-2021 гг. практически всюду выросла и стала превышать  $+3^\circ\text{C}$ . В 2001-2021 гг. начался ускоряющийся рост ТП также и на северо-востоке западной части российской Арктики. Таким образом, в настоящее время на большей части исследуемого региона наблюдается ускоряющийся рост ТП, что может привести к таянию многолетней мерзлоты.

Показано сокращение толщины снежного покрова на западе и востоке исследуемого региона в 2001-2021 гг. по сравнению с 1980-2000 гг. На западе исследуемого региона также произошло существенное сокращение площади снежного покрова в ноябре и апреле, из-за этого процесса могла усилиться альбедная обратная положительная связь между температурой и свободной от снега поверхностью, что могло явиться одной из причин сокращения длительности зимнего сезона в западной части российской Арктики.

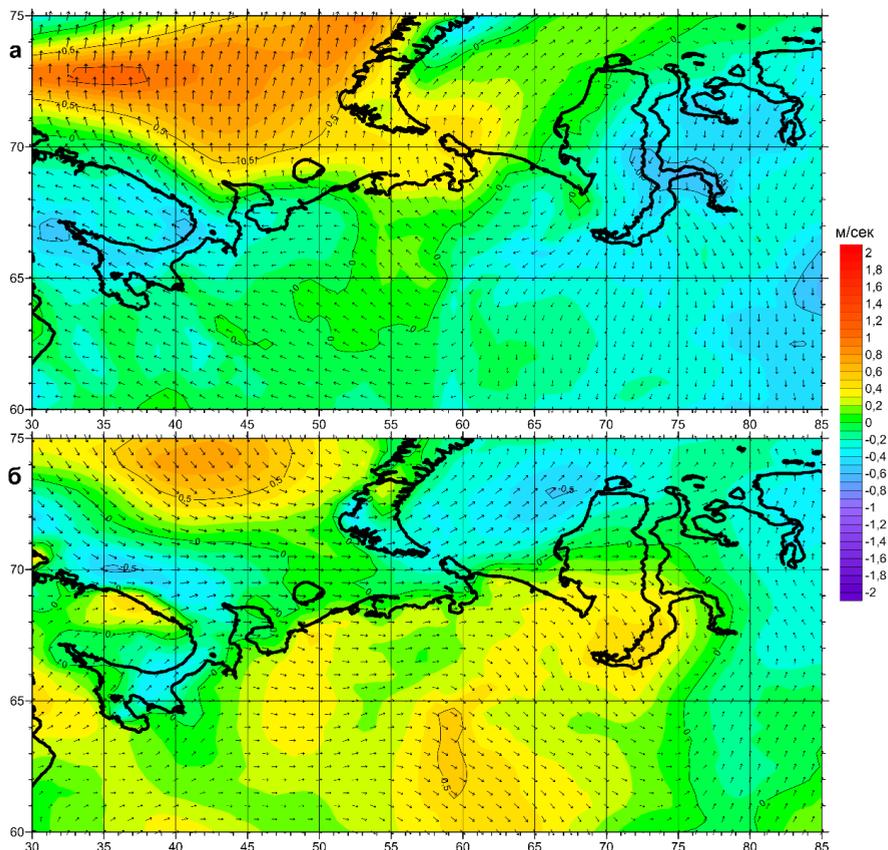


Рисунок 2 - Средние изменения скорости ветра на высоте 50 метров от поверхности между периодами 1980-2000 гг. и 2001-2021 гг. (разность средних значений между этими периодами) для зимнего сезона (декабрь-февраль) (а) и летнего сезона (июнь-август) (б)

Рост удельной влажности воздуха на высоте 2 метра от поверхности (ВВ) начался на западе исследуемого региона, и в особенности над акваторией Белого моря, еще в 1980-2000 гг. В 2001-2021 гг. увеличение ВВ распространилось на центр и восток исследуемого региона, с наибольшей скоростью роста над акваториями морей, причем рост ВВ происходил с положительным ускорением. Вероятно, увеличение влажности воздуха над акваториями Белого, Баренцева и Карского морей связано с усилением испарения с их поверхностей вследствие роста температуры поверхности воды и сокращения площади морского льда. Дополнительно к росту ВВ в 2001-2021 гг. на западе и востоке исследуемого региона наблюдался еще и рост влагосодержания почвы.

#### Список литературы

1. Serykh I.V., Kostianoy A.G. Seasonal and interannual variability of the Barents Sea temperature // *Ecologica Montenegrina*. - 2019. - Vol. 25. - P. 1-13.

2. Серых И.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Костяная Е.А. О переходе температурного режима региона Белого моря в новое фазовое состояние // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. - 2022. - Т. 15. - № 1. - С. 98-111.
3. Серых И.В., Толстиков А.В. О причинах долгопериодной изменчивости приповерхностной температуры воздуха над Белым морем // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. – 2020. - № 4. - С. 83-95.
4. Толстиков А.В., Серых И.В., Балаганский А.Ф. Климатические изменения стока рек и количества осадков в регионе Белого моря // *Арктика экология и экономика*. - 2022. - Т. 12. - № 4. - С. 464-474.
5. Серых И.В., Толстиков А.В. Изменения климата западной части Российской Арктики в 1980-2021 гг. Часть 1. Температура воздуха, осадки, ветер // *Проблемы Арктики и Антарктики*. - 2022. - Т. 68. № 3. - С. 258-277.
6. Серых И.В., Толстиков А.В. О причинах климатической изменчивости скорости ветра в районе Белого моря // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология*. - 2019. - № 4 (28). - С. 43-56.
7. Серых И.В., Толстиков А.В. Изменения климата западной части Российской Арктики в 1980-2021 гг. Часть 2. Температура почвы, снег, влажность // *Проблемы Арктики и Антарктики*. - 2022. - Т. 68. - № 4. - С. 352–369.

## ТИПОВЫЕ ПОЛЯ ГЕОПОТЕНЦИАЛА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ЯСНОГО НЕБА

Топтунова О.Н., Анискина О.Г., Моцаков М.А., Голубева М.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*olgakolp@yandex.ru, marygolubeva@icloud.com*

*Аннотация.* Рассчитываются эталонные поля геопотенциала для южной Европы, в которых наблюдается турбулентность ясного неба.

*Ключевые слова.* Турбулентность ясного неба, ТЯН, эталонные поля, эталон, складки тропопаузы, тропопауза.

## TYPICAL FIELDS FOR CLEAR SKY TURBULENCE FOR SOUTHERN EUROPE

Topunova O.N., Aniskina O.G., Motsakov M.A., Golubeva M.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* Typical geopotential fields where CAT is observed have been calculated for Southern Europe.

*Keywords.* Clear sky turbulence, CAT, reference fields, reference, tropopause folds, tropopause.

**Введение.** Турбулентность ясного неба (ТЯН) – это хаотически неупорядоченное движение объемов воздуха самых различных масштабов, она возникает в абсолютно чистом небе или при небольшом количестве облаков верхнего яруса, видимость при ней остается хорошей, а каких-либо визуальных подсказок для ее обнаружения нет. В свободной атмосфере ТЯН объясняется термодинамическими факторами, а в горных районах — орографическими. Часто такой вид турбулентности встречается при значительных сдвигах ветра, а потому ее частота над горной местностью выше. Прогнозирование ТЯН затрудняется по причине резкой локализации в окружающем потоке, большой изменчивости размеров и продолжительности явления. Кроме того, прогноз явления с помощью ЧПП не всегда возможен, так как зачастую ее масштабы меньше, чем разрешающая способность моделей. Однако вместе с тем прогноз турбулентности ясного неба имеет важное значение для авиационной отрасли, т.к. ТЯН, как и любая другая атмосферная турбулентность, оказывает сильное, а иногда и катастрофическое воздействие на воздушные суда. Для

обеспечения безопасности полетов воздушных судов важно знать, где находятся зоны с возможной турбулентностью. Распространенными причинами и источниками ТЯН являются: складки тропопаузы, гравитационные волны (например, горные волны), а также зоны сдвигов ветра. Использование спутниковых продуктов для идентификации ТЯН сегодня является одним из наиболее перспективных решений. В данной работе на основе архива данных спутниковых продуктов анализировались случаи возникновения ТЯН, а потом анализировались параметры близости полей геопотенциала на АТ-300 гПа для выявления типичной ситуации, при которой может возникать ТЯН.

Исходные данные. Фактические случаи турбулентности выбирались на основе спутникового продукта ASII-TF [1], который оценивает вероятность вторжения стратосферного воздуха в тропосферу (так называемые складки тропопаузы). Обычно в складке тропопаузы наблюдается вертикальный сдвиг струйного течения в сочетании с конвергенцией воздушных масс. Складки тропопаузы отмечаются изменением высоты тропопаузы и характеризуются возникновением сильной турбулентности. Стратосферный воздух, для которого характерно низкое содержание влаги и высокая потенциальная завихренность, может вторгаться в среднюю или даже нижнюю тропосферу. Следовательно, складки тропопаузы могут быть обнаружены по их связи с градиентами влажности, которые можно отслеживать в канале WV на длине волны 6,2 мкм, чувствительном к водяному пару верхней тропосферы. Высота тропопаузы может быть оценена по параметрам ЧПП, таким как температура, удельная влажность или потенциальная завихренность. Кроме того, содержание озона, полученное по ИК-каналу на длине волны 9,7 мкм, является хорошим индикатором наличия складки тропопаузы: чем ниже тропопауза, тем выше показатели содержания озона. Все вышеназванные показатели являются входными параметрами в ASII-TF. Выходными данными продукта ASII-TF являются netCDF-файлы, каждому пикселю в которых присваивается вероятность возникновения складки тропопаузы по шкале от 0 до 100. В ходе работы рассматривались визуализированные файлы спутникового продукта ASII-TF.

В качестве изучаемой местности была выбрана территория Южной Европы (Испания, Италия) и рассмотрен временной интервал с 2020 по 2022 год. Всего было отобрано 27 дней с ТЯН. Так как продолжительность явления была около суток, то для расчета эталонных полей брались ежечасные поля геопотенциала на АТ-300 гПа реанализа ERA 5 [3] с разрешением  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ , то есть анализировались 648 полей. Искомые 27 дней (648 полей) были поделены на обучающую выборку (17 дней или 408 полей) и контрольную (10 случаев или 240 полей), при этом в контрольной было еще дополнительно привлечено столько же случаев когда ТЯН не наблюдалось.

Методология. Произведен расчет эталонных полей геопотенциала АТ-300 гПа - конкретных полей геопотенциала, обладающих наибольшей схожестью с остальными полями в данном множестве. Эталонные поля давления – это такие определённые поля, которые характеризуются наивысшим подобием с другими полями в данном множестве [4]. Это поле находится ближе всего к другим полям и, именно, оно лучше всего отображает остальные поля. Такой метод позволяет выявлять типичные поля для любого локального явления, будь то заморозки или туманы [5, 6].

Архив полей геопотенциала представляется в виде:

$$X = X(z) = (X_1, X_2, \dots, X_k), 1 < z < k, \quad (1)$$

где:  $k$  – число выбранных полей;

$X(k)$  – конкретное поле из архива, представленное в виде матрицы.

$$X(k) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} \end{bmatrix}$$

- где:  $x_{ij}$  – значение геопотенциала в узле регулярной сетки;  
 $i$  – число параллелей,  $i$  изменяется от 1 до  $m$ ;  
 $j$  – число меридианов,  $j = 1, n$

Таким образом, на данном этапе определяются выборки полей геопотенциала отдельно для всех периодов, в каждом из которых впоследствии определяется «эталонное» поле. Далее устанавливается «эталонное поле». Для определения эталонных полей применяется подход, основанный на статистической оценке минимальных расстояний между барическими полями, по формуле [2]:

$$C_{i,p} = \frac{1}{q} \sqrt{\sum_{j=1}^q (x_{ij} - x_{pj})^2}, \quad (2)$$

- где:  $C_{i,p}$  – параметр близости (удалённости) между  $i$ -м и  $p$ -м барическими полями;  
 $x_{ij}, x_{pj}$  – давление в узлах регулярной сетки сравниваемых полей;  
 $k$  – число выбранных полей;  
 $q$  – число узлов регулярной сетки

Подобие  $i$ -го поля со всеми остальными находится по формуле:

$$S_i = \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k C_{i,p} \quad (3)$$

Наименьшее значение  $S_i$  означает, что  $i$ -е поле лучше всего описывает все поля. Именно по этому показателю можно сказать, что поле будет являться эталонным для других.

Таким образом, полученные значения  $C_{i,p}$  и  $S_i$  позволяют выявить эталонные поля давления [6].

Выбор эталонных полей. Для эталонного поля геопотенциала в обучающей выборки коэффициент  $S_i$  оказался равен 4.58. Это было для 6 января 2021 года. Далее это поле было добавлено к контрольной выборке (с днями с ТЯН и без) и был сделан еще один расчет. Наиболее близкими к эталонному полю геопотенциала оказались дни с турбулентностью.

После итогового расчета были получены следующие коэффициенты  $S_i$ .

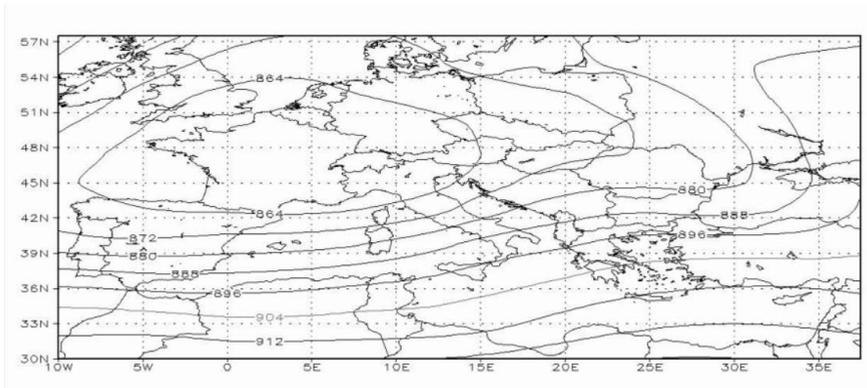
Первые несколько строк итоговых расчетов представлены ниже. Дни с ТЯН выделены серым цветом. Как видно, в контрольной выборке наиболее низкие значения коэффициента действительно соответствуют дням с турбулентностью.

Таблица 1 - Коэффициенты  $S_i$  для контрольной выборки

Дата	коэффициент $S_i$
2021-03-19	7.496
2021-02-28	8.345
2021-02-23	10.074
2021-01-06	11.007
2021-02-23	11.087
2021-02-16	11.160
2021-01-06	11.184
2021-02-07	11.711

На рисунке 1 представлено эталонное поле для ТЯН, характерное для южной Европы (район Испании и Италии).

а)



б)

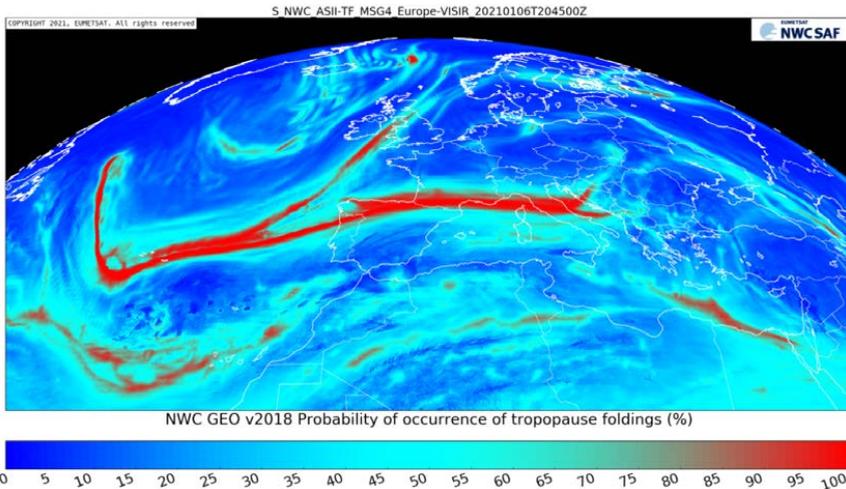


Рисунок 1 – Эталонное поле для ТЯН (а), Расчетная вероятность обнаружения складок тропопаузы (б)

Таким образом, метод эталонов наряду с использованием спутниковых продуктов целесообразно применять для прогноза ТЯН.

### Список литературы

1. <https://www.nwcsaf.org/web/guest/nec/geo-geostationary-archive>
3. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
4. Морозова С.В., Полянская Е.А., Пужлякова Г.А., Фетисова Л.М. К вопросу обобщения гидрометеорологической информации // Известия Саратовского гос. ун-та. Новая серия. – 2004. – Т.4, № 1-2. – С. 157–161
5. Смирнов П. В. Эталонные поля давления для майских заморозков на территории Пермской области // Вопросы прогноза погоды, климата, циркуляции и охраны атмосферы: межвузовский сб. науч. тр. – Пермь: Пермский государственный ун-т, 2003. – С. 29–36.
6. Топорикова Е.Н. Топтунова О.Н. Эталонные поля давления для туманов в районе акватории Печорского моря // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды: Материалы VII Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 24-26 мая 2022 года. С. 148-151
7. Ермакова Л.Н., Толмачева Н.И. Эталонные поля давления для интенсивных волн тепла в Пермском крае // Географический вестник. 2007. № 1-2 (5-6). С. 148-155.

### АНАЛИЗ ТИПИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ МЕЗОЦИКЛОНОВ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Топтунова О.Н., Иванова И.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*olgakolp@yandex.ru, ira.nova@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются случаи тропических циклонов (тайфунов), вышедших на Японское море за 2020 г. Анализируются закономерности формирования и развития мезоциклонов в регионе  
*Ключевые слова.* Тропический циклон, мезоциклон, тайфун.

### ANALYSIS OF TYPICAL CONDITIONS FOR THE ORIGINATION OF TROPICAL MESOCYCLONS IN THE SEA OF JAPAN.

Topunova O.N., Ivanova I.A.

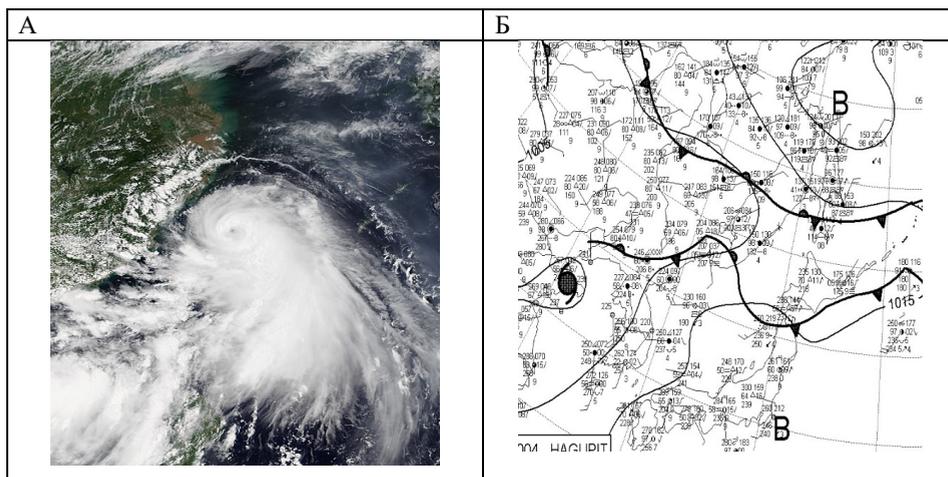
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* Cases of tropical cycles (typhoons) that entered the Japan Sea in 2020 have been considered. Formation and development features of mesocyclones in this region have been analyzed.  
*Keywords.* Tropical cyclone, mesocyclone, typhoon.

Тропические мезоциклоны (ТЦ) сопровождаются сильными осадками и резким усилением ветра до штормовых значений и могут нанести значительный урон прибрежной инфраструктуре. Для улучшения качества прогнозирования подобных экстремальных условий необходимо изучать и дополнять имеющуюся информацию по формированию и особенностям развития ТЦ в регионе [1, 2].

Всего за 2020 год в Японском море наблюдалось четыре ТЦ: три с 31 июля по 03 сентября и один в период 07-08.01.2020 г. Для анализа синоптического положения привлекался архив приземных карт, спутниковых снимков [3], а также, для определения особенностей отдельных характеристик метеорологических полей использовался реанализ Era 5 с разрешением  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  [4].

Рассмотрим случаи мезоциклонов. На рисунках 1-4 приведены спутниковые снимки и приземные синоптические карты.

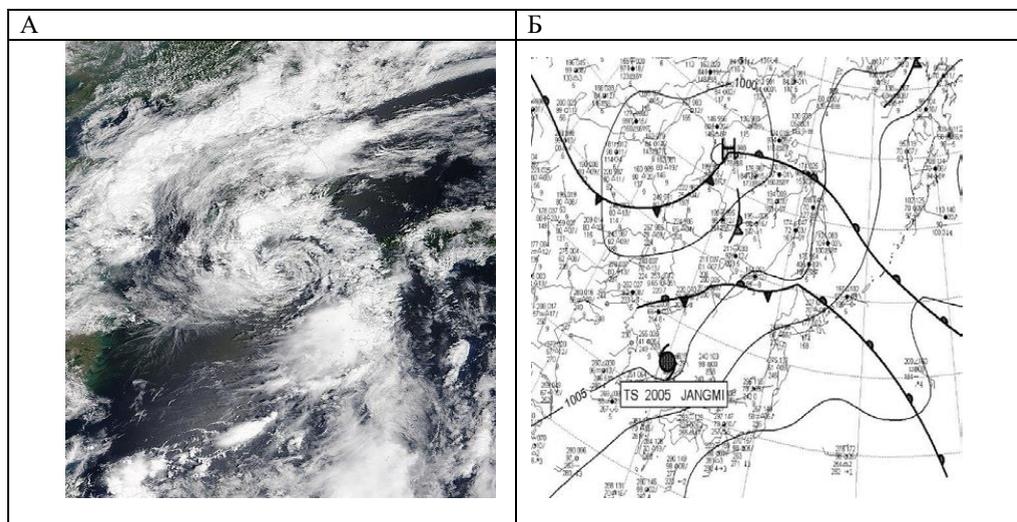


*Рисунок 1 – МЦ Hagurip в Японском море  
(А – спутниковый снимок, Б – приземный анализ)  
за 12 ВСВ 06.08.2020г.*

Был проведён анализ спутниковых изображений, синоптического материала, а также данных реанализа всех МЦ, наблюдавшихся в этот период.

Выявлены общие признаки формирования тропического мезовихря.

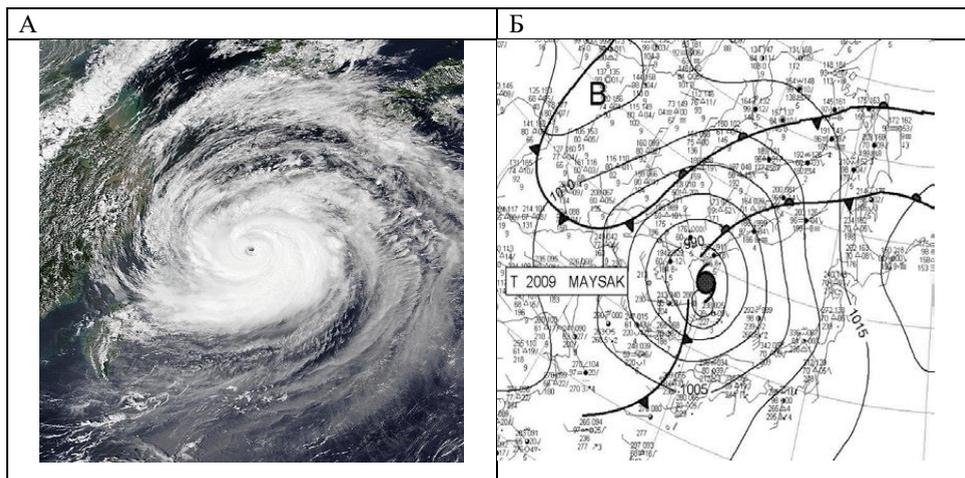
На спутниковых снимках формирования МЦ Японского моря плотность – это кучевые и кучево-дождевые облака с перистыми облаками на вершинах. В основном, наличие полос облаков повышенной конвекции и полей конвективных облачных ячеек открытого типа характерно для момента образования МЦ. Яркость облачного изображения возрастает с увеличением интенсивности МЦ.



*Рисунок 2 – МЦ Jangmi в Японском море  
(А – спутниковый снимок, Б – приземный анализ)  
за 12 ВСВ 10.08.2020 г.*

Общими благоприятными условиями для возникновения МЦ были орографический эффект, вызванный деформацией воздушных потоков у западного побережья Японского моря горным хребтом Сихотэ-Алиня с запада и островом Хоккайдо с востока. Типичной синоптической ситуацией можно считать малоградиентное барическое поле в ложбине основного циклона. Характерно наличие адвекции тепла в передней части и адвекции холода в тыловой, а также вертикального сдвига ветра в приземном слое и струйного течения на высотах.

Анализ предпосылок появления МЦ для возможности дальнейшего его прогнозирования показал, что необходимо наличие высотной ложбины на  $H_{500}$ , под которую попадает МЦ, так как высотные гребни от Тихоокеанского максимума блокируют прохождение любых циклонов по Японскому морю.



*Рисунок 3 - МЦ Maysak в Японском море  
(А – спутниковый снимок, Б – приземный анализ)  
за 00 ВСВ 03.09.2020г.*

Сравнивая условия прохождения МЦ в Японском море в теплое и холодное полугодие, можно сделать выводы, что причиной формирования и развития в первом случае служит главным образом термический фактор, а во втором – динамический. Летом и осенью МЦ выходят из тропических широт на холодную поверхность Японского моря. Вынос теплых масс воздуха с юга в передней части МЦ и заток холода в тыловой части способствуют его регенерации. Зимой же циклоны идут с Желтого моря на восток, северо-восток, выходят на относительно теплую морскую поверхность Японского моря, а с континента северо-западные холодные потоки способствуют их углублению до МЦ.



*Рисунок 3 - МЦ Haishen в Японском море  
(спутниковый снимок 04.09.2020)*

Для данного региона в основном характерны летние МЦ, образующиеся из тропических циклонов, появляющиеся с июня по октябрь.

#### **Список литературы**

1. Гурвич И.А., Пичугин М.К., Баранюк А.В., Кулешов В.П. Некоторые особенности мезомасштабного циклогенеза над Японским морем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 4. С. 155-168.
2. Гурвич И.А., Пичугин М.К. Условия и характеристики продолжительной мезоциклонической деятельности над Японским морем // Сборник тезисов докладов шестнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Институт космических исследований Российской академии наук. 2018. С. 173.
3. Японское метеорологическое агентство [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.jma.go.jp/jma/index.html> (дата обращения 28.02.2023)
4. <https://cds.climate.copernicus.eu/> [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/> (дата обращения январь 2022)

#### **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ**

Топтунова О.Н., Анискина О.Г., Иванова И.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*olgakolp@yandex.ru, ira.nova@mail.ru,*

*Аннотация.* Рассматриваются тенденции в изменениях географических координат и давления в Северо-Атлантических центрах действия атмосферы за период 1873-2016гг., устанавливается связь Северо-Атлантического колебания с Атлантической мультидекадной осцилляцией за период 1950-2018 гг.

*Ключевые слова.* Северо-Атлантическое колебание, климатические изменения, центры действия атмосферы, циркуляция.

#### **ANALYSIS OF CHANGES IN THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION**

Topunova O.N., Aniskina O.G., Ivanova I.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* Trends of changes in geographic coordinates and pressure in the North Atlantic centers of atmospheric action for the period 1873-2016 have been considered.

The relationship between the North Atlantic Oscillation and the Atlantic multi-decadal oscillation for the period 1950-2018 have been established

*Keywords.* North Atlantic Oscillation, climate change, atmospheric action centers, circulation.

Исследование изменения климата Земли в последние годы становится все более актуальной задачей и одним из приоритетных направлений современной гидрометеорологии. Являются ли происходящие климатические изменения следствием естественных причин или антропогенных пока не ясно. Эта неопределённость дает толчок к изучению закономерностей и причин динамики квазистационарных барических центров действия атмосферы и индексов интенсивности циркуляции атмосферы, таких как Северо-Атлантическое колебание (САК), которое является важнейшей характеристикой крупномасштабной циркуляции атмосферы в Северном полушарии и характеризует перенос воздушных масс между Арктикой и Северной Атлантикой. Интенсивность переноса при этом определяется разностью давления между двумя центрами действия атмосферы: Азорским максимумом и Исландским минимумом.

Индекс САК может рассчитываться несколькими способами. В этом исследовании были использованы данные, полученные по методике, предложенной в работе [1]. Расчет производился на основе разложения ежемесячных нормированных полей аномалий геопотенциала изобарической поверхности 500гПа в области от 20 до 90°с.ш. по эмпирическим ортогональным функциям. Источником данных послужил открытый интернет-портал Центра прогноза климата национальной администрации по океану и атмосфере [2].

Для анализа связи САК с индексом Атлантической мультидекадной осцилляции использовались данные за период с 1950 по 2018 года.

Так как в зимнее время (декабрь – февраль) наблюдаются наиболее выраженные меридиональные градиенты давления в умеренных широтах Северной Атлантики, то расчеты проводились только за этот период. Дополнительно был проведён анализ среднемесячных значений географических координат (широта и долгота) и давления Исландского минимума и Азорского максимума за период 1873-2016гг. [3].

Помимо статистической обработки информации был использован метод вейвлет-анализа, позволяющий определить, когда появляется та или иная гармоника, и подробно рассмотреть частотный спектр сигнала. Рассматривались частотные преобразования сигналов широты и долготы Исландского минимума и Азорского максимума, а так же колебания Северо-Атлантического колебания и Атлантической мультидекадной осцилляции. Все представленные в работе тренды и коэффициента корреляции оценивались на 5-процентном уровне значимости F-статистикой Фишера

Временная изменчивость географических координат и давления Исландского минимума и Азорского максимума.

Смещение центра Исландского минимума по долготе имеет меньшую амплитуду в отличие от смещения по широте, однако эти изменения практически зеркальные, то есть его смещение происходит либо в северо-восточном, либо в юго-западном направлении.

На пятипроцентном уровне значимости нет значимых трендов в изменении широт и долгот, таким образом, долговременная тенденция в изменении положения Исландского минимума отсутствует.

Изменения широт и долгот идут в противофазе, что показывают коэффициенты корреляции, приведённые в таблице 1.

Таблица 1— Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между изменениями по широте и долготе в центре Исландского минимума

Период	1873-1900	1901-1930	1931-1960	1961-1990	1991-2016
$r$	-0,66	-0,18	-0,65	-0,78	-0,78
Вывод	Значим	Не значим	Значим	Значим	Значим

С 1960-х годов коэффициент корреляции между изменениями широт и долгот увеличился, следовательно, начиная с этого периода связь между изменениями по широте и долготе усилилась.

Немаловажным, для анализа климатических изменений Исландского минимума, является исследование изменений давления в его центре. Для Исландского минимума аномалии давления растут по модулю и со временем, чаще повторяются. Так, в период 1873-1900г. была только одна ярко-выраженная положительная аномалия в 8,8гПа в 1895 году. Периоды с начала 1900-х до начала 1960-х были достаточно стабильными, без существенных аномалий. С начала 1960-х аномалии стали расти по модулю и встречаться чаще. Обращает на себя внимание тот факт, что начиная с 1990 года, они появляются с некоторой периодичностью, один раз в 3-4 года.

Линейные тренды изменения давления в большинстве периодов не значимы, что говорит о том, что долговременной тенденции в изменении давления нет.

Для выявления скрытых колебаний широт и долгот Исландского минимума использовался вейвлет – анализ. Спектральное преобразование сигнала широты и долготы методом непрерывного вейвлетного анализа Исландского минимума представлено на рисунке 1, где синим цветом обозначены высокочастотные колебания, которые ослабевают по мере уменьшения интенсивности цвета. По данным, представленным на рисунке 1 можно сказать, что долготы Исландского минимума меняются сильнее, чем широты, при этом начиная примерно с 1900г. ярче выражен годовой цикл.

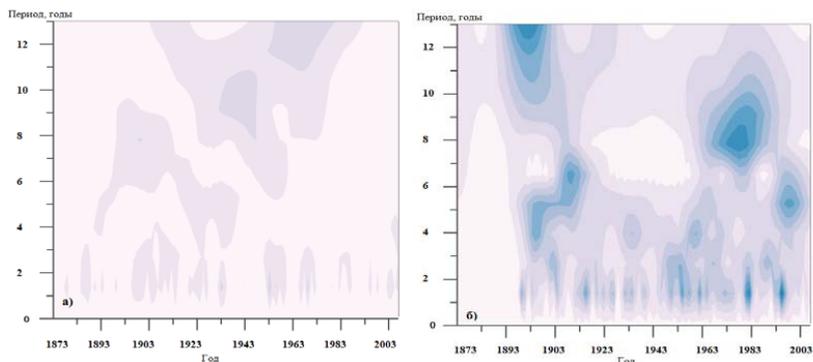


Рисунок 1 – Спектральное преобразование сигнала широты (а) и долготы (б) Исландского минимума методом непрерывного вейвлетного анализа

По аналогии, было проведено исследование Азорского максимума за те же периоды. Все линейные тренды по широте и долготе за каждый рассматриваемый период были так же оценены на значимость F-статистикой Фишера, которая показала, что ни один тренд не является значимым, следовательно, долговременные изменения здесь также отсутствуют.

Особенностью изменений координат Азорского максимума является тот факт, что он имеет большую амплитуду по долготе, нежели по широте, в то время как в Исландском минимуме ситуация обратная.

Для Азорского максимума так же характерна отрицательная связь между географическими координатами его центра, что подтверждаются отрицательными коэффициентами корреляции (таблица 2), то есть широты и долготы центра Азорского

максимума так же идут в противофазе. Смещение центра происходит в направлениях северо-восток и юго-запад. На пятипроцентном уровне значимости все коэффициенты корреляции являются значимыми, однако с каждым временным интервалом они становятся меньше по модулю, что в свою очередь говорит о том, что связь между изменениями по широте и долготе в центре Азорского максимума начинает ослабевать.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между изменениями по широте и долготе в центре Азорского максимума

Период	1873-1900	1901-1930	1931-1960	1961-1990	1991-2016
$r$	-0,76	-0,71	-0,74	-0,64	-0,55
Вывод	Значим	Значим	Значим	Значим	Значим

Так же проведен анализ изменения давления в центре Азорского антициклона, с учетом аномалий давления относительно его стандартного отклонения. Значение стандартного отклонения для давления в центре Азорского максимума составило 3,6 гПа, что намного меньше, чем у Исландского минимума (6,1 гПа). Количество аномальных значений давления у Азорского антициклона по модулю так же существенно меньше, чем у Исландского циклона, причем в период 1991-2016гг. наблюдалось минимальное количество. Тенденция в изменении давления в центре Азорского максимума является несущественной.

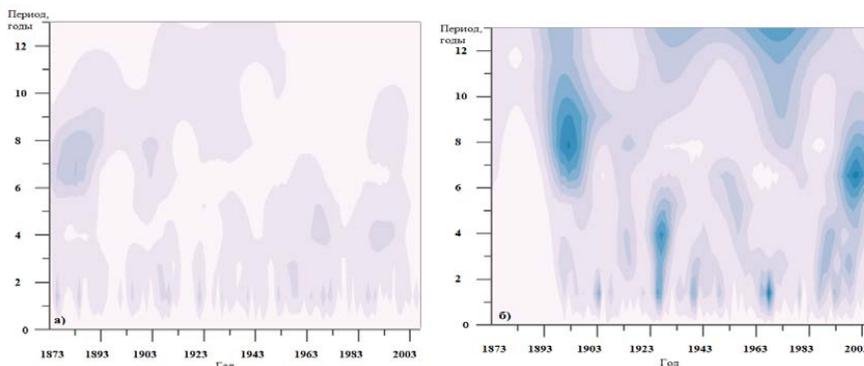


Рисунок 2 – Спектральное преобразование сигнала широты (а) и долготы (б) Азорского максимума методом непрерывного вейвлетного анализа

На рисунке 2 синим цветом обозначены высокочастотные колебания, которые ослабевают по мере уменьшения интенсивности цвета. Долготы Азорского максимума изменяются сильнее, чем широты, как и в ситуации с Исландским минимумом, при этом наблюдаются несколько ярко-выраженных квазидекадных колебаний в 1897-1898 гг. и в 2001-2002 гг., также присутствует гармоника в 4 года в 1925-1927 гг. Примечательно то, что данные колебания не совпадают по своим пиковым значениям с долготными всплесками Исландского минимума.

Наличие и действие в атмосфере Северо-Атлантического колебания возможно благодаря наличию двух атлантических центров действия атмосферы – Азорского максимума и Исландского минимума, поэтому важно рассмотреть не только климатические изменения центров по отдельности, но и определить взаимосвязь в изменении координат и давления между ними.

Кривые распределения широт Исландского минимума и Азорского максимума практически симметричны друг другу, значит, широтные изменения происходят синхронно. За все рассматриваемые периоды связь была высокой, что подтверждают коэффициенты корреляции, которые являются положительными, что говорит о прямой связи между

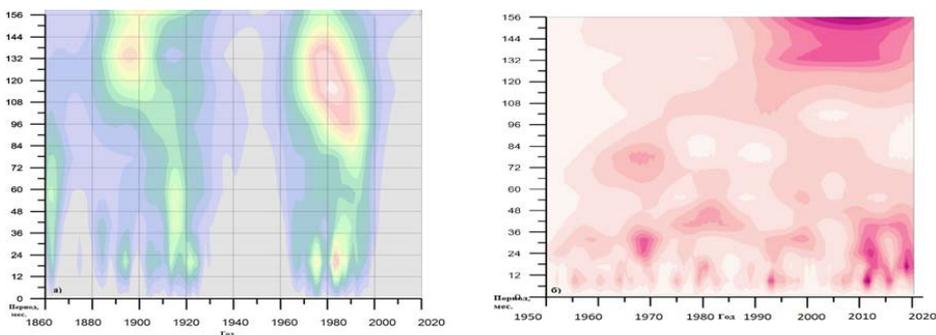
широтными изменениями Азорского максимума и Исландского минимума – если один центр действия движется по направлению на север, то другой следует за ним, и наоборот.

За период 1991-2016 гг. коэффициент корреляции был самым большим, что говорит о том, что в это время связь между широтными изменениями атлантических центров действия усилилась.

Если говорить о связи долготных распределений между центрами, то они отсутствуют, все коэффициенты корреляции не значимы.

### Связь Северо-Атлантического колебания с Атлантической мультидекадной осцилляцией.

Так как принято считать, что океан – первопричина глобальных изменений, а изменения в атмосфере - их следствие, то в данной работе проведён анализ связи между САК и Атлантической мультидекадной осцилляцией (АМО), которая представляет собой проявление изменения температуры поверхности океана, с помощью вейвлет-анализа (рисунок 3). Вейвлет – анализ был выбран инструментом для анализа потому, что период колебаний разный, а значит корреляционный анализ результатов не даст.



*Рисунок 3 – Спектральное преобразование сигнала Атлантической мультидекадной осцилляцией (а) и Северо-Атлантического колебания (б) методом непрерывного вейвлетного анализа*

При анализе АМО отмечается два больших частотных всплеска – в 90-е года позапрошлого столетия периодичностью около 132 месяцев (11 лет) и в 80-е года прошлого столетия периодичность около 120 месяцев (10 лет), оба колебания долгопериодные и произошли с разницей в 90 лет.

У САК один раз в 5 лет отмечается усиление годовых колебаний, причем начиная с 2010 года они усиливались, стали ярко-выраженными, отчетливо стали проявляться также колебания в 2 года. Так же у САК заметен очень сильный всплеск в 2005-2010 гг. с периодом около 13 лет.

Всплеск частоты АМО в 80-е годы прошлого столетия полностью себя оправдывает, ведь считается, что именно в этот период произошла перестройка климата, началось заметное увеличение температуры поверхности океана и именно отсюда идет отсчет новой эпохи глобального потепления. Кроме того, усиление гармоник с периодом в 10 лет может быть проявлением цикла солнечной активности, период которого составляет 10 - 11 лет.

Можно считать, что Атлантическая мультидекадная осцилляцией оказывает существенное влияние на изменения Северо-Атлантического колебания.

В течение 1961-1990 гг. прошлого столетия наблюдается резкое падение давления в центре Исландской депрессии, а в центре Азорского антициклона давление растет, разница давления между двумя центрами действия начинает увеличиваться (линейный тренд в изменении широты Исландского минимума и разницы давления между двумя центрами за данный период оказывается значимым, что говорит о долговременных изменениях), такая же

тенденция сохраняется в следующем периоде. В это же время происходит рост индекса САК, что сопровождается усилением западного переноса, как показал анализ форм атмосферной циркуляции Г.Я. Вангенгейма-А.А. Гирса.

Представленные в работе выводы дают основания полагать, что происходящие изменения климата – следствие преимущественно естественных причин, но, безусловно, причину изменения циркуляционных механизмов еще нужно изучать.

#### Список литературы

1. Barnston, A.G. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns / A.G. Barnston, R.E. Livezey // Monthly Weather Review. Vol. 115 (6). –1987. – P. 1083-1126.
2. Центр прогноза климата национальной администрации по океану и атмосфере (National Oceanic and Atmospheric Administration's – NOAA) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov)
3. Дикинис А.В., Куликова Л.А. Характеристики центров действия атмосферы Патент №2011620129, РФ. от 14 сентября 2010 г.

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМАХ

Хайретдинова В.Р., Седова А.А., Александров Д.В.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа

*khayretdinova99@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматривается проблема изменения климата в результате парникового эффекта. Представлен обзор методов оценки и прогноза запасов углерода в лесных насаждениях.

*Ключевые слова.* Карбоновый полигон, парниковые газы, карбоновая ферма, фитомасса, запас углерода, изменение климата, углеродный след.

### ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF DETERMINING CARBON STORAGE IN ECOSYSTEMS

Khayretdinova V.R., Sedova A.A., Alexandrov D.V.

<sup>1</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa

*Annotation.* The problem of climate change as a result of the greenhouse effect is considered. An overview of methods for estimating and forecasting carbon stocks in forest stands is presented.

*Keywords.* Carbon polygon, greenhouse gases, carbon farm, phytomass, carbon stock, climate change, carbon footprint.

Глобальное изменение климата – самая серьезная проблема мировой экономики и политики. Одним из предлагаемых способов решения этой проблемы является уменьшение выбросов парниковых газов в атмосферу путем перехода к «зеленой» или низкоуглеродной экономике, а также стимулирование средств контроля климатически активных газов [1].

Лес является важным элементом системы поглощения парниковых газов и регулирования выбросов углерода. Россия обладает самыми большими накоплениями углерода в почвах и лесных насаждениях. Растущие леса поглощают атмосферный углерод, накапливая его в деревьях и почве, что способствует сохранению климатического равновесия. Поэтому задача мониторинга выбросов и поглощения парниковых газов и оценки текущего потенциала наземных экосистем по депонированию углерода становится актуальной.

Одним из методов, используемых для оценки накопления углерода в экосистемах, являются карбоновые полигоны. Карбоновые полигоны – это территории, созданные специально для осуществления мер по контролю за содержанием парниковых газов в атмосфере с участием университетов и научных организаций. С помощью карбоновых полигонов осуществляются важнейшие исследования в сфере экологии и оценка углерода в экосистемах. В настоящий момент действует 15 полигонов на территории России.

Для максимального поглощения выбросов парниковых газов за счет земных экосистем используются карбоновые фермы, которые предназначены для отработки полученных от полигонов методик. Любой участок поверхности может стать карбоновой фермой, но на него должна быть оформлена документация о количестве поглощения углекислого газа. На данный момент в России нет карбоновых ферм.

Чтобы верно оценить экологические функции лесных насаждений и выполнить обязательства Российской Федерации по Рамочной конвенции ООН по изменению климата необходимо проводить расчет углеродного баланса. Существуют системы для оценки и прогноза накопления углерода в лесах. Рассмотрим каждую систему в отдельности:

1) Система региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ).

Компьютерная программа РОБУЛ применяется в Национальном кадастре парниковых газов для расчета баланса углерода.

Данная методика в качестве информационного ресурса использует данные государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) и государственного лесного реестра (ГЛР).

Выбор табличных расчетных параметров реализуется в РОБУЛ в соответствии с географической принадлежностью изучаемой области к одному из 12 зонально-региональных полигонов.

В данной системе бюджет запаса углерода оценивается по пулам фитомассы, неживой древесине и почве. Потери углерода проводятся в двух вариантах: по площади гарей и вырубок с учетом времени их произрастания; по текущему значению площади, охваченной пожаром, и масштабу рубок. Через разницу запасов древостоев оценивается сток углерода в фитомассу [2].

2) Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода.

Система основана на идее определения уровня загрязнения окружающей среды Российской Федерации путем анализа количества углерода, депонированного лесными экосистемами Сибирского региона. Уравнения данной системы используются при расчете фитомассы в соответствии с данными ГУЛФ для лесохозяйственных предприятий.

Составляется матрица распределения площадей, покрытых лесами, а также запаса стволовых деревьев по породам лесов и возрастной категории. Возрастные группы, учитывая главную рубку, переводятся в возрастные классы. С помощью табулирования моделей по объему древесины и возрасту насаждений каждого элемента матрицы оцениваются запасы фитомассы на единицу площади, затем вычисляются запасы фитомассы для общей площади путем умножения площади, покрытой лесом, соответствующей каждому элементу. С помощью сложения результатов по классам возраста даются итоговые запасы фитомассы для каждой отдельной породы, последующее сложение последних пород дает итоговые запасы фитомассы на всю площадь каждого лесхоза [3].

Оценка бюджета углерода лесов не предоставляется этой системой, так как расчеты выполняются только по входящим потокам углерода.

3) Система моделирования многовидовых разновозрастных лесных объектов FORRUS.

Система FORRUS основана на экологических и физиологических моделях, которые характеризуют механизмы внутренней и межвидовой конкуренции лесных насаждений за световые ресурсы.

Эта модель дает возможность прогнозировать темпы динамики основных показателей с шагом в 5 лет, как исходные данные используются типовые данные, полученные при лесоустройстве.

Система анализирует развитие крупных многовидовых лесов разного возраста, площадью до 100000 гектаров, выдавая на каждом этапе моделирования видовой состав древостоя, характеристики отдельных пород и другую информацию.

FORRUS предназначена для совокупной оценки динамики структур лесных насаждений, включая вопросы биоразнообразия и экономической эффективности лесной деятельности [4].

#### 4) Система имитационных моделей лесной экосистемы EFIMOD.

Система имитационных моделей лесной экосистемы EFIMOD описывает круговорот азота и углерода, рост и конкуренцию между деревьями в смешанных древостоях. В системе моделей представлены три подмодели: модель древесной растительности, модель влажности и температуры лесной подстилки и минеральной почвы, модель минерализации и гумификации органических веществ почв.

Исходные данные в EFIMOD: для деревьев средние диаметр и высота, сумма площадей сечений, количество насаждений на 1 гектар; пулы углерода и азота лесной подстилки и почвы с остатками древесины; температура воздуха и количество осадков средние за месяц, гидрологические параметры почвы; тип и возраст рубок. Параметры по элементам леса применяются из данных лесоустройства.

Данная система используется для описания различных экологических процессов в лесных территориях локального или мелко регионального масштаба [5].

Таким образом, формирование карбоновых полигонов в России позволит создать сеть мониторинга, которая будет изучать процессы образования и накопления парниковых газов. Для расчета и оценки углеродного баланса в лесах можно использовать любую из описанных систем. Однако, каждая из рассмотренных методик оценивает разные параметры экосистем. Поэтому для более детального определения накопления углерода в экосистемах требуется комплексный подход с применением элементов искусственного интеллекта [6, 7].

### Список литературы

1. *Хайретдинова В.Р.* Сокращение углеродного следа нефтяных месторождений // XVI Всероссийская молодежная научная конференция. Мавлютовские чтения. 2022. Том 4. С. 243-247.
2. *Замолодчиков Д.Г.* Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия/ Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, Г.Н. Краев // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28.
3. *Воронов М.П.* Обоснование выбора среды для проектирования и реализации системы оценки углероддепонирующей способности лесов России/ М.П. Воронов, В.А. Усольцев, В.П. Часовских // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 6. С. 20-21.
4. *Чумаченко С.И.* Моделирование сукцессионной динамики насаждений/ С.И. Чумаченко, О.В. Смирнова // Лесоведение. 2009. № 6. С. 3-17.
5. *Замолодчиков Д.Г.* Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование 2012. № 1 (30). С. 41-49.
6. *Красногорская Н.Н.* Использование искусственных нейронных сетей при прогнозировании качества речной воды/ Н.Н. Красногорская, А.Н. Елизарьев, Т.Б. Фашевская, Л.М. Якупова, Э.В. Нафикова // Безопасность жизнедеятельности. 2009. №4(100). С. 15-21.
7. *Красногорская Н.Н.* Интеграция генетических алгоритмов и искусственных нейронных сетей для прогнозирования качества речной воды/ Н.Н. Красногорская, Л.М. Якупова, Э.В. Нафикова, Ю.И. Феррапонтов, А.Н. Елизарьев, Т.Б. Фашевская // Безопасность жизнедеятельности. 2010. №8(116). С. 24-30.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОЛОЛЕДА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Чернякова И.М., Гледко Ю.А., Дорошко Н.В.  
Белорусский государственный университет, Минск  
*irinacernakova03@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматриваются пространственно-временные закономерности распределения случаев возникновения гололеда на автомобильных дорогах Республики Беларусь.

*Ключевые слова.* Опасные гидрометеорологические явления, гололед, дорожно-измерительные станции, дорожные станции предупреждения о гололеде.

## SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS OF ICE DISTRIBUTION ON THE HIGHWAYS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Chernyakova I.M., Hledko Y.A., Dorozhko N.V.  
Belarusian State University, Minsk

*Annotation.* The spatial and temporal patterns of the distribution of cases of ice occurrence on the highways of the Republic of Belarus are considered.

*Keywords.* Hazardous hydrometeorological phenomena, ice, road measuring stations, road ice warning stations.

Метеорологические условия оказывают значительное влияние на состояние поверхности автомобильных дорог. К опасным явлениям, влияющим на дорожное полотно в холодный период года, относятся: гололед, изморозь, сильный снегопад, сильная метель и другие [2-4]. Всего за период с 1984 по 2021 гг. было зафиксировано 98 случаев опасных явлений (ОЯ) холодного периода. Были выявлены следующие виды ОЯ: очень сильный ветер, в том числе шквалы и смерчи (42,9% - 42 случая); очень сильный снег (27,6% - 27 случаев); налипание мокрого снега (15,3% - 15 случаев); очень сильный мороз (4,1% - 4 случая); гололед (6,1% - 6 случаев); метель (2% - 2 случая) и туман (2% - 2 случая).

Для автомобильных дорог Республики Беларусь в холодный период наиболее опасным метеорологическим явлением является гололед. Система предупреждения о гололеде базируется на метеорологических данных. Метеорологическое обслуживание включает ряд приспособлений и устройств, целью которых является поставка дорожным службам и пользователям дорог информации о существующих и прогнозируемых атмосферных условиях на дорогах. Метеорологическая система анализирует данные и оценивает степень опасности возникновения гололеда.

Основными элементами системы предупреждения о гололеде являются дорожные станции предупреждения о гололеде и дорожные измерительные станции, измеряющие параметры дорожного покрытия и атмосферные условия в определенных точках дороги.

Дорожно-измерительные станции (ДИС) либо ДСПГ, поставляя точные данные о местных атмосферных условиях, позволяют заранее прогнозировать наступление гололеда, что дает ощутимую выгоду с точки зрения уменьшения количества применяемых химических средств (а значит, уменьшения стоимости зимнего содержания дорог и экологических потерь), а также повышения безопасности дорожного движения.

Дорожная станция предупреждения о гололеде в стандартной версии должна быть оборудована следующими приборами:

- 1) регистратором RC 10;
- 2) телефонным модемом;
- 3) объединенным дорожным датчиком, измеряющим температуру покрытия на уровне 0 – 5 см;
- 4) объединенным термогидродатчиком, измеряющим температуру и влажность воздуха на высоте 4 или 2 м;

- 5) датчиком температуры воздуха у поверхности грунта (на высоте 20 см);
- 6) датчиком скорости ветра;
- 7) датчиком направления ветра;
- 8) детектором состояния атмосферных осадков [1].

Проанализируем зафиксированные случаи гололеда по данным Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет) за период с 1984 по 2021 гг. [2] и данным ДИС РУП «Минскавтодор-Центр» за период с 2019-2021 гг. [3].

Исходя из данных Белгидромета, гололед – это слой плотного льда (чаще прозрачного), нарастающего на поверхности земли и на предметах преимущественно с наветренной стороны, от намерзания капель переохлажденного дождя или мороси. Обычно гололед наблюдается при температуре у земли от 0° до -3°, реже при более низких температурах, до -16°. Такие условия чаще всего отмечаются в зоне теплого атмосферного фронта (перед его приземной линией), который приходит на смену холодной погоде [2]. Толщина слоя льда, появившегося при гололеде, может достигать нескольких сантиметров. Когда диаметр отложений превышает 20 мм, то гололед считается сильным и представляет опасное гидрометеорологическое явление (ОЯ).

Рассмотрим карту зафиксированных случаев гололеда за период с 1984 по 2021 гг. (рисунок 1).

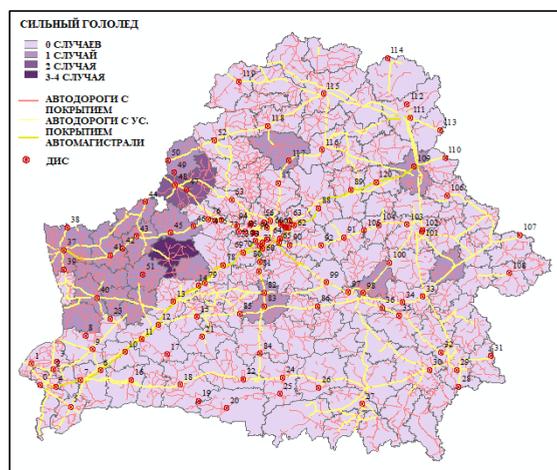


Рисунок 1 – Количество зафиксированных случаев очень сильный гололед за период с 1984 по 2021 гг.

Исходя из данных, можно заметить, что максимальное количество случаев было зафиксировано на территории Гродненской области (55,6%) в декабре. Максимальное значение составило 95 мм и зафиксировано в д. Римтели, Милидовщина Сморгонского района Гродненской области в 2003 году, а также случаи фиксировались на территории Минской, Могилевской и Витебской областей.

Далее рассмотрим принцип фиксирования гололеда исходя из данных ДИС «Минскавтодор-Центра» за период с 2019 по 2021 гг. [3].

Изначально на дорожной измерительной станции фиксируется наличие инея, в результате чего передается информация «предупреждение по инею». Далее в результате понижения температуры начинает образовываться гололед на дорогах, передается «предупреждение по льду». Если своевременно не принимаются действия по ликвидации скользкости, то дорожные станции отправляют оповещение об образовавшемся гололеде «тревога по льду».

Рассмотрим карты за период с 2019 по 2021 гг. случаев предупреждения по инею, предупреждения по гололеду и тревоги по льду (рисунок 2–4).

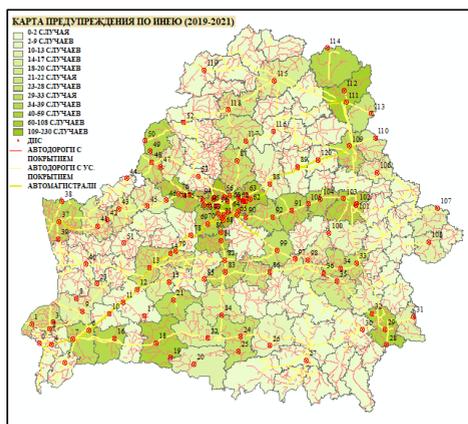


Рисунок 2 – Карта предупреждения по инею за период с 2019-2021 гг.

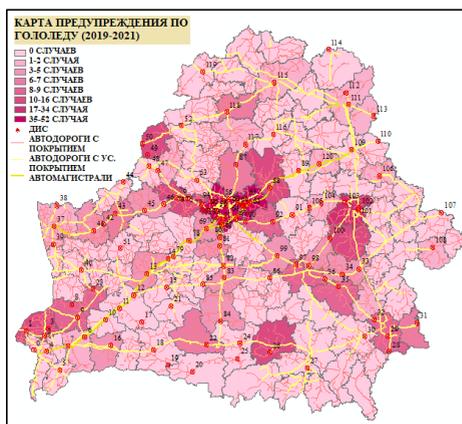


Рисунок 3 – Карта предупреждения по гололеду за период с 2019-2021 гг.

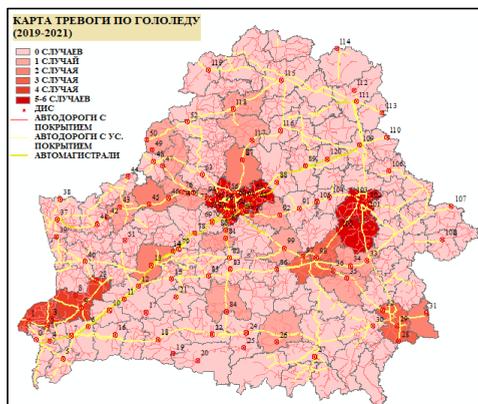


Рисунок 4 – Карта тревоги по гололеду за период 2019-2021 гг.

Исходя из данных, можно заметить, что наибольшее количество случаев образования инея зафиксировано в Минской, Могилевской и Брестских областях (от 60 до 230 случаев). Наибольшее количество предупреждений по гололеду зафиксировано преимущественно в Минской и Могилевской областях (от 17 до 52 случаев). Наибольшее количество случаев тревоги по гололеду зафиксировано в Минском, Могилевском, Бельничском, Пружанском и Каменецком районах (от 4 до 6 случаев).

Количество случаев зависело от количества расположенных ДИС в данных районах. Во многих районах случаи не фиксировались, так как там не установлены дорожные измерительные станции.

Таким образом, исходя из данных Белгидромета и данных «Минскавтодор-Центра» можно сделать вывод, что наибольшее количество случаев образования гололеда фиксируется в Гродненской, Минской и Брестской областях.

В настоящее время происходит постепенное потепление климата и заметно сокращаются случаи ОЯ для дорожного транспорта, однако своевременное предупреждение о гололеде на дорогах и рекомендации по адаптации в сложных метеорологических условиях могут свести потери в дорожном хозяйстве к минимуму.

## Список литературы

1. *Леонович, И.И.* Дорожная климатология [Электронный ресурс] : [учебное пособие для вузов по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и для инженерно-технических работников ДСТ,ДСУ,ДЭУ и других организации] Леонович: Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог». - Электрон. дан. – БНТУ, 2007.
2. *Гледко, Ю.А.* Оценка влияния опасных гидрометеорологических явлений на состояние автомобильных дорог Беларуси /Ю.А. Гледко, В.М. Лаппо // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]: IV Международная научно-практическая конференция (Гомель, 4–5 июня 2018 года): [материалы]. – Электронные текстовые данные (объем 13,2 Mb). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. - С. 305-311. Режим доступа: [http:// conference.gsu.by](http://conference.gsu.by).
3. *Гледко, Ю.А.* Экономический эффект использования гидрометеорологической информации в дорожном хозяйстве Республики Беларусь / Ю.А. Гледко, В.М. Лаппо // Географія. - № 2 (177). – 2022. – С. 19-24.
4. *Лаппо, В.М.* Использование распределения метеорологических параметров при разработке методики расчета экономического эффекта для автомобильных дорог Беларуси / В.М. Лаппо, Ю.А. Гледко, М.С. Лаппо // Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение : материалы междунар. науч.-практич. конференции, посвященной 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск, 9–11 ноября 2022 г. / БГУ, Фак. географии и геоинформатики; [редкол.: Д. С. Воробьев (отв. ред.) и др.]. – Минск: БГУ, 2022. – С. 123-130. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/290478>
5. *Фондовые материалы Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»:* опасные метеорологические явления за период с 1984-2021 гг.
6. Оперативная информация о дорожных условиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://i.cent.r.by/inforoads/ru/dises/current>. – Дата доступа: 03.10.2022.

## ВНУТРИГОДОВОЙ ХОД ЧАСТОТЫ КРУПНЫХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ В 1950-2021гг

Шатилина Т.А.<sup>1</sup>, Цициашвили Г.Ш.<sup>2</sup>, Радченкова Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт прикладной математики ИПМ ДВО РАН, Владивосток

[tatyana.shatilina@tinro-center.ru](mailto:tatyana.shatilina@tinro-center.ru), [guram@iam.dvo.ru](mailto:guram@iam.dvo.ru), [tarad@yandex.ru](mailto:tarad@yandex.ru)

*Аннотация.* Рассматриваются крупные положительные аномалии температуры воздуха в прибрежных районах Охотского и Японского морей в 1950-2021гг. по данным метеорологической сети. Рассчитывается внутригодовой ход частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в периоды 1950-1979 и 1980-2021гг. Показано, что частота во все месяцы года в период 1980-2021гг. значительно выше, чем в период 1950-1979гг. Исследуется связь частоты появления аномалий с изменениями циркуляционного режима над данным регионом.

*Ключевые слова.* Прибрежные районы Охотского и Японского морей, частота появления крупных аномалий температуры воздуха, изменчивость циркуляции.

# THE INTRA-ANNUAL RATE OF OCCURRENCE OF LARGE POSITIVE AIR TEMPERATURE ANOMALIES IN THE COASTAL AREAS OF THE SEA OF OKHOTSK AND THE SEA OF JAPAN IN 1950-2021

Shatilina T.A.<sup>1</sup>, Tsitsiashvili G.Sh.<sup>2</sup>, Radchenkova T.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO, pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok

<sup>2</sup>Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

*Annotation.* Major positive air temperature anomalies in the coastal areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan in 1950-2021 are considered according to the meteorological network. The intra-annual variation in the number and frequency of occurrence of major positive air temperature anomalies in the periods 1950-1979 and 1980-2021 are calculated. It is shown that the frequency in all months of the year in 1980-2021 is much higher than in 1950-1979. The relationship of the frequency of occurrence of anomalies with changes in the circulation regime over this region is investigated.

*Keywords.* Coastal areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan, frequency of occurrence of major air temperature anomalies, variability of circulation.

В настоящее время в связи с глобальным потеплением климата и увеличением повторяемости и интенсивности крупных аномалий гидрометеорологических явлений большое внимание уделяется их анализу.

Регионы Охотского и Японского морей имеют для России особое экономическое значение. Экстремальные похолодания в прибрежных районах Охотского моря являются причиной тяжелых ледовых условий и негативно влияют на воспроизводство охотской сельди. Значительная роль экстремальных факторов среды в формировании численности горбуши и условий ее миграций в прибрежные районы Курильских о-в, Восточного Сахалина и Японского моря показана в работах [1, 2].

В большинстве работ большое внимание уделяется крупномасштабным факторам изменчивости среды. Меньшее внимание уделяется анализу внутригодовой изменчивости крупных аномалий и механизмам их формирования. Проблема прогнозирования динамики численности гидробионтов не может быть решена успешно без обобщения данных о текущем состоянии региональных климатических систем и оценки степени ее экстремальности.

В данной работе рассматривается появление в прибрежных районах Японского и Охотского морей крупных аномалий температуры воздуха на фоне глобального потепления в северном полушарии. Проводится сравнительная оценка частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха для ряда станций, расположенных в различных климатических зонах Дальнего Востока. Определяются районы и месяцы с наибольшими изменениями приземной температуры воздуха. Устанавливается связь частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха с интенсивностью региональных центров действия атмосферы.

Данные о температуре воздуха на ГМС Японии размещены на сайте [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly\\_s3\\_en.php?block\\_no=47421&view=1](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_s3_en.php?block_no=47421&view=1).

Данные о температуре воздуха на прибрежных ГМС России были получены из архивов ВНИИГМИ МЦД за период 1950-2021 гг. В качестве базисного периода для расчета аномалий был выбран 1981-2010.

Критерием крупной положительной аномалии температуры воздуха в фиксированный момент времени исследуемого периода является отклонение температуры от среднего на величину  $1,2 \cdot \sigma$ , где  $\sigma$  – стандартное отклонение [3]. Частота появления аномалий  $f$  рассчитывалась как отношение количества крупных аномалий температуры воздуха к длине ряда. Частота  $f$  является вероятностно-статистической оценкой временного ряда [4].

На рисунке 1 представлен временной ход аномалий температуры воздуха на станциях Курильск и Вадзима в августе 1950-2021гг., которые расположены в разных климатических зонах.

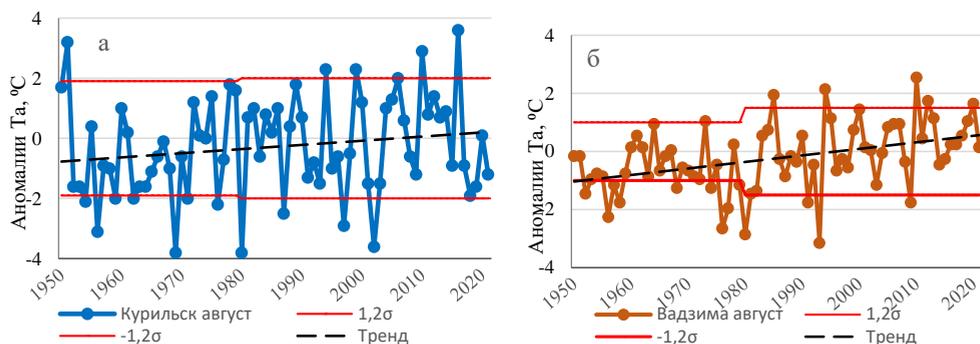


Рисунок 1 - Временные ряды аномалий среднемесячной температуры воздуха в августе - на станциях Курильск (а) и Вадзима (б) 1950-2021 гг.

Пунктиром обозначены линии линейного тренда, красными линиями – границы крупных аномалий

В августе наблюдается несовпадение величин крупных аномалий на станциях, расположенных в различных климатических зонах. Линия линейного тренда во всех сезонах пролегает в границах крупных аномалий температуры воздуха (рис. 1а, б).

На рисунке 2 представлен внутригодовой ход частоты крупных положительных аномалий температуры воздуха по станциям в прибрежных районах Охотского и Японского морей в 1950-1979 и 1980-2021 гг.

Частота  $f$  появления крупных положительных аномалий в период 1980-2021гг. заметно выше, чем в период 1950-1979гг. Отсюда можно сделать вывод, что хвост распределения аномалий в период 1980-2021гг. тяжелее, чем хвост распределения аномалий в период 1950-1979гг. Можно даже говорить, что хвост распределения аномалий в период 1980-2021гг. является тяжелым.

Понятие тяжелого хвоста распределения можно проиллюстрировать следующим образом. Например, хвост распределения Парето  $1/t$ ,  $t > 1$ , существенно тяжелее хвоста распределения  $\exp(-t)$ . Это означает, что большие значения случайной величины с распределением Парето редкие, но не такие редкие, как у случайной величины с показательным распределением. Распределения с тяжелыми хвостами в последнее время активно используются в страховой математике при расчетах вероятности разорения страховой компании с большим начальным капиталом [4].

Различия в изменчивости числа лет с крупными аномалиями и частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в периоды 1950-1979гг. и 1980-2021 гг. могут быть обусловлены особенностями атмосферной циркуляции над вторым естественным синоптическим районом северного полушария (2е.с.р.). В зимний период в район Охотского моря выходят активные циклоны, способствующие неустойчивости метеорологических параметров. В районах с высокой циклонической активностью увеличиваются флуктуации приземной температуры воздуха. В умеренных и южных районах в зимний сезон пролегает высотная фронтальная зона (ВФЗ). Колебания метеорологических параметров в этой зоне уменьшаются вследствие уменьшения активности циклонической деятельности. Особенности атмосферной циркуляции в периоды 1950-1979 и 1980-2021гг. представлены временными рядами аномалий среднемесячного приземного давления и геопотенциала  $H_{500}$  в центрах действия атмосферы (ЦДА) над Азиатско-Тихоокеанским регионом. В работе [5] была выявлена изменчивость режима тропосферной ложбины в

период 1948-2017гг. Было показано, что после 1980г. увеличивается число лет с экстремально большими значениями геопотенциала  $H_{500}$ , а в марте над Охотским морем отмечался активный циклогенез.

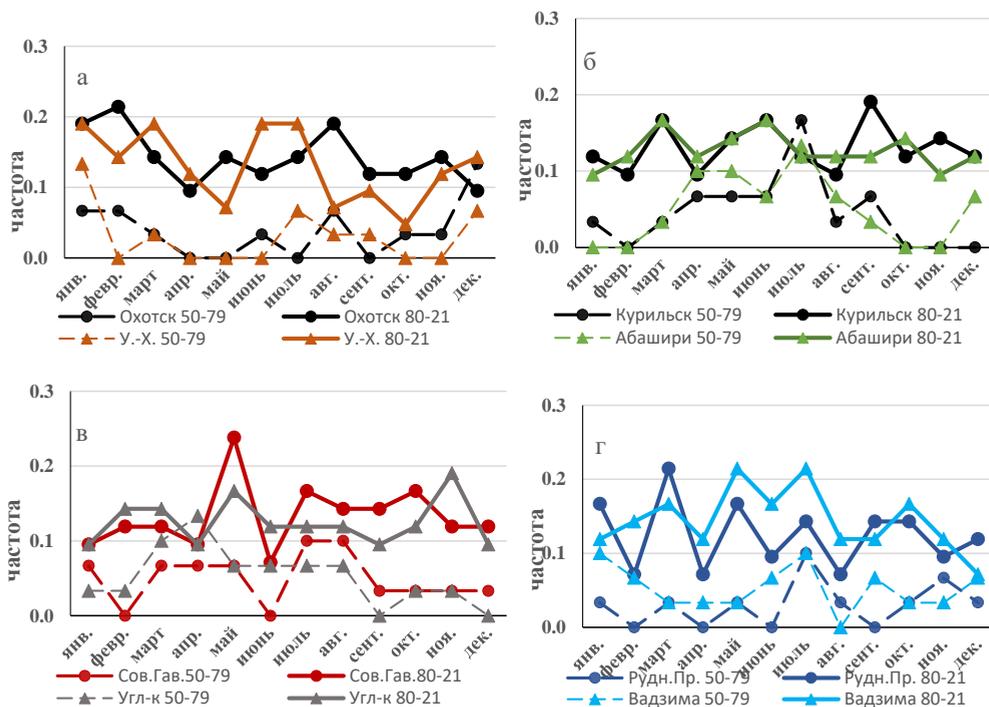


Рисунок 2 - Внутригодовой ход частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в периоды 1950-1979 и 1980-2021 гг.: а – Охотск и Усть-Хайрюзово, б – Курильск и Абашири, в – Советская Гавань и Углегорск, г – Рудная Пристань и Вадзима

Многолетний ход интегральных характеристик атмосферы в данном районе в 1950-2021гг. демонстрирует рисунок 3.

Заметное отличие в тенденциях изменчивости в приземном поле и на изобарической поверхности АТ<sub>500</sub> гПа отмечается в области азиатской депрессии (рис. 3в) и гавайского антициклона (рис. 3г). Над ними наблюдается хорошо видимый положительный тренд, оба антициклона усиливаются.

Выявленные различия в периоды 1950-1979 гг. и 1980-2021 гг. числа крупных положительных аномалий и частоты их появления обусловлены изменениями циркуляционного режима в центрах действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом.

В период 1980-2021 гг. резкий рост числа и частоты крупных аномалий приземной температуры воздуха совпадает с изменением режима тропосферной ложбины у восточного побережья Азии и продолжающимся усилением субтропических антициклонов (положительный тренд над их областями).

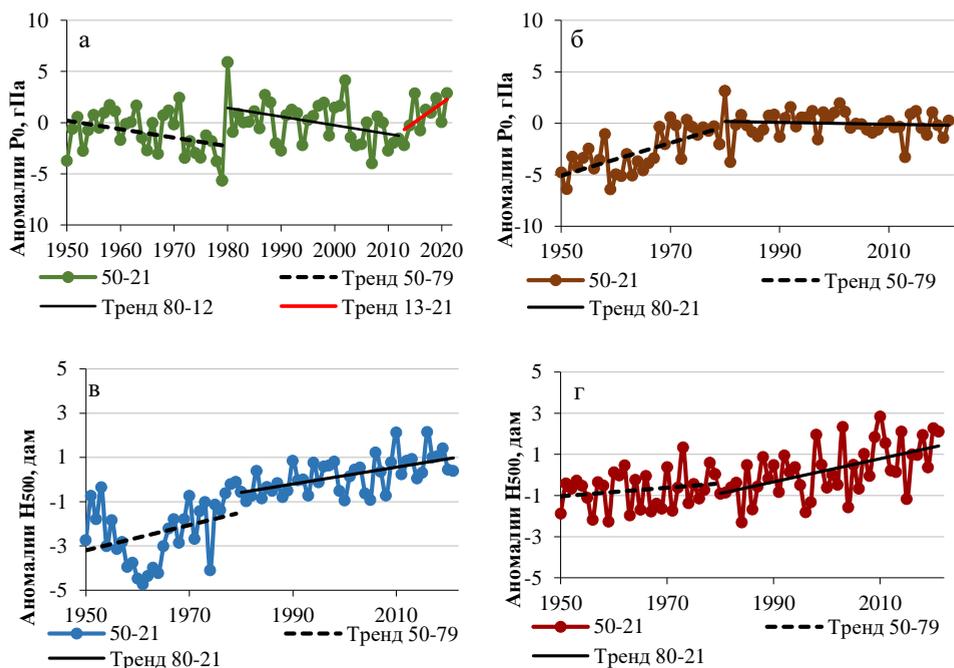


Рисунок 3 - Временные ряды аномалий в 1950-2021гг.: аномалий среднемесячного приземного давления в августе - над Охотским морем (а) и летней дальневосточной депрессией (б); аномалий геопотенциала  $H_{500}$  в области азиатской депрессии (в) и гавайского антициклона (г). Линейные тренды показаны для 1950-1979 и 1980-2021гг., а также для августа 2013-2021 гг.

Рост числа крупных положительных аномалий температуры воздуха над Охотским морем в зимний период 1980-2021 гг. обусловил появление лет с аномально низкой ледовитостью, что было благоприятным климатическим фактором при промысле минтая, являющегося одним из основных промысловых объектов Дальнего Востока.

### Список литературы

1. Каев А.М. Снижение численности горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды // Изв. ТИНРО. 2018. Т.192. С. 3-14.
2. Шатилина Т.А., Великанов А.Я., Цицаишвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Аномальные гидрометеорологические условия в эстуарно-прибрежный период жизни горбуши Восточного Сахалина // Труды ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 181-192.
3. Спичкин В.А. Определение критерия крупной аномалии //Труды ААНИИ. 1987. Т. 402. С. 15-20.
4. Embrechts P., Klueppelberg C., Mikosch T. Modelling Extremal Events for Insurance and Finance; Stochastic Modelling and Applied Probability// Springer: Berlin. Germany. 1997. Volume 33. Ch.1. P. 3-19.
5. Шатилина Т.А., Цицаишвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Изменчивость режима тропосферной ложбины у восточного побережья Азии и климатические экстремумы в период 1980-2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 102-106.

## ПРОБЛЕМАТИКА И ДОПОЛНЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ПЛАНА АДАПТАЦИЙ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ширяева Е.И.

Научный руководитель: д.г.н. Павловский Артём Александрович  
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург  
*liza.shir@yandex.ru*

*Аннотация.* В связи с нарастающей глобальной проблемой изменения климата в 2022 году для всех субъектов Российской Федерации были подготовлены региональные планы адаптаций к изменениям климата. В статье на примере Регионального плана адаптаций к изменениям климата Владимирской области рассматриваются возможные проблемы данного нормативного документа и вносятся необходимые дополнения.

*Ключевые слова.* Изменение климата, региональные планы адаптаций, Владимирская область, лесной план, климатические риски.

## PROBLEMS AND ADDITIONS TO THE REGIONAL CLIMATE CHANGE ADAPTATION PLAN OF THE VLADIMIR REGION

Shiryayeva E.I.

Research advisor: D.Sc. Pavlovskiy Artem Alexandrovich  
Saint-Petersburg State University, St. Petersburg

*Abstract.* In connection with the growing global problem of climate change in 2022, regional adaptation plans for climate change have been prepared for all subjects of the Russian Federation. Using the example of the Regional Climate Change Adaptation Plan of the Vladimir Region, the article discusses possible problems of this regulatory document and makes the necessary additions.

*Keywords.* Climate change, regional adaptation plans, Vladimir region, forest plan, climate risks

Введение. Основной проблемой Регионального плана адаптаций к изменениям климата Владимирской области является разобщённость подготовки адаптационных мероприятий для разных сфер деятельности региона. В настоящем плане описаны адаптации к климатическим рискам преимущественно для сельскохозяйственного сектора.

Также, в Перечне приоритетных адаптационных мероприятий в разделах «Отраслевой план в сфере защиты территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и «Мероприятия, обеспечивающие реализацию регионального плана адаптации к изменениям климата» отсутствуют виды нормативных документов и ожидаемые результаты от реализации мероприятий [2].

Регион исследований, объекты и методы. Регионом исследования является Владимирская область, объектом исследования – Региональный план адаптаций к изменениям климата Владимирской области.

Методами исследования были сравнительный анализ нормативных документов по климатическим адаптациям и ретроспективная оценка климатических рисков.

Обсуждение результатов. В качестве дополнения к Плану можно рассматривать адаптационные мероприятия для лесохозяйственного сектора, описанные в действующем нормативном документе «Лесной план Владимирской области на период 2019-2028 гг.», в частности в разделе 4.2. «Информация о планируемых мероприятиях по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов».

Так, с целью уменьшения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах планируется проведение ряда мероприятий, таких как:

- создание лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров;
- прокладка просек, противопожарных разрывов;
- устройство противопожарных минерализованных полос;
- мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожарах путем наземного патрулирования лесов;

– авиационный мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожарах и др.

Планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов:

– корректировка длительности цикла лесовосстановления и правил ухода за лесами с учетом продуктивности лесов;

– ориентация на выращивание разновозрастных смешанных насаждений;

– использование в процессах лесовосстановления и лесоразведения, адаптированных к прогнозируемым климатическим изменениям видов древесных пород;

– повышение эффективности мер пожарной безопасности в лесах, в том числе предупреждения лесных пожаров, мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров;

– совершенствование системы лесопатологического обследования и др. [3].

Другим важным дополнением является распределение климатических рисков территории по уровням опасности, выполненное по форме Приложения №3 «Рекомендуемая градация источников климатических рисков по интенсивности, распространенности, продолжительности и уровню опасности» к Методическим рекомендациям по оценке климатических рисков, и представленное в Таблице 1 [1].

Таблица 1 - Распределение климатических рисков территории по уровням опасности (ретроспективная оценка рисков)

Распределение климатических рисков территории по уровням опасности (ретроспективная оценка рисков)	Катастрофический	Весьма опасный	Опасный	Умеренно опасный
Общее количество	0%	4%	33%	29%
По категориям риска (да/нет)				
1. Оползни	нет	нет	нет	да
2. Сели	нет	нет	нет	нет
3. Лавины	нет	нет	нет	нет
4. Абразия и термоабразия	нет	нет	нет	нет
5. Переработка берегов водохранилищ, озер	нет	нет	нет	да
6. Карст	нет	нет	да	нет
7. Суффозия	нет	нет	нет	да
8. Просадочность лессовых пород	нет	нет	нет	да
9. Подтопление территории	нет	нет	нет	да
10. Эрозия плоскостная и овражная	нет	нет	да	нет
11. Русловые деформации	нет	нет	нет	да
12. Термоэрозия овражная	нет	нет	нет	нет
13. Термокарст	нет	нет	нет	нет
14. Пучение	нет	нет	нет	нет
15. Солифлюкция	нет	нет	нет	нет
16. Наледообразование	нет	нет	нет	нет
17. Наводнение	нет	нет	нет	да
18. Ураганы, смерчи, сильный ветер	нет	да	нет	нет
19. Жара	нет	нет	да	нет
20. Засуха	нет	нет	да	нет
21. Заморозки	нет	нет	да	нет
22. Град	нет	нет	да	нет
23. Сильные атмосферные осадки	нет	нет	да	нет
24. Пожарная опасность в лесах	нет	нет	да	нет

Для Владимирской области характерны климатические риски, представленные в Таблице 2 [1]. Некоторые риски из Таблицы 1 не включены в перечень детализированной информации ввиду особенностей физико-географического положения Владимирской области.

**Выводы.** Наиболее опасными для Владимирской области являются климатические риски, источником которых является атмосфера. Из этого следует дальнейшее разрешение проблематики Регионального плана адаптаций к изменениям климата Владимирской области путем включения в него дополнений в виде распределения климатических рисков территории по уровням опасности и их детального описания, а также доработки адаптационных мероприятий для всех секторов экономико-хозяйственной деятельности региона.

Таблица 2 - Детализированная информация

Показатели риска	Подверженность территории, %	Уровень опасности	Максимум
Оползни	0,1-1	умеренно опасный	объем оползня более 1-10 тыс.м <sup>3</sup>
Переработка берегов водохранилищ, озер	нет данных	умеренно опасный	нет данных
Карст	5-50	опасный	менее 0,01 случаев в год
Суффозия	менее 2	умеренно опасный	нет данных
Просадочность лессовых пород	30-50	умеренно опасный	нет данных
Подтопление территории	менее 50	умеренно опасный	Скорость подъема уровня подземных вод 0,5 м/год
Эрозия плоскостная и овражная	30-50	опасный	Скорость развития овражной эрозии 1-5 м/год
Русловые деформации	5-6	умеренно опасный	нет данных
Наводнение	10	умеренно опасный	Продолжительность проявления 1-5 суток
Ураганы, смерчи, сильный ветер	30-70	весьма опасный	Продолжительность 5-10 ч, Скорость 28,5-32,6 м/с
Жара	30	опасный	Температурный максимум 35 °С
Засуха	30	опасный	Средняя интенсивность
Заморозки	30	опасный	Средняя интенсивность
Град	30-70	опасный	Диаметр более 20 мм
Сильные атмосферные осадки	70	опасный	Интенсивность более 30 мм за 1 ч, более 50 мм за 12 ч, более 120 мм за 48 ч
Пожарная опасность в лесах	нет данных	опасный	Значение комплексного показателя 4 001...10 000

### Список литературы

1. Приказ Минэкономразвития Российской Федерации от 13 мая 2021 года N 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата» <https://docs.cntd.ru/document/603604566>
2. Распоряжение Администрации Владимирской области от 6 мая 2022 года N 423-р «Об утверждении регионального плана адаптации к изменениям климата»
3. Распоряжение губернатора Владимирской области от 17 января 2019 года N 1-рг «Об утверждении лесного плана Владимирской области» <https://docs.cntd.ru/document/550343157>

## ВЫСОТА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ И ТЕНДЕНЦИИ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Шишкин Г.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

*mr.GoraShi@mail.ru*

*Аннотация.* Автором проведён анализ особенностей межсезонной изменчивости высоты пограничного слоя атмосферы на территории северной Евразии за период 1979-2021 г.

*Ключевые слова.* Атмосфера, пограничный слой, слой перемешивания, загрязнение воздуха.

## THE HEIGHT OF THE BORDER LAYER OF THE ATMOSPHERE AND THE TRENDS OF ITS CHANGE ON THE TERRITORY OF NORTHERN EURASIA

Shishkin George Igorevich

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

*Annotation.* The author has analyzed the features of the interseasonal variability of the height of the atmospheric boundary layer on the territory of northern Eurasia for the period 1979-2021.

*Keywords.* Atmosphere, boundary layer, mixing layer, air pollution.

Для практикующих метеорологов, ведущих исследования и мониторинг загрязнения воздуха, особый интерес представляет так называемый слой перемешивания. Данный слой способен удерживать значительную долю аэрозолей, мелкодисперсной пыли и других примесей. Эта область относится к планетарному пограничному слою, где происходят интенсивные вертикальные движения, вызванные радиационным нагреванием и динамическими факторами, влекущими турбулентный обмен и перемешивание воздушных масс. В условиях устойчивой стратификации эти процессы обусловлены сдвигом ветра и волновыми движениями, а в случае неустойчивой – еще и силами плавучести. Мощность вертикального слоя, в котором происходит конвективное и турбулентное перемешивание зависит от времени суток, сезона, а также орографических особенностей местности. Чем больше высота слоя перемешивания, тем значительнее объем атмосферы, в котором могут забываться загрязнители. Рост концентрации примесей в атмосфере обычно фиксируется при уменьшении слоя перемешивания, особенно при его высоте (ВСП) менее 1,5 км. При высоте слоя перемешивания более 1,5 км практически не наблюдается повышение загрязнения воздуха.

Однако, само по себе определение высоты слоя перемешивания неоднозначно. Часто она отождествляется с высотой пограничного слоя атмосферы (ПСА), верхняя граница которого в конвективных условиях совпадает с нижней границей температурной инверсии, накрывающей слой конвекции, а при устойчивой стратификации определяется как уровень, выше которого интенсивность турбулентности спадает до 5 % от ее интенсивности у поверхности. Таким образом, мощность ПСА может варьироваться в пределах от десятков метров до нескольких километров.

В связи с этим, целью автора было исследовать межсезонную изменчивость высоты пограничного слоя атмосферы на территории России и северной Евразии, анализ чего позволил бы дополнительно оценить динамику загрязнения атмосферы в регионе. Учитывая, что под влиянием термического и динамического воздействий подстилающей поверхности в ПСА развиваются макромасштабные циркуляционные явления, проблема представляется весьма актуальной.

Автором была поставлена задача изучить особенности межсезонной изменчивости высоты ПСА, приблизительно соответствующей ВСП, на территории северной Евразии. Исходным материалом исследования послужили данные реанализа по высоте ПСА в период с 1979 по 2021 гг. Выбор данных реанализа обусловлен отсутствием пропусков и неоднородностей в исходных рядах.

В ходе обработки исходных данных был построен рисунок 1 (а – з), дающий наглядное представление о динамике высоты ПСА в исследуемом регионе в различные сезоны года. В качестве наиболее показательных, выбраны центральные месяцы соответствующих сезонов.

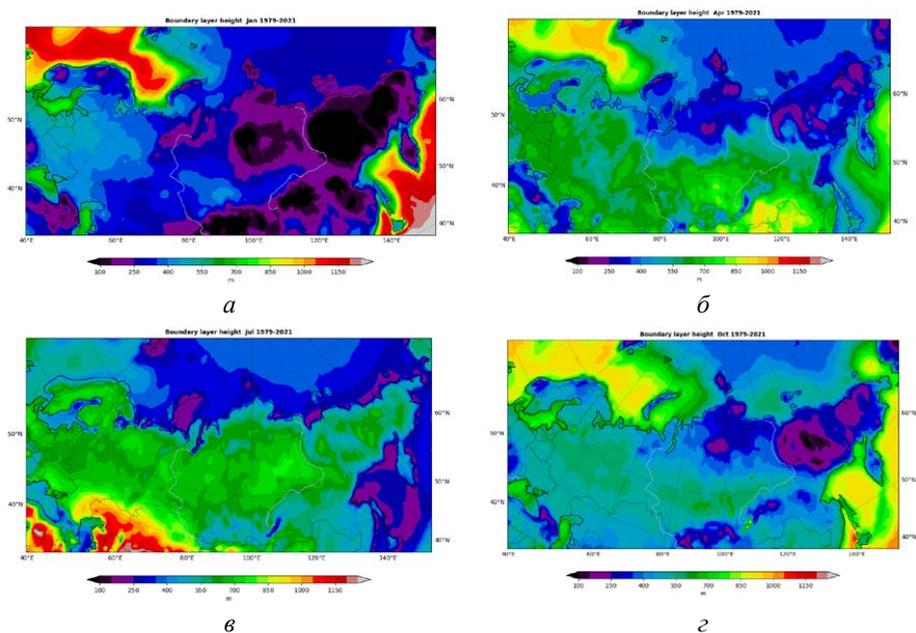


Рисунок 1 - Высота пограничного слоя атмосферы на территории северной Евразии в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) за период 1979 - 2021 гг.

Наблюдаются характерные сезонные колебания высоты ПСА, главным образом, связанные с изменчивостью синоптической ситуации.

Минимальные значения высоты ПСА, наблюдаемые в холодное время года (октябрь-март) в северо-восточных регионах Евразии, обусловлены доминированием Азиатского антициклона. Вследствие сильного выхолаживания материка, за счёт вторжения воздушных масс с п-ова Таймыр и Восточно-Сибирского моря, образующаяся область повышенного давления достигает своего максимального развития в зимние месяцы. Атмосферная стратификация приобретает устойчивость, циркуляция постепенно ослабевает над значительной площадью суши. Образование задерживающих слоёв с малыми вертикальными градиентами температуры и инверсиями, подчас занимающими весь пограничный слой атмосферы, препятствует генерации кинетической энергии турбулентности, таким образом, способствуя снижению интенсивности перемешивания и уменьшению высоты ПСА до

минимальных значений (50-200 м). Напротив, своих максимальных значений (700-1000 м) атмосферный пограничный слой достигает в тёплое время года, когда на территории восточной Европы и Русской равнины наблюдается развитая макромасштабная циклоническая циркуляция, а в северо-восточных регионах континента на смену Азиатскому максимуму также приходит депрессия, принося с собой атмосферную неустойчивость. На территории Восточной Сибири годовая амплитуда высоты ПСА достигает наибольших значений (более 800 м).

Стоит отметить, что сложности в структурировании слоя перемешивания при преобладании перемежающейся конфигурации турбулентности атмосферы, вынудили учёных искать решение проблемы. Воспользовавшись рекомендациями [1], основанными на зондировании концентрации аэрозоля (как наилучшего индикатора динамически атмосферных процессов), примем определённый исследователями вариант разделения слоя перемешивания на внутренний и внешний слой. В зимнее время их высоты совпадают, процесс турбулентного перемешивания аэрозоля происходит в один этап. В летнее же время аккумуляция аэрозоля происходит во внутреннем слое, и лишь при достижении некоей пороговой концентрации, под воздействием динамических факторов, происходит его проникновение в верхний слой перемешивания, ограниченный сверху, в свою очередь, устойчивым слоем, температурной инверсией, либо изотермией. Отсюда, наиболее значимым для исследования загрязнения атмосферного воздуха представляется именно внутренний слой перемешивания, в образовании которого ключевую роль играют механизмы турбулентного теплообмена с подстилающей поверхностью.

Согласно [2], для отражения динамики высоты внутреннего слоя перемешивания (ВВСП) можно применять как данные температурного профилемера МТП-5, так и содарные измерения. Было выявлено что, ВВСП колеблется в пределах 100-500 м и имеет выраженную сезонную вариативность. В теплое время года ВВСП прямо пропорционально зависела от динамики среднемесячной температуры, что обуславливалось фактором радиационного прогрева подстилающей поверхности и усиления турбулентного обмена. В холодное время года, особенно зимой, ситуация была прямо противоположная: покрытая снегом поверхность не могла оказать существенного влияния на увеличение ВВСП. Очевидно, что региональные особенности климата, вносят ключевой вклад в динамику процесса, усиливая или ослабляя эффект от радиационного прогрева. Таким образом, выводы исследователей коррелируют и с полученными автором значениями колебаний высоты ПСА.

Более того, на основе данных реанализа был вычислен параметр наклона высоты ПСА. Показатель КНЛТ для центральных месяцев соответствующих сезонов года представлен на рисунке 2 ( $a - \varepsilon$ ).

КНЛТ высоты ПСА подтверждает вышеописанный характер сезонной изменчивости высоты пограничного слоя под влиянием динамических факторов и радиационного нагревания, определяющих режим турбулентного обмена и конфигурацию атмосферной стратификации в целом. Максимальные значения КНЛТ высоты ПСА в рассматриваемый период времени на территории северной Евразии наблюдаются в теплое время года (май-июль), что соотносится с условиями возрастающей неустойчивости атмосферы под влиянием западно-восточного переноса. Минимальные значения КНЛТ наблюдаются в зимние месяцы (декабрь-январь), что, очевидно, является следствием преобладания малоградиентных, а значит малоподвижных, барических образований, развитой антициклонической циркуляции и устойчивости атмосферной стратификации.

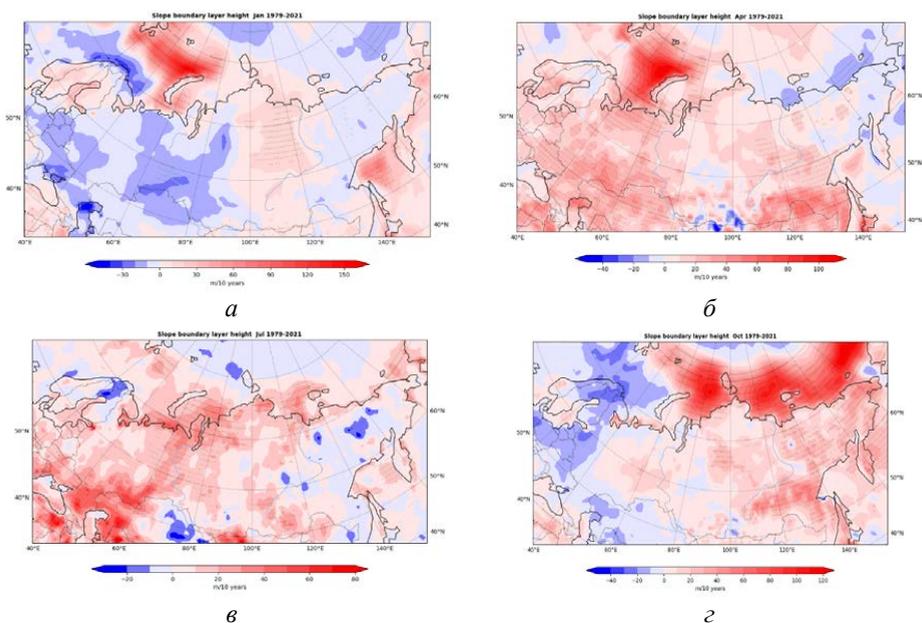


Рисунок 2 - Коэффициент наклона линейного тренда высоты ПСА на территории северной Евразии в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) за период 1979 - 2021 гг.

Выявление территориальных особенностей сезонной изменчивости высоты ПСА и отождествлённой с ней ВСП также отлично коррелирует и с ранее предложенными исследователями планами районирования исследуемой территории по потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА) и метеорологическому потенциалу её рассеивающей способности (МПА), обобщёнными А.Е. Морозовым в [3]. Так, территория Восточной Сибири, характеризующаяся наиболее низкими показателями высоты пограничного слоя на протяжении большей части года (рисунок 1 (а – г)), относится к зонам «высоких» и «очень высоких» значений ПЗА (IV и V по классификации Э.Ю. Безуглой), а также к зонам «неблагоприятных» и «крайне неблагоприятных» значений МПА (по классификации Т.С. Селегея). Территория, охватывающая западную и северо-западную часть ЕЧТР, и характеризующаяся стабильно высокими значениями высоты ПСА в течение года, напротив, относится к благоприятным зонам с «низкими» и «умеренными» показателями ПЗА (I и II по классификации Э.Ю. Безуглой), а также обладающая «хорошими» условиями для рассеивания примесей (по классификации Т.С. Селегея).

Таким образом, уменьшение значений высоты ПСА будет справедливо являться маркером роста урвней концентрации загрязняющих веществ в атмосфере исследуемого региона. Более того, показатели изменений высоты ПСА позволят нам судить об аккумуляции примесей в атмосферном воздухе даже когда общей оценки синоптической ситуации будет недостаточно. Ведь анализ общей картины синоптического положения невозможен без учёта характера конкретного распределения метеорологических величин, так как их распределение в различных барических образованиях и суточный ход могут компенсировать друг друга.

### Список литературы

1. Белан Б.Д. Динамика слоя перемешивания по аэрозольным данным // Оптика атмосф. и океана. – 1994. – № 8. – Т. 7. – С. 1045-1054.

2. *Гладких В.А., Камардин А.П., Невзорова И.В.* Определение высоты внутреннего слоя перемешивания по измерениям содаров серии «Волна» // Оптика атмосф. и океана. – 2008. – № 12. – Т. 22. – С. 1154-1159.
3. *Метеорологические условия и загрязнение атмосферы: учебное пособие / А.Е. Морозов, Н.И. Стародубцева.* – Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2020. – С. 65-73.
4. *Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Курьшина В.Ю., Агайар Е.В.* Определение высоты пограничного слоя атмосферы по наземным метеорологическим наблюдениям // ScienceRise. – 2016. – № 1 (24). – Т.7. – С. 6-10.
5. *Зилитинкевич С.С., Тюряков С.А., Троицкая Ю.И., Мареев Е.А.* Теоретические модели высоты пограничного слоя атмосферы и турбулентного вовлечения на его верхней границе // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2012. – № 1. – Т. 48. – С. 150.

## СЕКЦИЯ 4

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ENVIRO-HIRLAM ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ВЕЛИКОБРИТАНИИ**

Валпита Г. К. М. В.<sup>1</sup>, Мханна А.И.Н.<sup>1</sup>, Неробелов Г.М.<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>СПб ФИЦ РАН – Научно-исследовательский центр экологической безопасности

Российской академии наук

*kumuthu24@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматривается применение региональной численной модели прогноза погоды и состава атмосферы Enviro-HIRLAM для исследования факторов, приводящих к низкому качеству воздуха на примере Лондона (Великобритания) в январе 2010 г. Также анализируется корреляция между концентрацией загрязняющих веществ и метеорологических параметров у поверхности Земли. *Ключевые слова.* Загрязнение воздуха, метеорологические параметры, модель Enviro-HIRLAM, Лондон.

#### **USING THE ENVIRO-HIRLAM MODEL TO EVALUATE THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR IN THE UNITED KINGDOM**

Walpita Gamage Kumuthu Mindula Walpita<sup>1</sup>, Mkhanna Aaed Ismail Nazir<sup>1</sup>,  
Nerobelov Georgy Maksimovich<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg

<sup>3</sup>SPb FRC RAS—Scientific Research Centre for Ecological Safety  
of the Russian Academy of Sciences

*Annotation.* The application of the Enviro-HIRLAM regional numerical model of weather forecast and atmospheric composition is considered to study factors which cause poor air quality on the example of London (UK) in January 2010. Also we analyse the correlation between the concentration of pollutants and meteorological parameters in a near-surface layer.

*Keywords.* Air pollution, Meteorological parameters, Enviro-HIRLAM model, London.

**Введение.** Низкое качество воздуха в городах имеет вредные последствия для здоровья человека, живых существ, окружающей среды и климата. Например, из-за плохого качества воздуха в Лондоне в течение 20 века погибли тысячи людей [4]. Загрязнение воздуха в крупных городах в основном вызвано антропогенной деятельностью, такой как сжигание ископаемого топлива транспортом и в ходе производства тепловой и электрической энергии, выбросами заводов, сельского хозяйства и другими факторами. Такие загрязняющие вещества, как SO<sub>2</sub>, NO, CO, наиболее распространены в городах и, следовательно, наиболее важны для качества воздуха [5]. Содержание загрязняющих веществ может быть охарактеризовано с помощью локальных и дистанционных измерений состава атмосферы. Кроме того, в течение последних десятилетий для мониторинга качества воздуха на территориях крупных городов используется трехмерное численное

моделирование состава атмосферы с высоким разрешением [2]. В отличие от измерений, численные модели состава атмосферы предоставляют информацию об изменении атмосферных загрязнителей с высоким пространственным и временным разрешением. В текущем исследовании численная модель Enviro-HIRLAM используется для исследования факторов, вызывающих плохое качество воздуха в Лондоне, Великобритания в январе 2010 года.

Материалы и методы. В работе используется региональная численная модель прогноза погоды и состава атмосферы Enviro-HIRLAM (Environment - High Resolution Limited Area Model) [1] для моделирования пространственно-временного распределения приземных загрязнителей воздуха ( $\text{SO}_2$ , NO, CO) и метеорологических параметров (облачность, температура воздуха на высоте 2 м, скорость ветра на высоте 10 м) в январе 2010 года на территории, которая охватывает Арктику, Арктическую Россию, Европу, Канаду и другие территории. Пространственное и временное разрешения составляют 15 км и 3 ч соответственно. При запуске модели задаются такие исходные данные, как метеорологические и химические граничные условия, выбросы загрязняющих веществ. Для изучения выбран Лондон, Великобритания. Для определения взаимосвязи между концентрациями загрязняющих веществ в воздухе и метеорологическими параметрами мы использовали коэффициент корреляции [3].

Результаты и обсуждение. В таблицах 1 и 2 показаны взаимосвязи между тремя загрязнителями воздуха и метеорологическими параметрами в Лондоне в январе 2010 года на основе моделирования Enviro-HIRLAM. Наибольшая, но недостаточно высокая, положительная корреляция наблюдается между приземной концентрацией  $\text{SO}_2$  и CO (0.39) (Таблица 1). Возможно это говорит о близости источников данных загрязнителей. Результаты демонстрируют сильную отрицательную корреляцию между  $\text{SO}_2$  и температурой воздуха на высоте 2 м, CO и скоростью ветра на высоте 10 м (Таблица 2). Значения коэффициентов корреляции равны -0.66 и -0.62, соответственно. Таблицы также показывают положительную корреляцию между NO и такими параметрами, как облачность и температура воздуха на высоте 2 м.

*Таблица 1 – Коэффициенты корреляции между концентрациями загрязняющих веществ (NO,  $\text{SO}_2$ , CO) на основе моделирования Enviro-HIRLAM в Лондоне в январе 2010 г.*

Параметр	NO	$\text{SO}_2$	CO
NO	-	-0.05	0.14
$\text{SO}_2$	-0.05	-	0.39
CO	0.14	0.39	-

Значения концентрации NO у поверхности Земли и облачности постепенно увеличиваются в течение периода 09.01-11.01 (рисунок 1) и показывают огромный прирост в 25.01 и умеренное уменьшение до 27.01. Почти такая же зависимость наблюдается между NO и температурой воздуха на высоте 2 м (рисунок 2). Согласно результатам моделирования Enviro-HIRLAM, при увеличении скорости ветра на высоте 10 м концентрация CO вблизи поверхности Лондона уменьшается (рисунок 3). При понижении температуры воздуха концентрация  $\text{SO}_2$  вблизи поверхности увеличивается (рисунок 4).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции между концентрациями загрязняющих веществ ( $NO$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ) и метеорологическими параметрами на основе моделирования Enviro-HIRLAM в Лондоне в январе 2010 г.

Параметр	TCC	Температура воздуха на высоте 2 м	Скорость ветра на высоте 10 м
NO	0.32	0.28	-0.09
SO <sub>2</sub>	-0.40	-0.66	-0.30
CO	-0.05	-0.11	-0.62

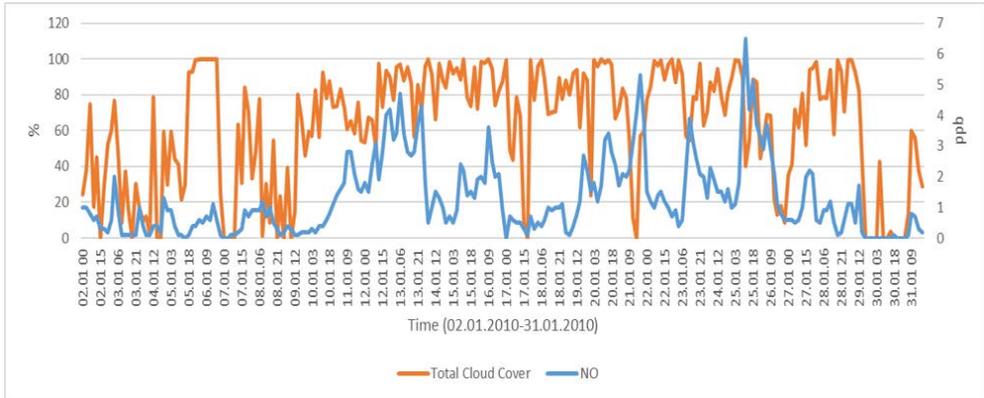


Рисунок 1– Временные ряды концентрации  $NO$  у поверхности Земли и облачности по данным Enviro-HIRLAM в Лондоне за январь 2010 г.

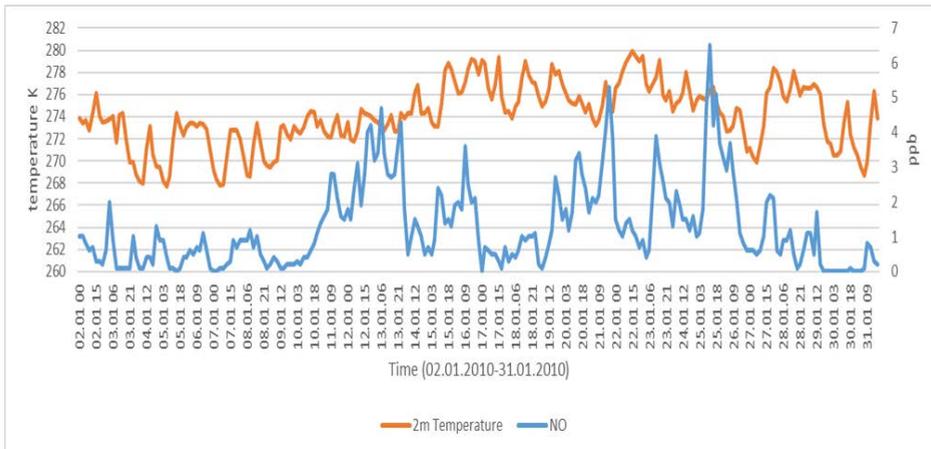


Рисунок 2 – Временные ряды концентрации  $NO$  у поверхности Земли и температуры воздуха на высоте 2 м по данным Enviro-HIRLAM в Лондоне за январь 2010 г.

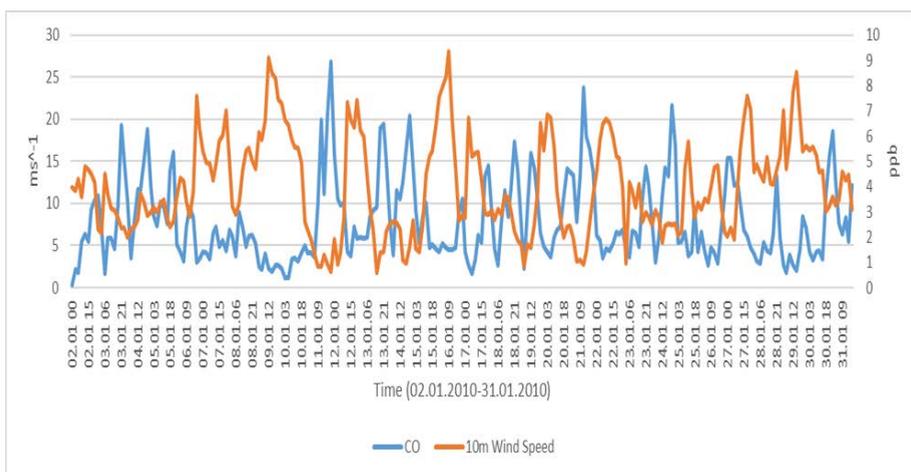


Рисунок 3 – Временные ряды концентрации  $CO$  у поверхности Земли и скорости ветра на высоте 10 м по данным Enviro-HIRLAM в Лондоне за январь 2010 г.

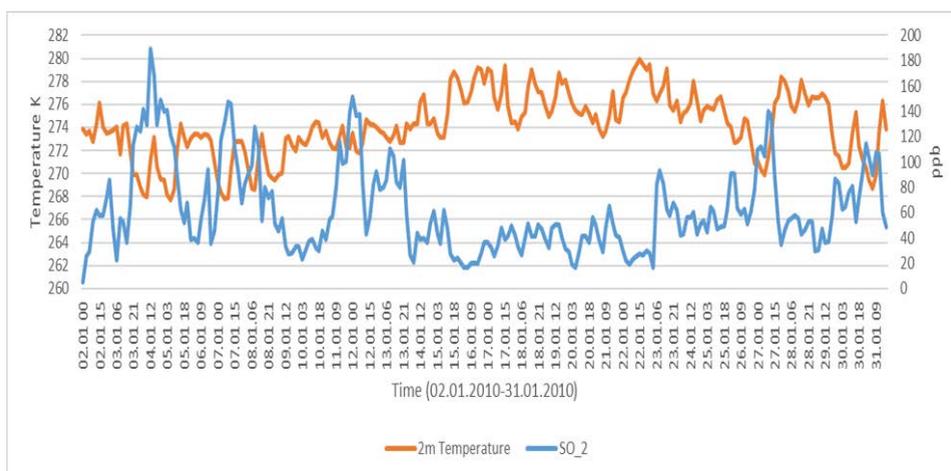


Рисунок 4– Временные ряды концентрации  $SO_2$  у поверхности Земли и температуры воздуха на высоте 2 м по данным Enviro-HIRLAM в Лондоне за январь 2010 г.

На рисунке 5 показано, как изменяется минимальная и максимальная концентрация  $NO$  (а), концентрация  $SO_2$  (б) и концентрация  $CO$  (в) вблизи поверхности Лондона в январе 2010 года на основе моделирования Enviro-HIRLAM.

**Выводы.** В этом исследовании анализировалась связь между концентрациями загрязняющих веществ в воздухе и метеорологическими параметрами у поверхности Земли на примере Лондона в январе 2010 года. Исследование демонстрирует возможность использования численного моделирования для мониторинга качества воздуха. Согласно данным моделирования, временное изменение загрязняющих веществ имеет низкую корреляцию друг с другом (максимальная между  $CO$  и  $SO_2$ , 0.39). Изменение метеорологических параметров оказывает выраженное влияние на загрязняющие вещества. Так, скорость приземного ветра имеет относительно высокую отрицательную корреляцию с изменением концентрации  $CO$ , а температура воздуха – с  $SO_2$  (более 0.6). Соответственно, по данным моделирования Enviro-HIRLAM, высокие значения приземной температуры воздуха и скорости ветра должны способствовать более низкому содержанию двух основных загрязнителей в воздухе Лондона и, вероятно, других городов.

Такие результаты и дальнейшие исследования позволят органам общественного здравоохранения планировать будущие разработки в области создания экологически чистой среды в городах.

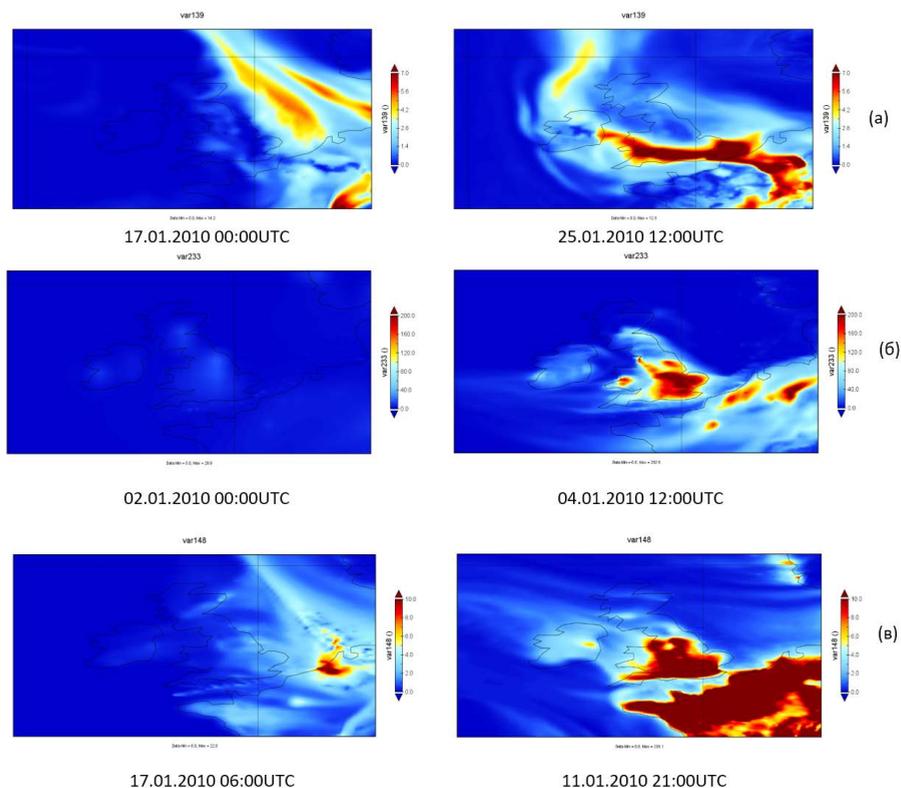


Рисунок 5 – Минимальные и максимальные значения концентрации  $NO$  (а),  $SO_2$  (б) и  $CO$  (в) у поверхности Земли в Лондоне в январе 2010 г.

### Список литературы

1. Baklanov A., Korsholm U.S., Nuterman R., Mahura A., Nielsen K.P., Sass B.H., Rasmussen A., Zakey A., Kaas E., Kurganskiy A., Sørensen B., González-Aparicio I. Enviro-HIRLAM online integrated meteorology–chemistry modelling system: strategy, methodology, developments and applications (v7.2), 2017 <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2971-2017>
2. Huang, Jian-Ping Numerical simulation and process analysis of typhoon-related ozone episodes in Hong Kong. Journal of Geophysical Research, 2005 <https://doi.org/10.1029/2004JD004914>
3. Kirch Wilhelm., Encyclopedia of Public Health, 2008 <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7>
4. Patrick Léon Gross, Nicholas Buchanan, Sabine Sané Blue skies in the making: Air quality action plans and urban imaginaries in London, Hong Kong, and San Francisco, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.09.019>
5. South Carolina Department of Health and Environmental Control. <https://scdhec.gov/environment/your-air/most-common-air-pollutants>

## МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВИН

Ефременко А.Н.<sup>1</sup>, Ермакова О.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>487 отдельный вертолётный полк, Будённовск

*olya.sa.96@mail.ru*

*Аннотация.* Обосновывается необходимость создания и реализации методики автоматизированного расчета динамических характеристик лавин. Выполнен расчет динамических характеристик лавин на примере снеголавинного режима п. Красная Поляна в период с 2003 по 2014 года.

*Ключевые слова.* Лавина, динамические характеристики, автоматизированный расчет, макет, прогнозирование.

## METHOD OF AUTOMATED CALCULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AVALANCHES

Efremenko A.N.<sup>1</sup>, Ermakova O.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Budgetary Military Educational Institution of Higher Education «Mozhaisky Military Aerospace Academy» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Sankt-Petersburg

<sup>2</sup>487 separate helicopter regiment, Budyonnovsk

*Annotation.* The necessity of creating and implementing an automated methodology for calculating the dynamic characteristics of avalanches is substantiated. The calculation of the dynamic characteristics of avalanches on the example of the snow avalanche regime of Krasnaya Polyana from 2003 to 2014 was carried out.

*Keywords.* Avalanche, dynamics, automation, layout, calculation, forecasting.

Сход лавины является одним из наиболее опасных природных явлений, которое создаёт значительную угрозу безопасности населения, наносит огромный материальный ущерб.

Важным этапом контроля над сходом лавин является прогноз лавинной опасности. Необходимо учитывать множество факторов лавинообразования. К основным относятся:

- высота снежного покрова;
- плотность снега;
- интенсивность снегопада;
- оседание снежного покрова;
- температурный режим воздуха и снежного покрова;
- метелевое распределение снежного покрова [1].

Наиболее важные факторы - это прирост свежеснежного покрова, интенсивность снегопада и метели. В отсутствии осадков сход может быть следствием интенсивного таяния снега под воздействием тепла, солнечной радиации и процесса перекристаллизации, приводящих к разрушению снежной толщи.

С учетом рассматриваемого комплекса различных факторов, и в соответствии с Международной шкалой, снежные лавины характеризуются пятью степенями опасности: наименьшая, умеренная, средняя, значительная, наибольшая.

Главной задачей для борьбы с лавинами является исследование динамики образования снежных нагузов на склоне, динамики течения снежного пласта по наклонной подстилающей поверхности и динамики самой лавины.

В основу районирования лавиноопасных территорий положена типизация лавинного режима, зависящая от двух показателей: однотипности климатических факторов лавинообразования и строения снежного покрова [2].

Результаты действия лавин на элементы инфраструктуры лавиноопасной территории (инженерные сооружения, транспортные и другие коммуникации, здания и сооружения) определяются характеристиками лавины (таблица 1).

Таблица 1 - Диапазоны основных характеристик лавин

Наименование показателей	Величина
Масса, $m$	от единиц до $10^7$ т
Объем, $V$	от единиц до $10^7$ м <sup>3</sup>
Скорость движения, $v$	мокрых лавин - 10-20 м/с сухих лавин - 20-100 м/с
Динамическое давление, $p_n$	до 2 МПа
Дальность выброса, $L_{max}$	до 2000 м
Повторяемость	0,01-20 ед./год
Плотность лавинного снега, $\rho$	сухих лавин - 0,2-0,4 т/м <sup>3</sup> мокрых лавин - 0,3-0,8 т/м <sup>3</sup>
Высота фронта лавины, $H_z$	от долей метра до 10 м
Площадь сечения лавинного потока, м <sup>2</sup>	от единиц до $10^3$ м <sup>2</sup>
Коэффициент $K$ лавинной активности площади (отношение лавиноактивной площади к суммарной)	0,3-1,0
Коэффициент поражения дна долины (отношение поражаемой длины дна долины ко всей длине на данном участке)	0,2-1,0
Объем лавинных завалов на дне долин и дорогах	до $10^7$ м <sup>3</sup>

На долю лавин приходится примерно 50% несчастных случаев в горах. Условием для образования лавин является горный заснеженный склон крутизной 15 - 30 градусов, сильный снегопад с интенсивностью прироста 3 - 5 сантиметра в час [3].

В случае схода лавины, ущерб может составить 600 - 800 млн. рублей (ширина фронта лавины ~ 200 м), так как стоимость разрушенного полотна дороги, исходя из средней стоимости одного погонного километра автомобильной дороги, проектируемой в горном районе, составляет примерно 3,5 - 4 млрд. рублей. Стоимость ущерба от разрушения моста в случае схода лавины - 56 млн. рублей (средняя стоимость строительства моста составляет 3 млрд. рублей за 1 км).

Анализ, оценочной стоимости ущерба после схода лавины, позволяет сделать вывод о том, что затрачиваемые средства на восстановительные и ремонтные работы после схода лавин огромны, разработка и внедрение в оперативно-прогностическую деятельность методики автоматизированного расчета динамических характеристик лавин позволит избежать данные затраты.

При разработке методики был составлен алгоритм идентификации и определения генезиса опасных склоновых процессов, который включает в себя:

- получение информации о программе наблюдений по времени и месту (лавиноопасным районам) из базы данных (БД);

- получение информации о гидрометеорологических условиях (ГМУ) из БД в соответствии с заданными периодом времени и географическим районом;

- определение степени благоприятности ГМУ для склоновых процессов.

Программная реализация данного алгоритма была проведена в рамках создания макета программного комплекса мониторинга опасных природных процессов и явлений (Макет) с использованием объектно-ориентированного языка C++, межплатформенной библиотеки Qt и специализированного прикладного класса работы с БД, в среде разработки программного обеспечения *KDevelop*. Объекты оформлены в виде классов, разделённых по функциональным возможностям. Специальные математические функции объединены в отдельную библиотеку решения математических задач.

Разработанный Макет, реализующий данный алгоритм, позволяет проводить в автоматизированном режиме расчёт динамических характеристик лавин, а также анализ

факторов, способствующих их возникновению. Используемый математический аппарат, и достаточно простая логика решения задачи не требует задействования больших машинных мощностей и позволяет получить ответ на поставленные задачи в считанные секунды практически на любом современном ПЭВМ (рисунок 1).



Рисунок 1 - Схема автоматизированного расчета динамических характеристик и определения степени благоприятности образования лавины

Рассмотрим более подробно функции, выполняемые каждым блоком схемы автоматизированного расчета динамических характеристик и определения степени благоприятности образования лавины, приведенной на рисунке 1.

#### Блок 1. Обработка и усвоение первичной ГМИ

На вход поступает информация, полученная в результате регулярных наблюдений и исследования лавиноопасных процессов, очагов зарождения и путей движения лавин, анализ картографических материалов (морфометрические характеристики), данные дистанционного зондирования, различные описания:

данные от региональных УГМС и системы оповещения о лавиноопасных периодах; аэрокосмическая информация (среднемасштабных аэрофотоснимков и крупномасштабных космических фотоснимков высокого разрешения) с целью картографирования;

результаты прогнозирования метеорологических величин, информация о выявленных участках с повышенной техногенной нагрузкой, которая может спровоцировать развитие опасных склоновых процессов.

Блок 2. Усвоение потока первичной информации о геофизических величинах и природных явлениях, получаемой из различных источников, отображение на карте координат возникновения стихийных бедствий и опасных природных явлений, зарегистрированных за требуемый интервал времени в заданном районе.

Затем информация поступает в БД, происходит формирование банка данных стихийных бедствий и опасных природных явлений.

Блок 3. В данном блоке производится расчет динамических характеристик лавин.

Блок 4. Оценивание ГМУ по степени благоприятности для схода лавины.

С помощью данной методики проведено оценивание степени благоприятности гидрометеорологических условий образования лавин и выполнен автоматизированный расчет динамических характеристик лавин на примере снеголавинного режима п. Красная Поляна в период с 2003 по 2014 года.

В данном районе лавины могут формироваться как из смешанного снега (старый и свежавывавший) при наличии в снежной толще «горизонтов разрыхления» (ослабленных слоев снега, состоящих из кристаллов, находящихся в стадии перекристаллизации), так и свежавывавшего снега по штилевым прослойкам, состоящим из кристаллов атмосферного образования. Возникновение таких лавин обычно связано с длительными, интенсивными снегопадами, сопровождающимися ветром. В весенний период возможны сходы грунтовых лавин значительных размеров, когда в лавинный процесс вовлекается вся толща снега, и, лавина движется по грунту[4].

В таблице 2 представлены результаты автоматизированного расчета динамических характеристик лавин на примере снеголавинного режима п. Красная Поляна в период с 2003 по 2014 года.

Таблица 2 - Результаты расчётов динамических характеристик лавин

№ лс	пикетаж	$V_{1\%}, \text{M}^3$	$v, \text{M}/\text{c}$	$H_{\text{фр}1\%}, \text{при } h=4\text{M}$		$L, \text{M}$	$P_{90}^0, \text{кг}/\text{см}^2$		Угол конуса выноса, $^\circ$	$P$ с учётом угла конуса выноса, $\text{кг}/\text{см}^2$	
				мокр.	сух.		$\rho=0,3$	$\rho=0,5$		$\rho=0,3$	$\rho=0,5$
1	ПК30	28320	23,6	5,4	14,9	479	<b>1,77</b>	<b>2,95</b>	36	1,04	<b>1,74</b>
2	ПК29	11200	21,5	4,1	9,3	314	<b>1,61</b>	<b>2,69</b>	41	1,06	<b>1,76</b>
3	ПК28	84640	32,2	7,5	6,6	840	<b>2,42</b>	<b>4,03</b>	27	1,10	<b>1,83</b>
4	ПК27-28	58880	33,9	6,7	9,7	852	<b>2,54</b>	<b>4,24</b>	23	0,99	<b>1,66</b>
5	ПК26-27	26080	34,9	5,3	3,0	728	<b>2,62</b>	<b>4,37</b>	23	1,02	<b>1,71</b>
6		8800	28,2	3,8	2,1	418	<b>2,12</b>	<b>3,53</b>	23	0,83	1,38
7		42280	38,4	6,1	9,6	711	<b>2,88</b>	<b>4,80</b>	27	1,31	<b>2,18</b>
8	ПК25-26	5440	23,5	3,3	8,1	294	<b>1,76</b>	<b>2,94</b>	31	0,91	1,51
9		12000	25,3	4,2	12,1	360	<b>1,90</b>	<b>3,16</b>	30	0,95	1,58
10	ПК24	26880	38,6	5,3	26,1	820	<b>2,90</b>	<b>4,83</b>	22	1,09	<b>1,81</b>
11	ПК19-20	13120	30,9	4,3	15,5	562	<b>2,32</b>	<b>3,87</b>	25	0,96	<b>1,63</b>
12		53440	40,9	6,6	34,4	1002	<b>3,07</b>	<b>5,12</b>	26	1,35	<b>2,24</b>
13	ПК18-19	55840	32,0	6,6	25,0	1046	<b>2,40</b>	<b>4,00</b>	26	1,04	<b>1,76</b>
14	ПК15	10080	27,3	4,0	12,4	491	<b>2,05</b>	<b>3,42</b>	36	1,20	<b>2,01</b>
15	ПК14-15	34400	42,3	5,7	31,4	1025	<b>3,17</b>	<b>5,29</b>	40	<b>2,04</b>	<b>3,40</b>
16		46240	23,6	5,4	14,9	964	<b>3,18</b>	<b>5,30</b>	37	<b>1,92</b>	<b>3,19</b>
17	ПК66+50	15200	21,5	4,1	9,3	522	<b>1,89</b>	<b>3,15</b>	15	0,49	0,82
18	ПК3+50	72000	32,2	7,5	26,6	1126	<b>2,91</b>	<b>4,85</b>	17	0,85	1,42

На основе сравнения результатов расчётов характеристик лавин, приведенных в таблицах 2, со значениями давления  $P_{кр}$ , приведенными в таблице 3, для систем коммуникаций и путей сообщения, дадим оценку вероятным последствиям схода лавин.

Таблица 3 - Последствия схода лавин на различные объекты

Объекты	Суммарное давление $P_{кр}, \text{кг}/\text{см}^2$			
	Полное разрушение	Сильное Повреждение	Среднее повреждение	Слабое Повреждение
Радиорелейные линии телефонно-телеграфной связи	<b>1,8-1,9</b>	1,05-1,8	0,75-1,05	0,45-0,75
Кабельные подземные линии связи	<b>1,6-1,8</b>	1,0-1,6	0,65-1,00	0,4-0,65
Мосты из металла и железобетона пролетом до 50 м	3,8-4,5	<b>3,0-3,8</b>	2,3-3,0	1,5-2,3
Деревянные мосты	<b>2,5-3,0</b>	1,6-2,5	0,9-1,6	0,6-0,9

Суммарное давление лавин в рассмотренных нами районах превышает критическое для устойчивости систем коммуникации (красным цветом отмечены значения  $P > P_{кр}$ ). Результатом схода лавин при различных условиях также является нарушение путей сообщения (в таблице - сильное повреждение или полное разрушение мостов из металла, железобетона и деревянных мостов).

Таким образом, прогнозирование лавин требует создания информационной базы о сходах лавин в определенных районах и обновления карт лавиноопасных территорий по типам лавин и благоприятным метеорологическим условиям их возникновения. В штатных

подразделениях Росгидромета данная методика автоматизированного расчёта динамических характеристик лавин позволит оперативно осуществлять прогноз лавинной опасности, принимать меры по защите населения и объектов инфраструктуры.

### Список литературы

1. Долов М.А., Халкечев В.А. Физика снега и динамика снежных лавин. Учебник ГИМИЗ, 1972. - 327 с.
2. Крюков Е.В. Опасные природные процессы. Учебно-методическое пособие. Е. В. Крюков, В.М. Бутенко. - М. : Академия ГПС МЧС России, 2013. 232 с.
3. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова // Лед и снег. Выпуск 1(109). -М.: Наука, 2010. 72 с.
4. Аджиев А.Х., Корнилов Ю.В., Кумукова О.А., Кондратьева Н.В. Динамические характеристики лавин на территории горноклиматического курорта «Альпика-Сервис», Красная Поляна// Геориск.-2011.-№4.-с.14-16.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА С ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ СТАЦИОНАРНОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ (НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ЛАММИН-СУО)

Журавлева А.Д., Скороспехова Т.В.

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург  
*a.d.zhuravleva@gmail.com*

*Аннотация.* На основе данных многолетних наблюдений на болотной станции Ламмин-Суо (1950-2020 гг.) анализируется возможность применения математической модели для расчета стока в условиях нестационарности гидрологического режима.

*Ключевые слова.* Верховые болота, моделирование стока, нестационарность гидрологического режима.

## RUNOFF MODELING FROM OLIGOTROPHIC PEATLANDS IN CONDITIONS OF TIME SERIES HOMOGENITY VIOLATION (ON THE EXAMPLE LAMMIN-SUO PEATLAND)

Zhuravleva A.D., Scorspekhova T.V.

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg

*Abstract.* Based on the long-term observations data at the Lammin-Suo peatland station (1950-2020), the possibility of using a mathematical model to calculate runoff under hydrological regime non-stationary conditions is analyzed.

*Key words.* Oligotrophic peatland, runoff modeling, homogeneity violation.

Введение. Болота играют важную роль в управлении водными ресурсами, сохраняя значительную часть мировых запасов пресной воды и поддерживая качество вод. Исследования болот в последние десятилетия получили новый вектор вследствие установления важной роли болот в части смягчения последствий изменения климата, торфяные болота способны депонировать углерод, снижая таким образом содержание парниковых газов в атмосфере [1]. Способность болот регулировать климат всецело зависит от его гидрологического режима. Гидрологические процессы контролируют функции торфяников, так как сток воды, растворенных минералов и питательных веществ определяет растительные сообщества, а также динамику образования и разложения торфа. Растительность и торф, в свою очередь, влияют на водный режим через их влияние на поверхностный сток, грунтовые воды и испарение. Функциональные связи между водой,

растительностью, и торфом составляют эколого-гидрологическую систему обратной связи [2].

Для расчетов и прогнозов гидрометеорологических характеристик болот в настоящее время широко используются различные математические модели. Механизмы процесса формирования стока на болотах отличаются от других ландшафтов и требуют отдельного подхода при параметризации моделей. Под влиянием изменения климата и естественных эволюционных процессов на торфяных болотах гидрологический режим становится нестационарным, часто наблюдаются скачкообразные, ступенчатые изменения в рядах гидрометеорологических данных [3]. Такие нестационарности поставили новые задачи перед учеными гидрологами и имеют важные последствия для гидрологического моделирования.

Важной задачей представляется поиск точек изменения (точек перелома) в гидрометеорологических рядах, т.е. точек, в которых происходит смена состояния процесса. Достаточная длина временных рядов имеет решающее значение для оценки изменчивости гидрологического режима при меняющемся климате [4]. В данной работе были использованы данные гидрометеорологических наблюдений на болотном массиве Ламмин-Суо за семь десятилетий с 1950 по 2020 год, которые обеспечивают надежность в сравнении тенденций осадков, температуры и стока.

В этом исследовании мы изучаем не только особенности параметризации модели HBV при расчетах стока с болот, но и изменение значений параметров модели в условиях нестационарности гидрологического режима.

**Материалы и методы.** *Объект исследования.* Болотный массив Ламмин-Суо расположен в Ленинградской области, в 2,5 км к западу от поселка Ильичево. Болото Ламмин-Суо относится к олиготрофным болотам, наиболее распространенному типу болот северо-западной части России.

Непрерывные регулярные наблюдения на болотном массиве Ламмин-Суо ведутся с 1950 года и включают в себя наблюдения за всеми элементами водного баланса (температура воздуха, осадки, испарение с торфяной залежи, сток воды с болота через ручьи, уровни болотных вод). Расположение пунктов наблюдения на болотном массиве Ламмин-Суо представлено на рисунке 1.

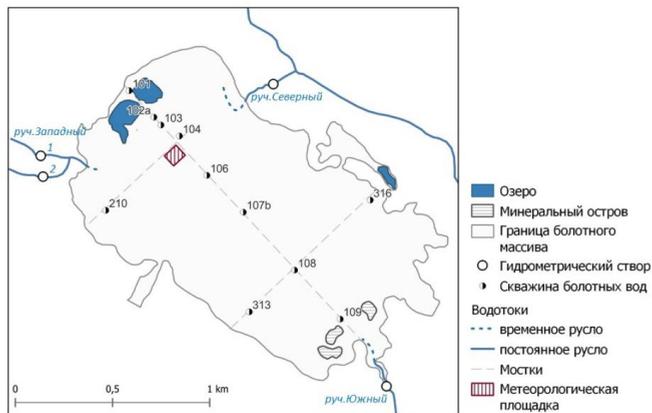


Рисунок 1 – Расположение пунктов наблюдения на болоте Ламмин-Суо

На болотном массиве Ламмин-Суо проводятся регулярные геоботанические обследования, которые показывают значительную динамику изменения растительности на болоте. Полученные результаты показали, что за период 1950-2019 гг. площади микрорландшафтов лесной и мохово-травяной группы увеличились, а площади мохово-лесной, моховой и комплексной группы сократились (рисунок 2).

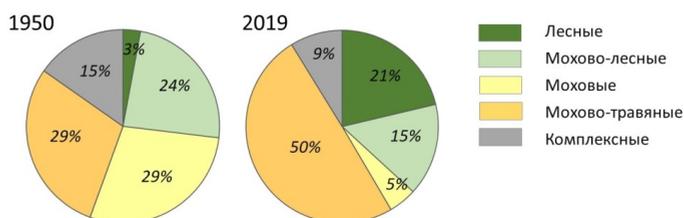


Рисунок 2 - Распределение площадей групп микроландшафтов в процентах, 1950 и 2019 год

**Проверка однородности.** Для анализа изменений гидрометеорологических условий на болотном массиве были использованы методы определения точек изменений: Тест Буйшанда [5], тест Петтитта [6] и стандартный тест нормальной однородности (SNHT) [7]. На уровне значимости 5% данные считаются однородными, если один или ни один из методов теста не отвергает нулевую гипотезу. Данные неоднородны, когда два или три тестовых метода отвергают нулевую гипотезу на уровне значимости 5%. Данные временных рядов считаются сомнительными и нуждаются в дальнейшей оценке, когда все три метода испытаний расходятся во мнениях по вопросу об изменении.

**Модель HBV: общие сведения.** Методической основой исследования является распространенная в мировой практике гидрологического моделирования водно-балансовая концептуальная модель с сосредоточенными параметрами HBV [8]. В настоящей работе использовалась версия программы HBV-light 4.0.0.16. Модель воспроизводит сток воды, используя в качестве входных данных слой осадков, температуру воздуха и испарение. Модель включает в себя блоки расчета снегонакопления и снеготаяния, изменения влажности почвы и эвапотранспирации, блок формирования и трансформации стока. Параметры модели определяются путем их калибровки, исходя из критерия качества модели, обеспечивающего как можно лучшее соответствие рассчитанных модельных ежедневных расходов воды в замыкающем створе бассейна наблюдаемым расходам.

**Результаты и обсуждение.** Для оценки однородности и поиска точек изменения были проанализированы среднегодовые значения температуры воздуха, осадков, стока ручьев, испарения, а также уровни болотных вод по 11 скважинам. Оценка однородности проводилась в два этапа. На первом этапе временной ряд анализировался целиком с 1950 года по 2020 год. Если на первом этапе была обнаружена точка изменения, то на втором дополнительном этапе временной ряд анализировался с года наступления перелома, определённого на первом этапе.

Тесты на однородность показывают, что большинство рядов были неоднородными, с резкими точками изменения примерно в 1980-х годах, что означает существование значительного изменения среднего значения до и после обнаруженной точки изменения. Испытания на однородность показывают, что температурный ряд среднегодовых значений на болотном массиве Ламмин-Суо неоднороден, на первом этапе была определена точка изменения в 1986 году, при повторном анализе температурного ряда на однородность была определена вторая точка перелома в 2005 году (рисунок 3).

Неоднородность определяется и в ряде годовых сумм осадков на болотном массиве Ламмин-Суо с точкой перелома в 1978 году (рисунок 3), при этом ряд сумм осадков за теплый период оказался однородным, а ряд зимних осадков показал точку перелома в 1973 г. Точка изменения в ряде суммы испарения с болотного массива была зафиксирована в 1975 г. Суммарный сток с болотного массива также оказался неоднородным с точками изменения в 1978 и 1990 гг. (рисунок 3), тем временем сток только двух болотных ручьев (Северного и Западного) неоднороден, а при анализе стока самого крупного болотного ручья (Южного) точек изменения не обнаружено.

Анализ на однородность среднегодовых уровней болотных вод на болотном массиве Ламмин-Суо, показал неоднородность рядов по 10 из 11 скважин, а при анализе уровней

болотных вод за вегетационный период неоднородность рядов была выявлена по 8 скважинам. Точки изменения по статистическим тестам были определены в 1978–1997 гг. Так же на ряде скважин, расположенных преимущественно на окрайках болота, была определена вторая точка изменения в 2002–2011 гг. (рисунок 3).

При моделировании стока параметры модели как правило задаются постоянными для всего периода расчета, поэтому в условиях меняющегося климата для получения адекватного результата моделирования важно выделять периоды стационарности для уточнения параметров модели.

Зафиксированные точки изменения в рядах гидрометеорологических характеристик болотного массива Ламмин-Суо позволяют выделить несколько периодов стационарности за период наблюдений. На основе анализа рядов осадков, стока и уровней болотных вод можно выделить первый период стационарности 1950–1978 гг. Второй и третий периоды стационарности в рядах гидрометеорологических характеристик выделить сложнее, точки изменения наблюдались по различным рядам в разные годы с 1993 по 2017 гг., но наиболее часто встречаемая точка изменения зафиксирована в 2005 году, таким образом второй период стационарности составил 1979–2005 гг., и третий период – 2006–2020 гг.

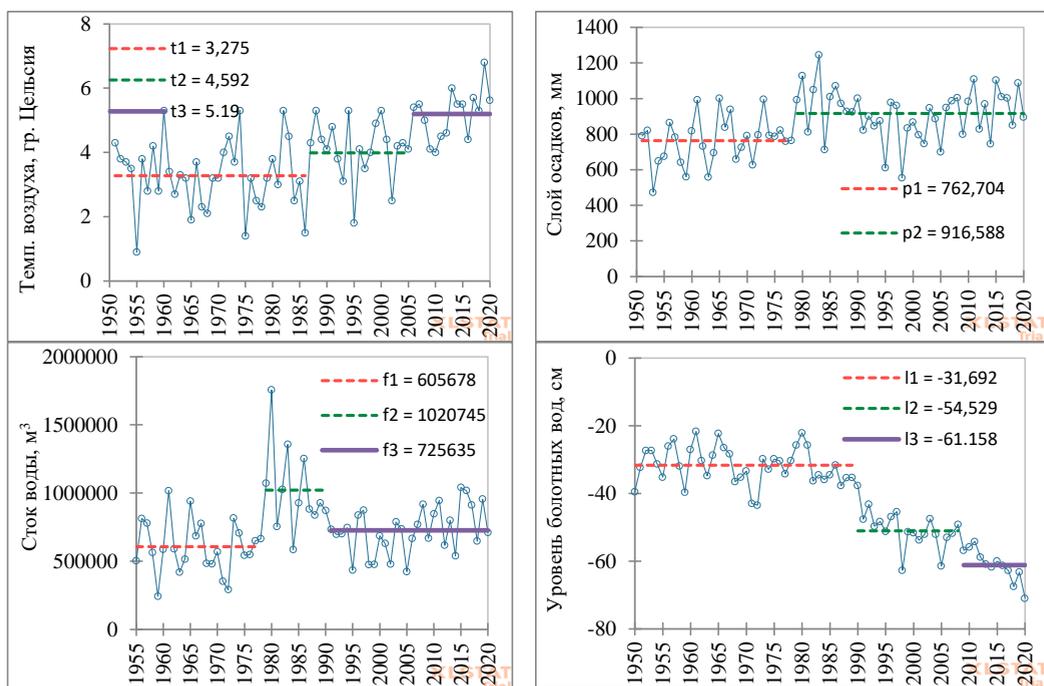


Рисунок 3 – Точки изменения временных рядов гидроклиматических характеристик на болотном массиве Ламмин-Суо

расчетного периода проводилась с помощью коэффициента Нэша-Саттклифа (NSE), а также коэффициента детерминации ( $R^2$ ) и критерия Клинга-Гупты (KGE) (таблица 1).

Расчет формирования стока по болотному ручью Южный болотного массива Ламмин-Суо был произведен с помощью модели HBV с подбором параметров модели по каждому выделенному периоду (рисунок 4). Оценка качества моделирования в пределах каждого

Таблица 1 – Коэффициенты эффективности для трех периодов моделирования стока с ручья Южного

Коэффициент эффективности	Период расчета		
	1950-1978 гг.	1979-2005 гг.	2006-2020 гг.
NSE	0.69	0.64	0.65
R <sup>2</sup>	0.69	0.65	0.67
KGE	0.74	0.73	0.72

Для анализа изменений гидрометеорологического режима на болотном водосборе было произведено сравнение значений параметров модели за 3 периода. При калибровке модели за каждый выделенный стационарный период некоторые значения параметров оставались неизменными. Так, в блоке модели, описывающем снегонакопление и снеготаяние, не изменились параметры: водоудерживающая способность снега (CWH) и коэффициент замерзания (CFR), а в блоке модели, посвященном подземному стоку и динамике влаги в почвенной колонке, неизменным остался параметр описывающий фильтрацию вод из деятельного слоя торфяной залежи в инертный горизонт (PERC). Основная особенность параметризации бассейна для расчетов стока с верховых болот, заключалась в задании нулевых коэффициентов фильтрации на границе деятельного и инертных горизонтов, что отражает процесс формирования стока на заболоченных территориях.

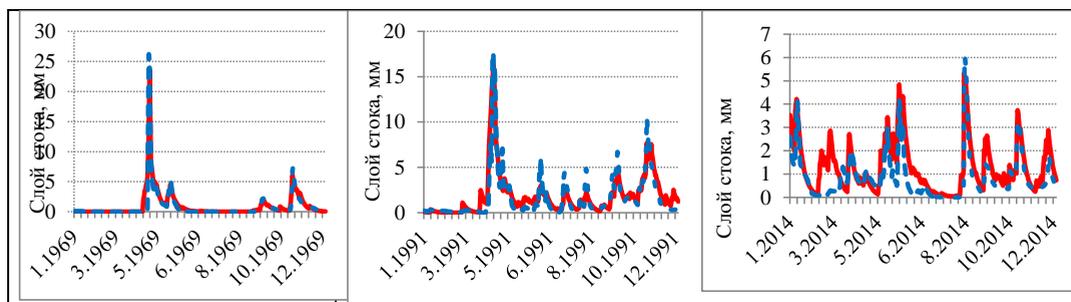


Рисунок 4 – Рассчитанные (красный) и наблюдаемые (синий) гидрографы стока ручья Южный по различным периодам моделирования (на примере 1969, 1991 и 2014 гг.)

Анализ значений параметров модели за два расчетных периода показал значимые изменения некоторых параметров: коэффициента стаивания (градус-день) (CFMAX), максимальной водоудерживающей способности (UZL), коэффициента истечения для периода максимального стока (K0). Так, по всем болотным водосборам уменьшился коэффициент стаивания. Вследствие увеличения степени облесенности болотного массива Ламиин-Суо в последние десятилетия отмечается уменьшение значений коэффициента стаивания в среднем с 3,6 до 2,15 на 1° положительной среднесуточной температуры воздуха. Изменение метеорологического режима, увеличение доли древесной растительности на болоте повлияло, в свою очередь и на значения максимальной водоудерживающей способности верхнего слоя торфяной залежи (увеличение с 173 мм до 210 мм), а также значения коэффициента истечения для периода максимального стока (уменьшение с 0,45 до 0,23 1/Δt).

Проведенные расчеты стока по модели показали изменчивость модельных параметров в зависимости от периода расчета. Значения параметров модели за последний стационарный период расчета (2006-2020 гг.) могут использоваться для прогнозирования стока с болотного массива при сохранении намеченных тенденций гидрометеорологических характеристик.

#### Список литературы

1. Залесов С.В. Роль болот в депонировании углерода // МНИЖ. 2021. №7-2 (109) С. 6-9.

2. Price, J., Evans, C., Evans, M., Allott, T., & Shuttleworth, E. Peatland restoration and hydrology // Peatland Restoration and Ecosystem Services: Science, Policy and Practice. 2016. P. 77-94.
3. Болгов М.В. Байесовская оценка точки нарушения однородности в последовательностях коррелированных случайных величин гидрометеорологических характеристик // Метеорология и гидрология. 2021. №10. С. 27-35.
4. Rottler, E.; Francke, T.; Bürger, G.; Bronstert, A. Long-term changes in central European river discharge for 1869–2016: Impact of changing snow covers, reservoir constructions and an intensified hydrological cycle // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2020. 24, P. 1721–1740.
5. Buishand T.A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records // Journal of Hydrology. 1982. Volume 58, Issues 1–2, P. 11-27.
6. Pettitt, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem // Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). 1979. 28(2). P. 126–135.
7. Alexandersson H. A homogeneity test applied to precipitation data // Journal of climatology. 1986. V. 6. P. 661-675.
8. Bergström S. The HBV model, Computer Models of Watershed Hydrology, edited by: Singh, VP. 1995.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ БОРЫ И ЯВЛЕНИЙ С НЕЙ СВЯЗАННЫХ**

Зверько П.В., Анискина О.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*olga.aniskina@mail.ru*

*Аннотация:* Рассмотрены результаты моделирование метеорологических процессов при развитии бороподобных ветров. Использовалась мезомасштабная гидродинамическая модель WRF-ARW. Произведён анализ полей метеорологических величин при ситуации бора в Новороссийске и южака в Певеке. Проведён анализ каждого случая отдельно и совместный анализ процессов при бороподобных ветрах в различных регионах.

*Ключевые слова.* Новороссийская бора, певекский южак, модель WRF-ARW

## **SIMULATION OF BORA AND PHENOMENA ASSOCIATED WITH IT**

Zverko P.V., Aniskina O.G.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

*Abstract:* The results of modeling meteorological processes during the development of bore-like winds are considered. The WRF-ARW mesoscale hydrodynamic model was used. An analysis of the fields of meteorological values was made during the bora situation in Novorossiysk and in the south in Pevek. An analysis of each case separately and a joint analysis of the processes under boron-like winds in different regions were carried out.

*Keywords.* Novorossiysk bora, Pevek yuzhak, WRF-ARW model

Бора – локальное явление, которое связано с общей циркуляцией атмосферы, но претерпевающее изменение под действием местной орографии. Поток воздуха при определенных синоптических условиях движется с холодного континента в сторону более теплого моря или другого крупного водоема. Встретив на пути препятствие в виде невысокого горного хребта, поток вынужден измениться. А именно – поток сначала тормозится у подножья горы с наветренной стороны, а затем, переваливая через хребет, с огромной скоростью обрушивается с подветренной стороны. И если с подветренной стороны хребта располагается какой-либо населенный пункт, бора способна нанести ему большой экономический ущерб: оборванные линии электропередач, поваленные деревья, сорванные рекламные щиты, сорванные с якорей корабли, выброшенные на берег морские лодки,

завалены большие грузовые машины, в конце концов, люди, находившиеся во время бора на улице, могут получить серьезные травмы. Поэтому заблаговременный и с хорошей оправдываемостью прогноз очень важен для регионов, где это явление наблюдается – именно в таких местах как: Новороссийск, Певек, побережье Адриатического моря, побережье Байкала, город Баку, побережье Франции [1, 3, 4].

Объектом исследования этой работы является бора в городе Новороссийск и южак в Певеке. Само исследование, как было сказано выше, проводилось с помощью гидродинамической модели WRF-ARW версии 4.3.6 [2]. Прогноз для всех случаев составлялся на 24 часа. При моделировании использовались три вложенные сетки, с пространственным разрешением 9, 3 и 1 км. Конфигурация вложенных сеток при моделировании новороссийской бора представлено на рисунке 1.

По вертикали использовалась учитывающая рельеф  $\eta$  координата с 35 уровнями (верхняя граница на уровне 50 гПа) для всех сеток. Шаг интегрирования по времени 60 секунд на крупной сетке, 20 секунд на средней сетке, 6,7 секунд для мелкой сетки. Во всех экспериментах использовалась полярная стереографическая проекция. Начальные и граничные условия получены из глобальной модели GFS с пространственным разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$ , которые обновлялись каждые 3 часа. Используемые параметризации представлены в таблице 1.

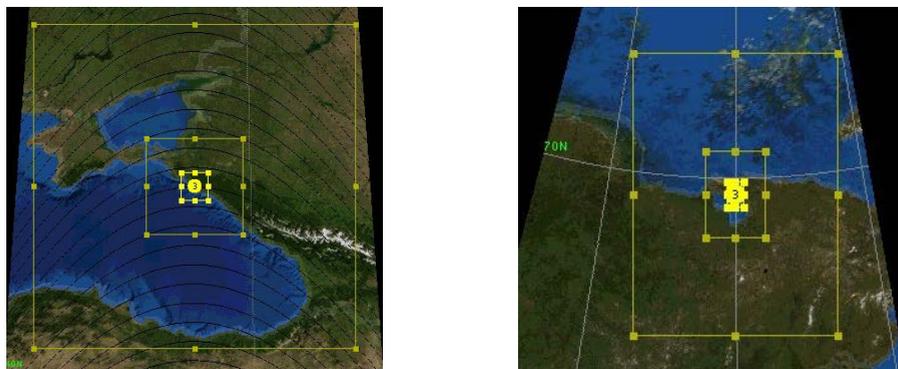


Рисунок 1 – Области моделирования а) – Новороссийская бора, б) – Певекский южак

Исследовались 5 случаев сильной бора в Новороссийске и 5 случаев сильного южака в Певеке

Таблица 1 – Используемые параметризации при моделировании

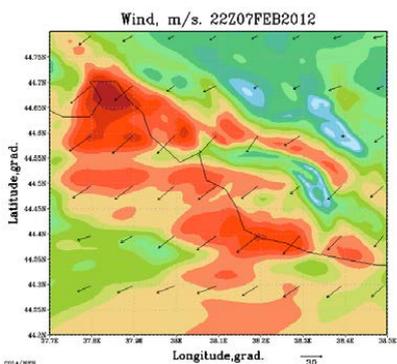
Параметризации					
Микрофизика	Длинноволновая радиация	Коротковолновая радиация	Приземный слой	Планетарно-пограничный слой	Конвекция
Single-Moment (WSM) 3	RRTW - Rapid Radiative Transfer Model	Dudhia	MM5 - теория подобия Монина-Обухова	Yonsei University Scheme (YSU)	Kain-Fritsch

Для всех рассмотренных случаев были проанализированы поля скорости ветра и температуры воздуха для всех 3 сеток, вертикальные разрезы для указанных метеорологических величин и вертикальной компоненты скорости ветра. Анализировались

модельные поля с дискретностью 1 час. Пример полей, участвовавших в анализе представлен на рисунке 2.

Анализируя поле ветра в момент кульминации боры можно отметить, что наибольшие скорости наблюдаются на береговой линии на участке, примерно, от Анапы до Туапсе. Однако максимальные скорости отмечаются именно в Цемесской бухте, на берегу которой расположен город Новороссийск. Модель верно описывает усиление ветра в восточной части Цемесской бухты и его уменьшение в западной части Новороссийска и в Геленджике, что возможно связано с увеличением высоты Маркотхского хребта и увеличением блокирования потока, что характерно для боры в этом регионе. Скорость ветра в момент кульминации боры на мелкой сетке достигает 40 м/с. На полях, представленных рисунке 2, отлично видно, что это локальное усиление, то есть модель верно описывает горизонтальные размеры явления. По мере удаления от берега в море скорость ветра быстро уменьшается, что также характерно для боры.

а)



б)

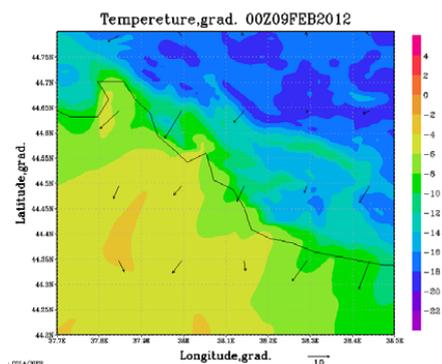
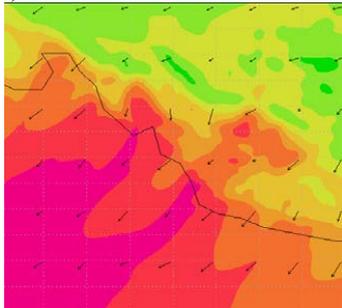


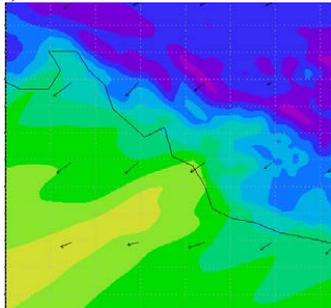
Рисунок 2 – Поле ветра (а) и температуры (б) в момент кульминации боры на мелкой сетке

Ход модельной температуры при боре вполне естественен, причем он обратно повторяет ход скорости ветра. В момент зарождения боры начинает возрастать скорость ветра и в этот же момент начинает падать температура воздуха, в момент кульминации боры, во время максимальной скорости ветра в бухте отмечается и минимальная температура. По мере затухания бора температура в бухте начинает повышаться. Такая корреляционная связь скорости ветра и температуры воздуха характерна для мезомасштабного явления - бора.

а)



б)



в)

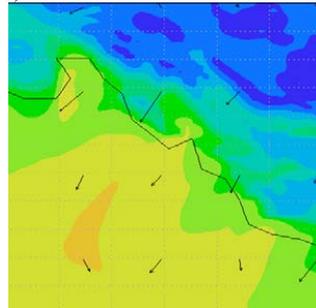


Рисунок 3 – Поля температуры воздуха в разные моменты времени а – в момент зарождения боры, б – в момент кульминации боры, в – в период завершения боры

Модель неплохо воспроизводит поле температуры в данном районе. На всех

полученных полях температура над водной поверхностью в холодное время года остается выше температуры над земной поверхностью. А также отлично видно, что с севера, северо-востока надвигается более холодная воздушная масса. При приближении к хребту, с наветренной стороны происходит блокирование потока и его выхолаживание, модель это хорошо воспроизводит, на наветренной стороне наблюдаются локальные минимумы температуры.

В заключение можно сделать несколько важных выводов о боре в Новороссийске, полученных с помощью моделирования. В ходе работы для всех случаев боры было выявлено:

- максимальные скорости ветра отмечаются именно в Цемесской бухте;
- под воздействием боры ветер имеет только северо-восточное направление;
- модель верно воспроизводит горизонтальный масштаб боры - 100-150 км;
- модель верно воспроизводит вертикальный масштаб явления 1-2 км, что видно на профилях скорости ветрах, выше указанной высоты метеорологические величины приобретают свой нормальный ход;
- в большинстве случаев на вертикальном профиле скорости ветра можно заметить наличие критического уровня на высоте, примерно, 650 гПа;
- скорость ветра усиливается на подветренной стороне хребта;
- на наветренной стороне хребта отмечается блокирование потока, что видно как на профилях скорости ветра, так и на рисунках на которых представлено поле скорости ветра;
- у подножья наветренной стороны хребта происходит выхолаживание заблокированного потока, что видно на профилях температуры воздуха;
- во время боры над подветренной частью хребта отмечается температурная инверсия, что также представлено на вертикальных разрезах температуры воздуха;
- наличие сильных нисходящих потоков воздуха на подветренной стороне и восходящих на наветренной – представлено на вертикальных разрезах вертикальной компоненты скорости ветра;
- в момент кульминации боры, в максимальные порывы скорости ветра в Новороссийске происходит сильное падение температуры воздуха.

Аналогично анализируя результаты моделирования Певекского южака можно отметить следующие характерные черты:

- основной поток всегда имеет юго-восточное направление;
- горизонтальный масштаб явления около 20 км;
- вертикальный масштаб 1-2 км;
- блокирование потока на наветренной стороне хребта;
- выхолаживание потока в зоне блокирования;
- возможно обтекание хребта с правого фланга;
- усиление ветра на подветренной стороне;
- критический уровень отсутствует или располагается довольно высоко – 300

гПа;

- на подветренных склонах ярко выражен нисходящий поток, на наветренных – восходящий;
- слабовыраженная температурная инверсия над подветренной стороной хребта;
- повышение температуры воздуха в городе Певек.

Для того чтобы ещё лучше понять бороподобные ветры, выделить особые, отличительные черты новороссийской боры было произведено сравнение боры и южака.

Сравнивая поля скорости ветра в момент кульминации можно отметить, что и при боре и при южаке максимальные скорости ветра наблюдаются на береговой линии при выходе потока на водную поверхность. По мере удаления от берега скорость ветра уменьшается. На наветренных сторонах Маркотхского и Певекского хребта можно заметить

области блокирования потока. Также можно отметить, горизонтальные масштабы явления. Так как протяженность Маркотхского хребта в Новороссийске (50 км) больше, чем протяженность Певекского (20 км), то и линейные размеры боры значительно больше, чем у южака. Направление ветра при боре всегда северо-восточное, при южаке юго-восточное.

При действии боры в Новороссийске температура в Цемесской бухте и в городе Новороссийске значительно падает, может упасть на 10-15°С за несколько часов, а вот в Певеке наоборот, температура воздуха значительно увеличивается, и также может увеличиться на 10-15° за несколько часов. Это связано с адвекцией холодного континентального воздуха при боре и адвекцией теплой воздушной массой при южаке.

Сравнивая вертикальные разрезы скорости ветра, можно сказать, что блокирование потока у подножья на наветренной стороне хребта наблюдается, как при боре, так и при южаке. Также можно сказать, что вертикальные размеры боры и южака в среднем одинаковые, все сильные возмущения, усиления ветра происходят в слое от поверхности земли до уровня 850 гПа (1,5 км). Максимальные скорости ветра при боре в Новороссийске отмечаются непосредственно у подножья подветренного склона, при южаке усиление происходит несколько дальше от подножья. Также разная у этих ветров и высота критического уровня – уровня обращения ветра с высотой. Для боры она составляет 600 гПа, для южака 300 гПа, однако было обнаружено, что критический уровень может и вовсе отсутствовать, как при боре, так и при южаке, но отсутствие этого уровня больше характерно для певекского южака.

Сильные отличия были выявлены при анализе профиля температуры воздуха. Во время кульминации боры почти всегда над подветренной стороной хребта наблюдается мощная и интенсивная инверсия температуры, в то время как при максимальных порывах при южаке, инверсия слабо выражена.

Профили вертикальной компоненты скорости ветра очень похожи при случаях боры и южака. На наветренных сторонах хребта всегда присутствует восходящий поток, на подветренных нисходящий поток. Это соответствует сильным положительным и отрицательным значениям этого параметра.

Сравнивая различные метеорологические параметры, полученные с помощью модели WRF-ARW для случаев боры в Новороссийске и южака в Певеке были обнаружены как схожие черты, так и отличные. Однако на основании общих сходств и боры в Новороссийске и южак в Певеке можно сказать, они оба относятся к бороподобным ветрам и к такому типу явлений как подветренные бури.

### Список литературы

1. Борзенкова А., Бычкова В., Корнева И. Экспедиционные исследования новороссийской боры 2008-9 с.
2. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM Гидрометцентр России 2010 – 42 с.
3. Гутман Л.Н., Франкль Ф.И. Гидродинамическая модель боры//ДАН СССР, 1960, Т.30, № 5.
4. Зимич П. И. Певекский южак / под ред. А.А.Дмитриева, Л.: Гидрометеиздат, 1991, 120 с.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ПО РЕАНАЛИЗУ MERRA-2

Моктар Мохамед

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*moctar.md@mail.ru*

*Аннотация.* Представлены результаты исследования возможности восстановления дальности видимости как функции концентрации пыли. Для решения этой задачи рассматривается регион

Сахары, поскольку он является важным источником пыли. В исследовании применялись ряды данных за 2022 год со 111 наземных станций, распределённых по Сахаре и по её окрестностям.

*Ключевые слова.* Дальность видимости, реанализ, MERRA, восстановление данных.

## RESTORING VISIBILITY BY MERRA-2 REANALYSIS

Moctar Mohamed

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

*Abstract.* In this article is explored the possibility of restoring the visibility as a function of dust concentration. The Sahara region was chosen for this aim, because it is an important source of dust. In this study, data series from 111 ground stations distributed over the Sahara and its environs covering 2022 were used.

*Keywords.* Visibility, reanalysis, MERRA, data restoring.

В исследовании использованы данные о дальности видимости с наземных станций из сводок METAR [1]. Из рядов данных были исключены все случаи ухудшения дальности видимости, связанные с туманом, дымкой, дождём и дымом, для ликвидации любых влияний на видимость, кроме связанных с пыльными явлениями. В результате из 853012 данных об ухудшении видимости было оставлено 827254 случаев.

Область исследования – западная часть Африки, включая регион Сахары (рис. 1). На рисунке 1, также представлено расположение станций, данные которых использованы в исследовании. Закрашенная область на рисунке 1 соответствует Сахаре.

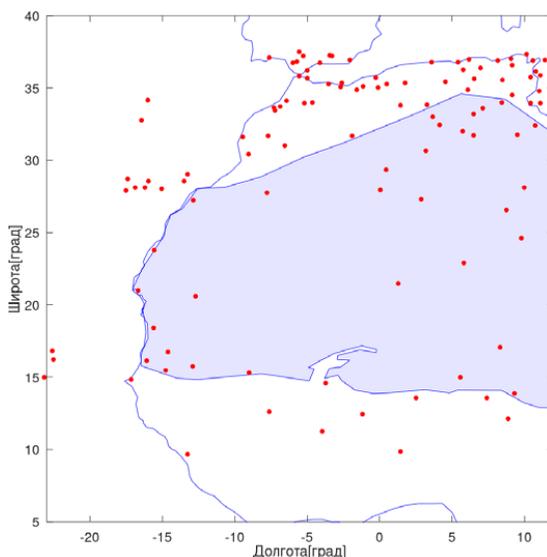


Рисунок 5 — Регион исследования

Для получения однородного поля была проведена интерполяция дальности видимости методом оптимальной интерполяции. Поскольку, в исследуемой области существует «мёртвая зона», в которой полностью отсутствуют наблюдения, то в результате интерполяции в центре рассматриваемого региона был получен ложный минимум, который необходимо ликвидировать. Пример поля с таким минимумом представлен на рисунке 2.

Данных о дальности видимости мало, но так как исследуется влияние пыли на видимость, то было принято решение использовать данные о концентрации пыли у поверхности земли из реанализа MERRA-2 [2]. И была поставлена цель – получить

аналитическую функцию, которая позволила бы наиболее точно восстанавливать дальность видимости по известной концентрации пыли.

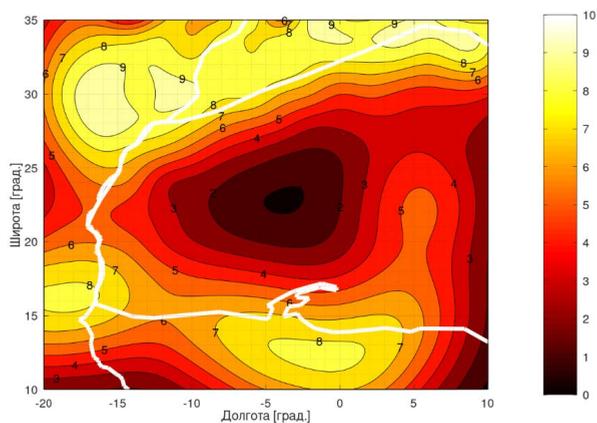


Рисунок 6 — Дальность видимости (км), 01 Января 2022 00:00 с минимумом в центре области

Совместный анализ данных реанализа MERRA-2 и данных наблюдений показал адекватность этих данных в регионах присутствия тех и других данных, что позволяет надеяться на успешное применение данных о концентрации пыли для восстановления дальности видимости. Проведённый корреляционный анализ данных показал наличие отрицательной корреляции между рядами данных концентрации пыли и дальностью видимости на всех станциях. Значимые коэффициенты корреляции имеют ряды наблюдений на 108 станциях из 111.

Среди всех станций, данные на которых имеют значимый коэффициент корреляции, были выделены те, у которых коэффициент корреляции по модулю, больше 0,5 – таких станций 30, и они покрывают всю территорию исследований (рис. 3). Следовательно, результаты, которые будут получены с их помощью, должны быть репрезентативными для всей области.

Данные на выбранных станциях использовались для аппроксимации дальности видимости как функции концентрации с использованием многочленов разного порядка и кубических сплайнов различной дискретизацией (таблица 1).

В итоге был выбран для аппроксимации, следующий многочлен четвёртой степени, который наиболее точно аппроксимирует ряд наблюдений

$$d = 0,01c^4 - 0,25c^3 + 1,96c^2 - 5,88c + 10,02 \quad (1)$$

где

$d$  — дальность видимости в км,  
 $c$  — концентрация пыли в  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

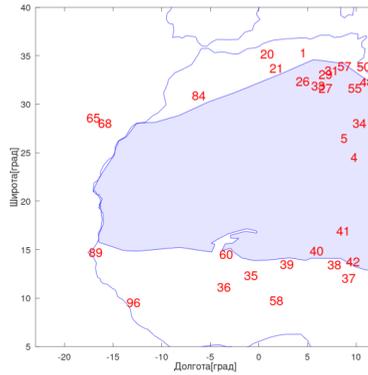


Рисунок 3 — Станции, в данных которых коэффициент корреляции значимый и по модулю, больше 0,5

Таблица 1 — Средние модули ошибок аппроксимации многочленами и сплайнами

аппроксимация многочленами		Аппроксимация сплайнами	
Степень	Ошибка	Шаг, мг/м <sup>3</sup>	Ошибка
0	1.560808	3.000	1.164589
1	1.244256	2.000	1.164629
2	1.179508	1.000	1.166758
3	1.164953	0.500	1.166528
4	1.164812	0.250	1.166529
5	1.165491	0.150	1.166552
6	1.166661	0.050	1.165261
7	1.166933	0.025	1.164464
8	1.166842	0.010	1.162486

После получение аналитической зависимости, было выполнено восстановление 9-ти узлов, находящихся в центре области и снова произведена интерполяция. В результате ложный минимум был успешно ликвидирован. Пример представлен на рисунке 4. В дальнейшие планы входит, исследование географических особенностей полученных полей дальности видимости, связанных с образованием пыли и физические факторы, которые влияют на её образование.

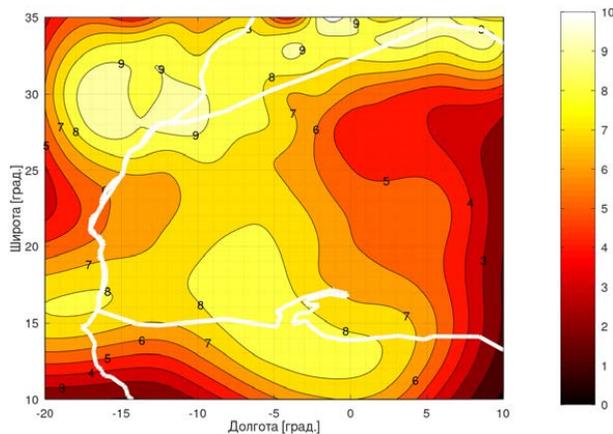


Рисунок 4 — Дальность видимости в Км, 01 Янв. 2022 00:00 без минимума в центре

## Список литературы

1. Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) (2015), MERRA-2 tavg1\|-2d\|-adg\|Nx: 2d, 1-Hourly, Time-averaged, Single-Level, Assimilation, Aerosol Diagnostics (extended) V5.12.4, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [28.02.2022]
2. Aaltronav s.r.o., 2023. Navlost METAR/TAF Archive. [Online]. [Accessed 2023-02-10]. Available from: <https://www.navlost.eu/metar/request>

## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ПРОФИЛЯ ВЕТРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Ромашенко Д.Д.<sup>1</sup>, Булгаков К.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

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

*romashenkodan@yandex.ru*

*Аннотация.* Обосновывается необходимость учета волнового спектра при использовании моделей атмосферной циркуляции над крупными акваториями. Приводятся результаты экспериментов модели волнового пограничного слоя атмосферы, которая использовала данные волнового спектра полученного с помощью системы прогноза ветровых волн.

*Ключевые слова.* Волновой пограничный слой, обратный возраст волны, турбулентный обмен, волновой поток импульса.

## REPRODUCTION OF THE WIND PROFILE BASED ON THE RESULTS OF THE WIND WAVE FORECAST MODEL

Romashchenko D.D.<sup>1</sup>, Bulgakov K.Yu.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*Annotation.* The necessity of taking into account the wave spectrum when using atmospheric circulation models over large water areas is substantiated. The results of experiments of the wave boundary layer model which used the wave spectrum evaluated by the wind wave prediction system, are presented.

*Keywords.* Wave boundary layer, reverse wave age, turbulent exchange, pulse wave flow.

Влияние волн на турбулентный обмен в волновом слое в современных моделях циркуляции атмосферы параметризуется путем изменения шероховатости поверхности в зависимости от динамического воздействия атмосферы. Большинство атмосферных моделей используют для расчёта данного параметра формулу Чарнока.

$$z_0 = a \frac{v_*^2}{g} \quad (1)$$

где  $z_0$  – параметр шероховатости,  $v_*$  – скорость трения,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $a$  – подгоночный коэффициент.

Такой подход имеет ряд недостатков. Прежде всего есть неопределённость значения константы  $a$ . Другой недостаток невозможность в рамках такого подхода учесть степень развития волн, а также их преимущественного направления которое не всегда совпадает с направлением ветра. Оба вышеуказанных параметра оказывают значимое влияние на формирование волнового потока импульса, и тем самым на структуру приволнового слоя атмосферы.

Информация о вышеуказанных параметрах имеется в полях волнового спектра, которые рассчитываются моделями прогноза ветровых волн и могут быть использованы при

воспроизведение атмосферной циркуляции

Одним из способов учета волнового спектра в атмосферных моделях является использование одномерных модель волнового пограничного слоя [1, 2], её отличие от модели приземного слоя атмосферы заключается в введении в уравнение движения волнового потока импульса.

Данная модель непосредственно учитывает воздействие волн, заданных произвольным двумерным волновым спектром, формирующим волновой поток импульса.

Были проведены эксперименты с моделью [1], в качестве входных данных использовались поля скорости ветра и волнового спектра, которые были получены в результате работы системы прогноза ветровых волн, состоящей из моделей WRF [3] и WAVEWATCH III [4], которая была адаптирована для региона Балтийского моря [5].

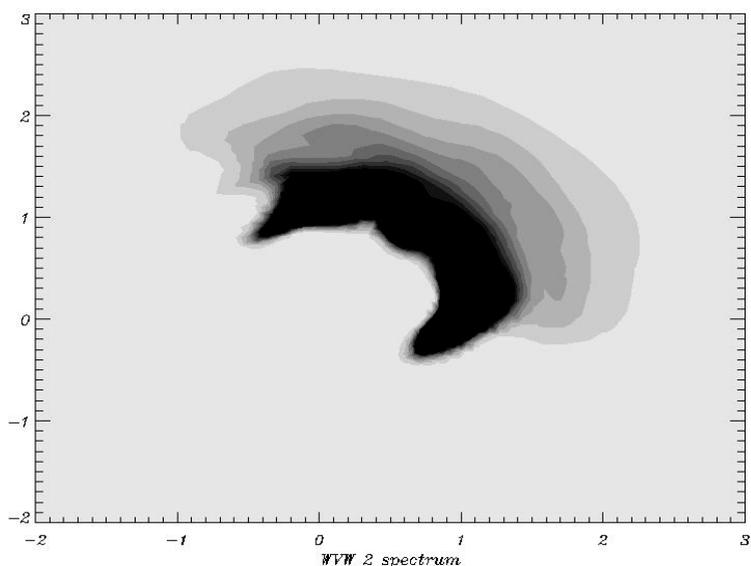


Рисунок 1 – Визуализированный пример волнового спектра (значение осей исчисляется в  $m^2/c^2$ )

В результате были получены профили скорости ветра, а также профили турбулентного и волнового потоков импульса. При учете волнового потока импульса, скорость ветра у водной поверхности, в отличие от логарифмического профиля ветра, больше. С увеличением высоты скорость ветра плавно возвращается к логарифмическому профилю ветра.

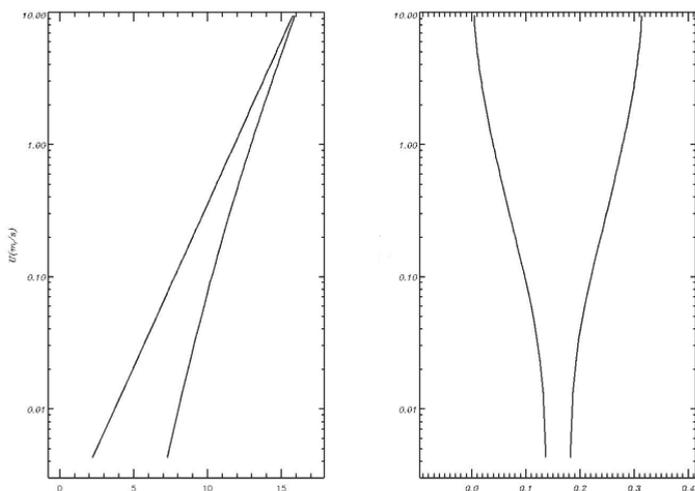


Рисунок 2 – Пример профилей скорости (слева) и потоков импульса (справа)

Результаты исследований выполнены в рамках гос. задания (№ FMWE-2021-0014).

### Список литературы

1. *Chalikov D., Rainchik S.* Coupled numerical modelling of wind and waves and the theory of the wave boundary layer //Boundary-layer meteorology № 1(138). 2010. P. 1–41. doi:10.1007/s10546-010-9543-7.
2. *Chalikov D.V., Bulgakov K.Yu.* The structure of surface layer above sea //Fundamental and applied hydrophysics № 2(12). 2019. P. 50–65. doi: 10.7868/S2073667319020072.
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 High Performance Computing In Meteorology, 25—29 October 2004, Reading U.K. Ed. George Mozdzynski.
4. *Tolman H.L.* User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. Technical Report. NOAA/NWS/NCEP/MMAB. May 2009.
5. *Булгаков К.Ю., Стригунова Я.В.* Схема расчета притока энергии от ветра к волнам для моделей прогноза ветровых волн //Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10, № 2. С. 1—5.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ВЛАГОЗАПАСА НА РЕЧНОМ ВОДОСБОРЕ

Фролов А.В., Соломонова И.В.

Институт водных проблем РАН, Москва  
*anatolyfrolov@yandex.ru*

**Аннотация.** Представлены результаты разработки динамико-стохастической модели многолетних колебаний эффективных влагозапасов на речных водосборах. На основе этой модели получены аналитические зависимости между основными статистическими характеристиками влагозапаса и другими составляющими водного баланса водосбора. На примере водосбора р.Мезень показана модельная оценка реакции влагозапаса на изменение режима многолетних колебаний водного баланса водосбора. В рамках разработанной модели, многолетние колебания влагозапаса на водосборе моделируются как компонента трехкомпонентного векторного марковского процесса.

*Ключевые слова.* Влагозапас, многолетние колебания, водосбор, водный баланс, динамико-стохастическое моделирование.

## MODELING OF CATCHMENT WATER STORAGE LONG-TERM FLUCTUATIONS

Frolov A.V., Solomonova I.V.

Water Problems Institute Russian Academy of Sciences, Moscow

*Annotation.* The dynamic-stochastic model of catchment water storage long-term fluctuations is presented. On the basis of this model, analytical dependences between the main statistical characteristics of the catchment water storage and other components of the catchment water balance were obtained. Model assessment of the Mezen River catchment water storage response to change in the water balance regime is shown. Within the framework of the model developed the catchment water storage long-term fluctuations are modeled as a component of a three-component vector Markov process.

*Keywords.* Water storage, long-term fluctuations, catchment, water balance, dynamic-stochastic model.

**Введение.** Актуальность исследований многолетних колебаний влагозапасов на речных водосборах обусловлена двумя аспектами – теоретико-познавательным, имеющим целью развитие представлений о функционировании водосбора как целостной гидрологической системы, и прикладным, поскольку увлажнение территории влияет на различные стороны деятельности человека. Например, увеличение влагозапаса может сопровождаться увеличением площади заболоченных земель и подтоплением населенных пунктов, уменьшение – понижением уровня грунтовых вод, аридизацией территории, неблагоприятно влияющей на сельское хозяйство (см., например, [1, 2]). В более широком контексте, изменение влагозапасов на речных водосборах представляет собой частный случай перераспределения запасов воды в природных резервуарах – морях, океанах, ледниках – вследствие глобального гидрологического цикла [3]. Влагозапас приурочен к «тонкой оболочке» – относительно поверхностному слою суши, участвующего в формировании речного стока [4].

Внимание к исследованию увлажненности водосборов получило сильный стимул с развитием дистанционных (спутниковых) методов. Относительно недавно появились работы ([5–9] и др.), посвященные оценкам изменения влагозапасов на речных водосборах на основе применения космических технологий типа GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment). Данные GRACE позволяют выявить основные факторы изменения влагозапасов крупных речных бассейнов в глобальном и континентальном масштабе [10]. Оценки изменения влагозапаса в бассейнах крупных рек, полученные в экспериментах GRACE, удовлетворительно согласуются с данными наземных регулярных гидрологических наблюдений. Подчеркнем, что метод GRACE позволяет получить только оценки *изменений* влагозапаса за некоторое время, но не оценки *величины влагозапаса* и других его статистических характеристик.

Целью нашего исследования была разработка стохастической модели многолетних колебаний эффективных влагозапасов на речных водосборах. На основе этой модели получены аналитические зависимости между основными статистическими характеристиками влагозапаса и другими составляющими водного баланса водосбора. На примере водосбора р.Мезень показана модельная оценка реакции влагозапаса на изменения режима многолетних колебаний водного баланса водосбора. Для достижения поставленной цели возможны различные подходы (см., например, [11]). При нашем подходе используется система разностных стохастических уравнений, моделирующих многолетние колебания основных составляющих водного баланса речного водосбора. Эта система представляет собой следствие модели многолетних колебаний речного стока с водосбора [12, 13].

Зависимость речного стока от влагозапаса позволяет использовать уравнение водного баланса водосбора для построения динамико-стохастической (ДС) модели многолетних изменений эффективного влагозапаса. Принимается, что такая модель работает в

квазистационарном приближении, т.е. для достаточно длительного интервала времени. Все компоненты водного баланса водосбора рассматриваются как стационарные процессы. Предполагается, что между компонентами водного баланса водосбора существуют связи, функциональная – между стоком с водосбора и влагозапасом, и стохастические – между всеми компонентами баланса – влагозапасом, стоком, осадками и испарением.

Основные уравнения и соотношения. Уравнение, описывающее изменения влагозапаса на водосборе, в общем случае имеет вид

$$w_t = w_{t-1} + p_t - e_t - Q_t(w_t), \quad (1)$$

где  $w_t$  – эффективный влагозапас, т.е. влагозапас, участвующий в формировании речного стока,  $p_t$  и  $e_t$  – осадки и испарение на водосборе,  $Q_t$  – речной сток с водосбора как функция эффективного влагозапаса  $w_t$ ,  $t$  – время (годы). Для замыкания уравнения (1) необходима зависимость  $Q_t(w_t)$ , являющаяся «фундаментальным свойством водосбора. Понимание того, что контролирует эту зависимость, лежит в основе науки о водосборном бассейне» [15].

Все величины в уравнении (1) отнесены к площади водосбора, поэтому имеют размерность слоя. Уравнение (1) используется как концептуальная модель водосбора ([12, 16–22] и др.).

В предположении, что сток  $Q_t$  с водосбора прямо пропорционален величине  $w_t$ , т.е.

$$Q_t = \alpha w_t, \quad (2)$$

для стационарного режима колебаний водного баланса водосбора получаем зависимость между математическими ожиданиями влагозапаса  $\langle w_t \rangle$  и стока  $\langle Q_t \rangle$  с водосбора,

$$\langle w_t \rangle = \alpha^{-1} \langle Q_t \rangle. \quad (3)$$

Таким образом, если коэффициент  $\alpha$  известен, то нахождение математического ожидания влагозапаса  $\langle w_t \rangle$  тривиально. Однако, величина  $\alpha$  изначально неизвестна, ее следует найти, что представляет уже нетривиальную задачу.

С учетом (2), уравнение (1) принимает вид

$$w_t = \beta(w_{t-1} + p_t - e_t) \quad (4)$$

где  $\beta = (1 + \alpha)^{-1}$ ,  $t$  – время (годы).

В качестве моделей процессов многолетних колебаний осадков  $p_t(t)$  и испарения  $e_t(t)$  используем марковские последовательности, в общем случае, негауссовы, первого порядка, AP(1),

$$p_t = \rho_p p_{t-1} + n_{p,t} \quad (5)$$

и

$$e_t = \rho_e e_{t-1} + n_{e,t}, \quad (6)$$

где  $\rho_p$  и  $\rho_e$  – коэффициенты автокорреляции осадков и испарения,  $n_{p,t}$  и  $n_{e,t}$  – белые шумы, причем процессы  $p_t$  и  $e_t$  взаимно коррелированы с коэффициентом  $r_{pe}$ . Без уменьшения общности, считается, что все процессы, входящие в уравнения (1)–(6) центрированы, т.е. имеют нулевые математические ожидания.

Решение системы стохастических разностных уравнений (4)–(7) позволяет получить аналитические зависимости между стохастическими характеристиками входных – осадков и испарения по водосбору – и выходных процессов – стока и влагозапаса. С точностью до числовых коэффициентов в уравнении водного баланса, система (4)–(7) совпадает с ДС-моделью многолетних колебаний речного стока с водосбора [12, 18] и поэтому описывает колебания влагозапаса на водосборе как компоненту трехкомпонентного векторного марковского процесса. Упрощенная модель водосбора, предложенная в [17] ранее

применялась для оценки возможных изменений запасов грунтовых вод в бассейне Волги в исследовании В.С.Ковалевского с соавторами [2].

Ковариационная функция влагозапаса  $R_w(\tau)$  дается выражением

$$R_w(\tau) = \frac{\beta^2}{1-\beta^2} \left\{ \frac{\sigma_p^2 [(1-\beta^2)\rho_p^{|\tau|+1} - (1-\rho_p^2)\beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_p - \beta)(1-\rho_p\beta)} + \frac{\sigma_e^2 [(1-\beta^2)\rho_e^{|\tau|+1} - (1-\rho_e^2)\beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_e - \beta)(1-\rho_e\beta)} - r_{pe}\sigma_p\sigma_e \left[ \frac{[(1-\beta^2)\rho_p^{|\tau|+1} - (1-\rho_p^2)\beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_p - \beta)(1-\rho_p\beta)} + \frac{[(1-\beta^2)\rho_e^{|\tau|+1} - (1-\rho_e^2)\beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_e - \beta)(1-\rho_e\beta)} \right] \right\} \quad (8)$$

Полагая  $\tau = 0$ , из (8) получаем формулу для безусловной (т.е. не зависящей от времени) дисперсии стока,  $\sigma_w^2$

$$\sigma_w^2 = \frac{\beta^2}{1-\beta^2} \left\{ \frac{\sigma_p^2(1+\beta\rho_p)}{(1-\beta\rho_p)} + \frac{\sigma_e^2(1+\beta\rho_e)}{(1-\beta\rho_e)} - r_{pe}\sigma_p\sigma_e \left[ \frac{1+\beta\rho_p}{(1-\rho_p^2)(1-\beta\rho_p)} + \frac{1+\beta\rho_e}{(1-\rho_e^2)(1-\beta\rho_e)} \right] \right\} \quad (9)$$

Коэффициент автокорреляции речного стока равен

$$r_w = R_Q(1)/\sigma_w^2, \quad (10)$$

где  $R_w(1)$  – значение  $R_w(\tau)$  при  $\tau = 1$ ,  $\sigma_w^2$  дается формулой (9). В силу зависимости (2), коэффициенты автокорреляции влагозапаса и стока с водосбора совпадают. Подтверждением допустимости этого равенства служит вывод В.С. Ковалевского: «Проведенный нами автокорреляционный анализ массового материала по наиболее длинным рядам наблюдений за естественным режимом подземных вод и подземным стоком по СССР и частично по США показал, что средний коэффициент автокорреляции  $R_{\tau=1}$  для подземного стока составляет всего 0,25...» ([1], стр.142), что равно средней величине этого коэффициента по речному стоку рек СССР [23].

Коэффициенты взаимной корреляции между стоком с водосбора и осадками, и между стоком и испарением определяются выражениями (при  $\tau = 0$ ), соответственно,

$$r_{wp} = \alpha\beta(\sigma_p^2 - r_{pe}\sigma_p\sigma_e)/\sigma_w\sigma_p \quad (11)$$

$$r_{we} = \alpha\beta(-\sigma_e^2 + r_{pe}\sigma_p\sigma_e)/\sigma_w\sigma_e. \quad (12)$$

Уравнения (9)–(11) образуют систему уравнений, связывающих статистические характеристики входных и выходных процессов моделируемой гидрологической системы — речного водосбора. В уравнения (9)–(11) входит коэффициент взаимной корреляции между испарением и осадкам  $r_{pe}$ . Взаимная корреляция между компонентами водного баланса водосбора, в целом, отражает физико-географические условия формирования речного стока. В частности, высокая корреляция между испарением и осадками характерна для водосборов, расположенных в аридной зоне, для водосборов же гумидной зоны эта корреляция мала [24]. Величина  $r_{pe}$  берется с учетом физико-географических условий расположения речного водосбора.

Решение системы аналитических уравнений (9)–(11), при условии, что статистические характеристики речного стока считаются известными, по существу, представляет собой решение обратной задачи. Действительно, коэффициент  $\alpha$  и статистические характеристики *входного* процесса – дисперсию  $\sigma_e^2$  и коэффициент автокорреляции  $\rho_e$  испарения с водосбора находят по известным характеристикам *выходного* процесса – стока с водосбора и одного из входных процессов – осадков по водосбору. В работах советских и российских исследователей обратные гидрологические задачи обсуждались неоднократно (см.,

например, [25, 26]). В зарубежной гидрологической литературе обратная задача получила название «doing hydrology backward» [14, 15].

Идея применения уравнений, связывающих моменты распределений входных и выходных процессов для получения оценок неизвестных статистических характеристик моделируемого процесса, была предложена А.А. Фридманом и Л.В. Келлером в 1924 г. (по [27]). На уравнениях типа Фридмана-Келлера базируется полуэмпирическая теория турбулентности [27, 28].

Использование системы уравнений Фридмана-Келлера обусловлено следующими обстоятельствами. Наличие рядов данных наблюдений за стоком и осадками не позволяет получить ряд *годовых* величин испарения из уравнения водного баланса водосбора. Из этого уравнения легко находится только среднемноголетняя величина испарения, см. уравнение (3). Получить ряд *годовых* величин испарения по уравнению водного баланса водосбора без знания функциональной зависимости между стоком  $Q_t$  и эффективным влагозапасом  $w_t$  невозможно. В первом приближении, мы допускаем применимость линейной зависимости (2). Но и здесь возникает проблема, поскольку оценить величину коэффициента  $\alpha$  для этой зависимости в результате наблюдений практически невозможно. Поэтому мы образуем систему из трех уравнений, связывающих дисперсии, коэффициенты автокорреляции и коэффициенты взаимной корреляции стока, осадков и испарения. Численное решение этой замкнутой системы нелинейных уравнений позволяет решить ее для трех неизвестных – коэффициента  $\alpha$ , дисперсии и коэффициента автокорреляции многолетних колебаний испарения с водосбора.

Влагозапас, как функция стока с водосбора, является случайной величиной, характеризующей соответствующими статистическими характеристиками. В зависимости от режимов стокоформирующих процессов – осадков и испарения по водосбору, могут меняться и статистические характеристики влагозапаса (таблица 1). Например, дисперсия влагозапаса на водосборе р. Мезень уменьшилась примерно в 1,7 раза от I-го интервала ко II-ому.

Таблица 1 – Статистические характеристики компонент водного баланса водосбора р. Мезень

Характеристика	Среднее, мм/год		Дисперсия, (мм/год) <sup>2</sup>		Коэффициент автокорреляции		Параметр $\alpha$ , год <sup>-1</sup>	
	Интервалы: I – 1921–1964 гг., II – 1965–2008 гг.							
	I		II		I		II	
Осадки	553	569	5437	2535	0,12	-0,07	3,00	,02
Сток	365	360	4496	2770	0,29	-0,06		
Испарение	188	209	3709	3298	-0,09	-0,50		
Эффективный влагозапас	122	120	500	304	0,29	-0,06		

Соответственно, изменяются и параметры плотности распределения вероятности (ПРВ) влагозапаса. На рисунке 1 приведены графики ПРВ влагозапаса на водосборе р. Мезень, построенные в приближении гамма-распределения для двух интервалов времени.

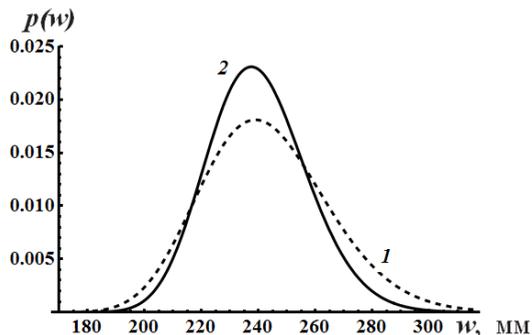


Рисунок 1 – Плотности распределения вероятности  $p(w)$  влагозапаса  $w$  на водосборе р.Мезень: 1 – для режима 1921–1964 гг., 2 – для режима 1965–2008 гг.

Обращают на себя внимание графики зависимостей дисперсий стока и влагозапаса от параметра  $\alpha$  для модельного водосбора (рисунок 2).

Зависимости  $\sigma_Q^2(\alpha)$  и  $\sigma_w^2(\alpha)$  на рисунке 2 построены для безразмерных дисперсий осадков и испарения, равных единице. Коэффициенты автокорреляции осадков и испарения принимались равными 0,2, коэффициент взаимной корреляции между осадками и испарением был принят равным 0,5.

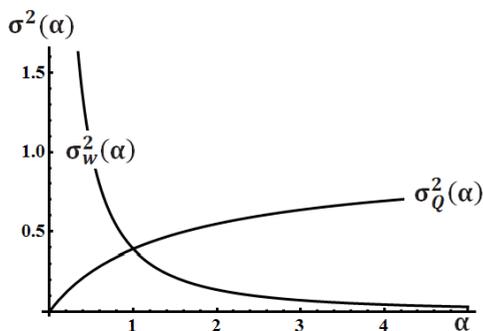


Рисунок 2 – Зависимости дисперсии стока  $\sigma_Q^2$  и влагозапаса  $\sigma_w^2$  от параметра  $\alpha$  для модельного водосбора

Вид графиков на рисунке 2 не зависит от конкретных водных балансов водосборов, для которых применима ДС-модель (4)–(6). Из графиков на рисунке 2 следует, что для водосбора с параметром  $\alpha < 1$  дисперсия влагозапаса будет больше дисперсии стока. В этом случае, колебания стока «выравниваются» за счет регулирующего воздействия влагозапаса. Если же параметр  $\alpha > 1$ , то, наоборот, сток оказывает «смягчающее» влияние на колебания влагозапаса.

**Выводы.** ДС-модель (4)–(6) позволяет установить зависимости статистических характеристик влагозапаса от соответствующих характеристик остальных компонент водного баланса и параметра  $\alpha$ .

1. По этим зависимостям возможна оценка влияния режима многолетних колебаний осадков и испарения по водосбору на статические характеристики влагозапаса.

2. В рамках разработанной ДС-модели, многолетние колебания влагозапаса на водосборе моделируются как компонента трехкомпонентного векторного марковского процесса.

### Список литературы

1. Ковалевский В.С. Многолетние колебания уровней подземных вод и подземного стока. М.: Наука, 1976. 270 с.
2. Ковалевский В.С., Федорченко Е.А., Клиге Р.К. Возможные изменения запасов и уровней грунтовых вод в бассейне Волги // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1999. №5. С. 61–67.
3. Малинин В.Н. О современном состоянии проблемы изменчивости вод гидросферы // Ученые записки РГГМУ. 2006. Вып 2. С. 54–75.
4. Добровольский С.Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: ГЕОС, 2017. 526 с.
5. Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Григорьев В.Ю., Харламов М.А. Использование спутниковой системы измерения поля гравитации земли (GRACE) для оценки водного баланса крупных речных бассейнов // Вестник Московского Ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 4. С. 27–34.
6. Creutzfeldt B., Ferré T.P.A., Troch P.A. et al. Total water storage dynamics in response to climate variability and extremes: Inference from long-term terrestrial gravity measurement // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. P. D08112.
7. Grigoriev V., Frolova N. Terrestrial water storage change of European Russia and its impact on water balance // Geography, Environment, Sustainability. 2018. V.11. No 1. P. 38–50.
8. Rodell M., Famiglietti J.S., Chen J. et al. Basin scale estimates of evapotranspiration using GRACE and other observations // Geophysical Research Letters. 2004. V. 31. P. L20504.
9. Soni A., Syed T.H. Diagnosing Land Water Storage Variations in Major Indian River Basins using GRACE observations // Global and Planetary Change. 2015. V. 133. P. 263–271.
10. Scanlon B.R., Zhang Z., Rateb A. et al. Tracking Seasonal Fluctuations in Land Water Storage Using Global Models and GRACE Satellites // Geophysical Research Letter. 2019. V. 46. No 10. P. 5254–5264.
11. Гайдюкова Е.В., Баймаганбетов А., Синкпеун Л., Бонгу Э.С. Сценарная оценка нормы изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов // Учёные записки РГГМУ. 2018. Вып. №53. С. 113–122.
12. Фролов А.В. Дискретная динамико-стохастическая модель многолетних колебаний речного стока // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. №5. С.538–547.
13. Фролов А.В. Оценка статистических характеристик многолетних колебаний испарения с крупных речных водосборов // Докл. АН СССР. 2014. Т. 458. № 3. 345–348.
14. Kirchner J.W. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology // Water Resour. Res. 2006. V. 42. No. 3. P. W03S04.
15. Kirchner J.W. Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward // Water Resour. Res. 2009. V. 45. No. 2. P. W02429.
16. Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 184 с.
17. Фролов А.В. Динамико-стохастические модели многолетних колебаний уровня проточных озер. М.: Наука. 1985. 103 с.
18. Фролов А.В. Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний речного стока // Водные ресурсы. 2006. Т.33. №5. С. 527–537.
19. Klemeš V. Physical based stochastic hydrologic analysis // Advances in Hydrosience. 1978.

V. 11. P. 285–356.

20. *Klemeš V.* The essence of mathematical models of reservoir storage // Canadian journal of civil engineering. 1982. V.9. No. 4. P. 624–635.
21. *Meert P., Nossent J., Vanderkimpfen P. et al.* Development of conceptual models for an integrated catchment management: Subreport 1 – Literature review of conceptual models structures. Antwerp., Belgium: Flanders Hydraulics Research, 2014. 83 p.
22. *Teuling A.J., Lehner I., Kirchner J.W., Seneviratne S.I.* Catchments as simple dynamical systems: Experience from a Swiss prealpine catchment // Water Resour. Res. 2010. V. 46. No. 10. P. W10502.
23. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф., Калинин Г.П., Быков В.Д.* Об исследовании многолетних колебаний речного стока / Многолетние колебания речного стока и вероятностные методы его расчета. М.: Изд-во МГУ, 1967. С. 9–24.
24. *Давыдов Л.К.* Водоносность рек СССР. Ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов. Л.: Гидрометеоздат, 1947. 161 с.
25. *Картвелишвили Н.А.* Неустановившиеся открытые потоки. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 128 с.
26. *Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В.* Моделирование гидрологических процессов. Л.:Изд.РГГУ, 2006. 560 с.
27. *Баренблатт Г.И.* Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика. Теория и приложение к геофизической гидродинамике. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 207 с.
28. *Монин А.С., Яглом А.М.* Статистическая гидромеханика. Ч.1. М.: Наука, 1965. 639 с.

## ОСОБЕННОСТИ ОБНОВЛЕНИЯ ПРИДОННОЙ ВОДЫ В БОРНХОЛЬМСКОМ БАССЕЙНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Царев В.А.<sup>1</sup>, Динь Н.Х.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Университет естественных ресурсов и окружающей среды Хо Ши Мина, Хо Ши Мин, Вьетнам

*tsarev@rshu.ru*

*Аннотация.* С помощью математического моделирования рассматриваются особенности распространения североморских вод в Борнхольмском бассейне на примере крупного затока, происшедшего в январе 2003 г. По результатам моделирования выделены особенности распространения североморской воды, а также связанное с ним изменение поля содержания кислорода в придонном слое.

*Ключевые слова.* Борнхольмский бассейн, главные балтийские затоки, придонные плотностные потоки, Балтийское море, аэрация придонного слоя моря.

## FEATURES OF BOTTOM WATER RENEWAL IN THE BORNHOLM BASIN ACCORDING TO SIMULATION RESULTS

Tsarev V.A.<sup>1</sup>, Dinh Ngoc Huy<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Ho Chi Mini University of Natulal Resources and Enviroment, Ho Chi Minh City, Vietnam,

*Annotation.* With the help of mathematical modeling, the features of the distribution of North Sea waters in the Bornholm basin are considered using the example of a large inflow that occurred in January 2003. Based

on the results of modeling, the features of the distribution of North Sea water, as well as the associated change in the field of oxygen content in the bottom layer, are identified.

*Keywords.* Bornholm basin, main Baltic inflows, near-bottom density flows, Baltic Sea, aeration of the near-bottom layer of the sea.

Основной целью работы является изучение с помощью моделирования особенностей происходящего в период главных Балтийских затоков распространения североморской воды в Борнхольмском бассейне, включая траекторию распространения придонного плотностного потока, его трансформацию, а также его влияние на распределение содержания кислорода в придонном слое. Для описания процесса распространения североморской воды в Борнхольмском бассейне используется трехмерная гидростатическая модель плотностного потока. Особенностью модели является использование особой структуры расчетной области, при которой в придонном слое толщиной 20 м узлы сетки по вертикали располагаются с шагом в 1 м. Это позволяет добиться лучшего разрешения при описании структуры плотностного потока. В модели также учитывается горизонтальная адвекция соли баротропными течениями, формирующимися в результате водообмена через проливы. Расчет скоростей баротропных течений выполнялся с помощью двухмерной баротропной модели в приближении длинных волн. На первом этапе выполнялся расчет баротропных течений для области, включающей все Балтийское море, начиная от Датских проливов (рисунок 1б). Полученные скорости течений интерполировались на область, используемую в трехмерной бароклинной модели (рисунок 1а), описывающей распространение североморской воды в Борнхольмском бассейне.

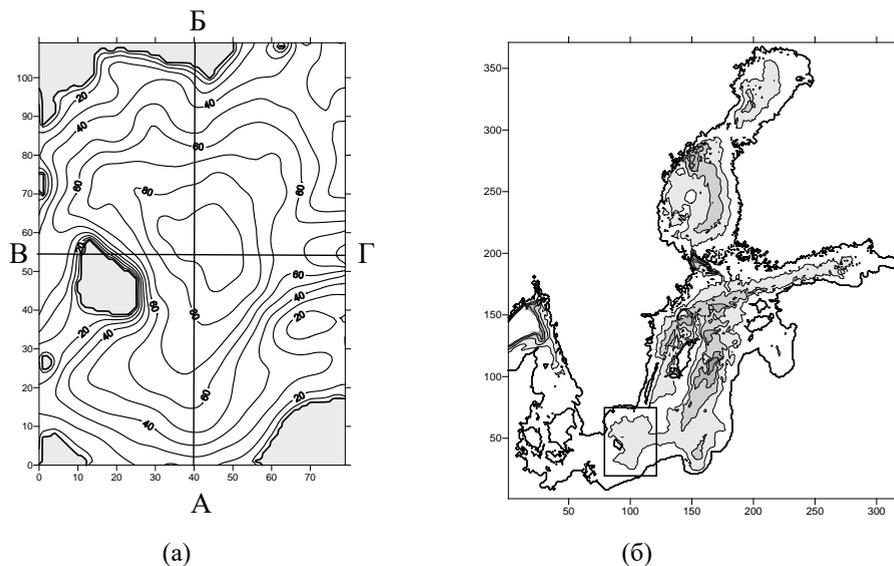


Рисунок 1 - Распределение глубины в расчетной области (а) и ее положение на карте Балтийского моря (б)

Распространение в придонном слое соленой воды описывалось с помощью модели придонного плотностного потока, представленной в [1]. Так как плотностной поток распространяется преимущественно в относительно узком придонном слое, то для его более детального описания расчетная область разбивалась по глубине на две подобласти. Нижняя подобласть располагалась непосредственно у дна и имела толщину 20 м. Выше

располагалась вторая подобласть. Входящие в модель уравнения движения, неразрывности и переноса соли записывались с использованием вместо  $z$  безразмерных переменных

$$\sigma_1 = \frac{z - H_1}{H - H_1} \text{ и } \sigma_2 = \frac{z}{H_1} \text{ для нижнего и верхнего слоев соответственно. Боковая левая}$$

жидкая граница расчетной области проходила левее острова Борнхольм, а правая жидкая граница располагалась по середине Слупского желоба (рисунок 1). При задании начального распределения солёности использовались данные наблюдений о распределении солёности в Борнхольмском бассейне для декабря 2002 г. Эти данные также использовались при формулировке граничных условий на левой жидкой границе. На правой границе задавалось условие равенства нулю нормальной производной по солёности. Это соотношение использовалось также в качестве граничных условий на твердой боковой границе, для дна и для морской поверхности. Расчетная область покрывалась сеткой размером 80x110 узлов по горизонтали и 40 узлов по вертикали. Горизонтальный шаг сетки составил 1.8 км. В придонном слое расчетные узлы располагались с шагом 1 м по глубине. Выше расстояние между узлами по вертикали равнялись 1/19 от толщины верхнего слоя. Моделирование проводилось на примере залива, происходившего в январе 2003 г. Расчеты проводились для периода от 12 января до 25 февраля 2003. При этом в проливах Б. Бельт и Зунд задавались известные величины расходов. По расчетам придонная солёная вода распространялась из Арконского бассейна вдоль южного контура Борнхольмского пролива в виде узкого потока. Через несколько дней она проникала в Борнхольмский бассейн, где продолжала движение к югу вдоль восточной боковой границы о. Борнхольм. Направление ее движения в основном совпадало с направлением изобат. Толщина основного потока придонной солёной воды вначале составляла около 10м, а скорость течений достигала величины 10 смс<sup>-1</sup>. При достижении потоком областей с меньшим наклоном дна происходило уменьшение скорости потока и увеличение его толщины и ширины. При увеличении ширины потока его левая часть смещалась к области с изобатами, имеющими направление, отличное от направления изобат в области основной части потока. В результате придонный поток разделялся на новые ветви (рисунок 2).

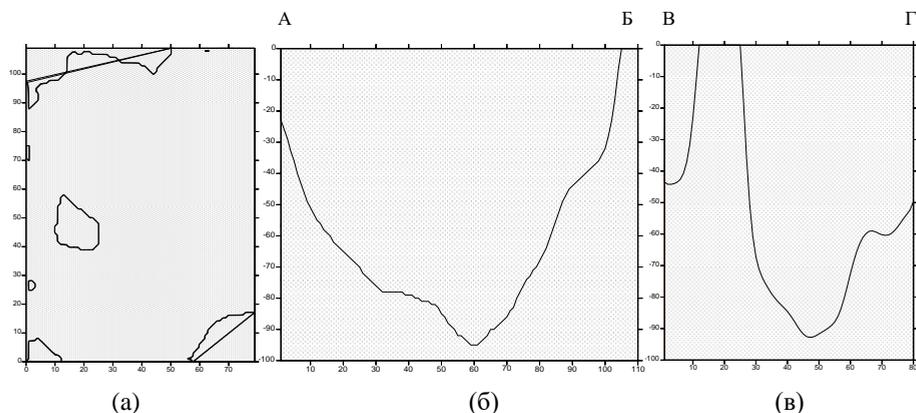


Рисунок 2 - Рассчитанные на 15.02.2003 распределения солёности у дна (а) и на сечениях АБ (б) и ВГ (в)

Образование новых ветвей уже 25.01.03 отмечалось к северо-востоку от о. Борнхольм и западнее острова. Позже образование новых ветвей отмечалось в южной части бассейна. Основной поток и его ветви продолжали распространяться преимущественно вдоль изобат, но на разных глубинах. Распространение придонного потока солёной воды приводило к вытеснению старой придонной воды, что проявилось в подъёме изохалин в вышележащих

горизонтах моря. Полученная по расчетам вертикальная структура поля солености соответствовала представленным в публикациях данным натурных наблюдений [2,3]. При моделировании трансформации поля кислорода в Борнхольмском бассейне на границе с Арконой в области Борнхольмского пролива в придонном слое толщиной 10 м в соответствии с данными наблюдений задавалось содержание кислорода, равное 10 мл.л<sup>-1</sup>. Начальное распределение содержания кислорода в Борнхольмском бассейне задавалось у поверхности равным 7 мл.л<sup>-1</sup>. Ко дну оно уменьшалось до 1.5 мл.л<sup>-1</sup>. По расчетам картина повышения содержания кислорода (рисунок 3) близко соответствовала картине распределения придонного плотностного потока (рисунок 2). В течение первых 15 суток она в составе плотностного потока заполняла придонный слой вокруг острова Борнхольм (рисунок 3а). Из-за того, что придонный плотностной поток разбивается на несколько ветвей, каждая из которых распространяется в пределах своего горизонта, вентиляция придонных вод на разных глубинах происходит неодинаково. Первая ветвь, образующаяся к востоку от острова от левой части потока, располагающаяся на глубинах более 70м, распространяется на самых глубоких горизонтах. Ее проявление видно уже на рисунке 3б. Благодаря этой ветви происходит вентиляция придонного слоя на участке, локализованном около точки максимальных глубин. Позже образуются вторая и третья ветви, которые распространяются в слоях, расположенных на меньших глубинах и насыщают их кислородом. При этом они располагаются дальше от центра области и поэтому проходят большие расстояния. В результате вентиляция за счет этих ветвей происходит позже, чем за счет первой.

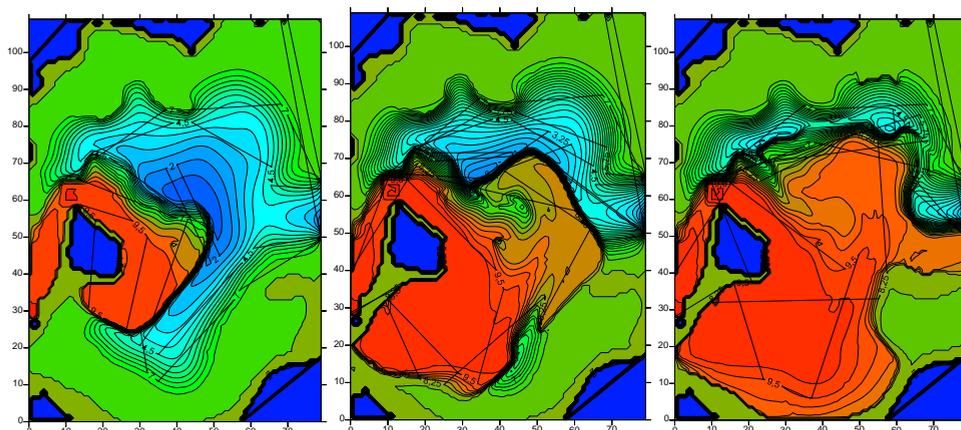


Рисунок 3- Рассчитанное распределение придонного содержания кислорода воды 30.01.2003 (а), 05.02.2003 (б) и 15.02.2003 (в)

На поперечном сечении ВГ распределения кислорода в области западного склона к 30.01.2003 выделяются область плотностного потока, а ниже более тонкий слой, связанный с распространением первой ветви (рисунок 4а). Позже в области восточного склона появляется богатый кислородом придонный слой, представляющий собой вторую ветвь (рисунок 4б). С течением времени происходит увеличение толщины придонного богатого кислородом слоя (рисунок 4в).

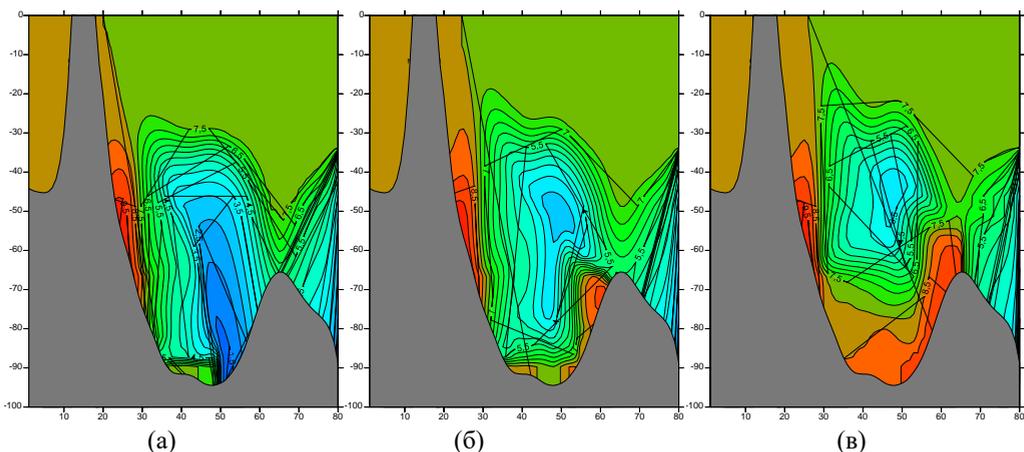


Рисунок 4- Распределение содержания кислорода воды на сечении ВГ, рассчитанное на 30.01.2003 (а), 5.02.2003 (б) и 15.02.2003 (в)

На продольном сечении АБ на южном склоне дна котловины хорошо выделяется область, насыщенная кислородом, которая представляет собой продолжение первой ветви плотностного потока (рисунок 5а). Через пять суток рядом на меньших глубинах появляется насыщенная кислородом область, представляющая собой продолжение второй ветви (рисунок 5б). Еще через 5 суток на этом же склоне ближе к поверхности моря обнаруживается новая насыщенная кислородом область, являющаяся продолжением третьей ветви (рисунок 5в). Кроме этого, на северном склоне дна на предельных глубинах возникает область с высоким содержанием кислорода, которая представляет собой продолжение первой ветви (рисунок 5в). Позже происходит увеличение толщины выделенных слоев.

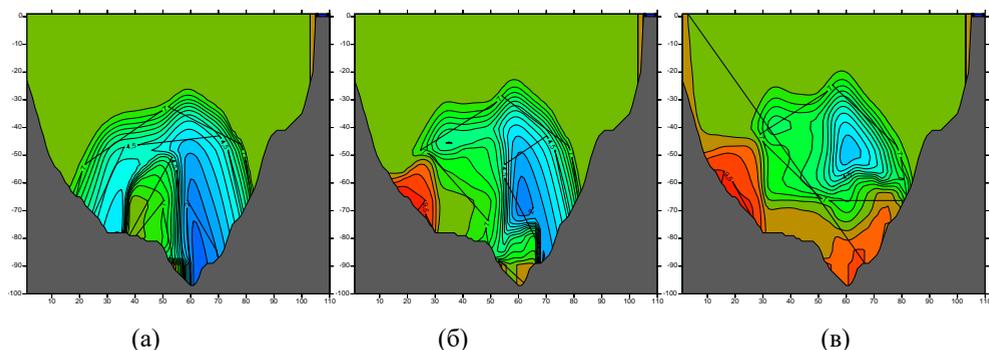


Рисунок 5- Распределение содержания кислорода воды на сечении АБ, рассчитанное на 30.01.2003 (а), 5.02.2003 (б) и 15.02.2003 (в)

По результатам расчетов протекающий в период главных затоков процесс насыщения кислородом придонных вод в Борнхольмском бассейне определяется процессом раздробления основного придонного плотностного потока на отдельные ветви. Формирующиеся ветви распространяются на различных глубинах, по разным траекториям и с разными скоростями. В результате, можно ожидать, что распространение насыщенной кислородом воды через Слупский желоб связано с распространением ветви придонного плотностного потока, распространяющейся в вышележащих горизонтах.

## Список литературы

1. Динь Н.Х., Царев В.А. Особенности распространения североморской воды в Борнхольмском бассейне по результатам моделирования, Океанологические исследования, 2019, т.47., №3, с.233-245.
2. Meier H.E.M., Feistel R., Piechura J. Ventilation of the Baltic Sea deep water: A brief review of present knowledge from observations and models // Oceanologia. 2006. Vol. 48 (S). P. 133–164.
3. Piechura J., Beszczyńska Moller A. Inflow waters in the deep regions of the southern Baltic Sea – transport and transformations // Oceanologia. 2003. Vol.45 (4). P. 593–621.

## АНАЛИЗ РАЗЛИЧИЙ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ОБЛАКОВ ТРОПИЧЕСКИХ И УМЕРЕННЫХ ШИРОТ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ГРАДИН С ОБЛАЧНЫМИ КАПЛЯМИ

Офори М.К.<sup>1</sup>, Кашлева Л.В.<sup>1</sup>, Михайловский Ю.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Главная Геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург

kashleval@yandex.ru

*Аннотация.* Анализируется процесс электризации грозового облака при столкновении градин с переохлажденными облачными каплями. Показано, что рассмотренный процесс приводит к формированию трипольной структуры облачных зарядов. Показаны различия в облаках тропических и умеренных широт.

*Ключевые слова.* Электризация облаков, электризация облачных гидрометеоров, электрическая структура облака.

## ANALYSIS OF DIFFERENCES IN THE ELECTRIFICATION PROCESS OF CLOUDS OF TROPICAL AND TEMPERATE LATITUDES, WHEN HAILSTONES COLLIDE WITH CLOUD DROPLETS

Offory M.K.<sup>1</sup>, Kashleva L.V.<sup>1</sup>, Mikhailovskii Yu.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University

<sup>2</sup> Main Geophysical Observatory A.I. Voeikov

*Abstract.* The process of electrification of a thundercloud in the collision of hailstones with supercooled cloud droplets is analyzed. It is shown that the considered process leads to the formation of a tripolar structure of cloud charges. Differences in clouds of tropical and temperate latitudes are shown.

*Keywords.* Eelectrification of clouds, electrification of cloud hydrometeors, electric structure of the cloud.

Введение. Электрические процессы в облаках, включая молниевую активность, закономерно являются т одним из приоритетных и для практической метеорологии, и для теоретических исследований. Причина – чрезвычайная опасность грозовых облаков для жизнедеятельности людей и для промышленных объектов. Проводимые комплексные исследования грозовых облаков включают: 1) натурные эксперименты, осуществляемые с помощью как наземных средств (радиолокаторов, грозорегистраторов), так и самолетов лабораторий; 2) лабораторные исследования электризации облачных гидрометеоров при их взаимодействии; 3) теоретические исследования (прежде всего численное моделирование электризации облаков). Нужно отметить следующее, что, как показали натурные эксперименты (например [1-5]), гроза возможна, если верхняя граница облака расположена выше уровня интенсивной кристаллизации. Подтверждением этого факта можно считать, что в синоптических методах расположение верхней границы выше уровня интенсивной кристаллизации является необходимым условием для прогнозирования грозы. Это свидетельствует о приоритетном значении взаимодействия ледяных частиц для электризации облака. В настоящее время общепринятым является утверждение, что грозовые облака

электризуются осадками. Это происходит следующим образом. Крупинки и градины, зарождающиеся в верхней части облака, при столкновении и слиянии с облачными капельками и кристаллами (т.е. из-за коагуляции), достигают такого размера, при котором они начинают опускаться. Если при столкновении крупинки и градин с кристаллами происходит разрушение контактов, то это ведет к взаимному зарядению частиц: крупинки и градины заряжаются отрицательно, кристаллики – положительно. В восходящем потоке гидрометеоры разделяются в пространстве - крупинки и градины продолжают опускаться, а положительно заряженные кристаллики выносятся потоком вверх. Так осуществляется направленная электризация облака: вверху формируется положительно заряженная область, вниз опускается объем с отрицательным зарядом. Опускание града можно считать механизмом, посредством которого происходит зарядение облака. Однако, в соответствии с результатами натурных экспериментов, пространственной электрической структурой грозового облака является триполь – в верхней и нижней части облака располагаются положительные заряды, в центральной части – отрицательный заряд. То есть в облаке происходит смена знака зарядения опускающихся градин. Отметим, что общепринятым является утверждение, что именно взаимное зарядение градин и кристалликов является главным механизмом электризации облака; и результатом этого является возникновение верхнего положительно и центрально отрицательно заряда. Но как формируется триполь? И второй, не менее значимый вопрос – каким образом микрофизические различия облаков тропических и умеренных широт обуславливают их различную электрическую активность.

В представленной работе осуществлена попытка объяснить перезарядение града и возникновение нижнего положительного заряда облака электризацией градин при разбрызгивании переохлажденных капель на поверхности градин как результате столкновения капель с градинами. Анализ был выполнен в рамках полуторамерной модели грозового облака [6]. В проводимом анализе использовались результаты лабораторного исследования [7, 8] и параметризация этих исследований, выполненная в работе [9].

1. Гидродинамическая модель облака. Для построения неэлектрической схемы облака используются данные температурного зондирования атмосферы. В работе была выбрана полуторамерная модель конвективного одноячейкового облака с переменным радиусом по высоте. Облако аппроксимируется стационарной струей, соответствующей стадии зрелости исследуемого облака, например [10]. Шаг по высоте задан 100 м. Микрофизические и гидродинамические параметры осреднены по сечению. Используются экспериментально и теоретически полученные зависимости, а также некоторые осредненные данные зондирования облаков. С помощью численной схемы рассчитываются вертикальные профили следующих облачных параметров: вертикальной скорости, температуры воздуха, водности, ледности и радиуса облака. Концентрация града в расчетах постоянна по высоте.

В основу модели положена схема электризации облака осадками. В настоящее время и исследователи-экспериментаторы, и исследователи-теоретики считают эту схему наиболее соответствующей реальным процессам на начальной стадии процесса электризации облаков. Расчеты электрических процессов производятся на стационарном фоне неэлектрических параметров. Этот подход был определен задачей работы: выявить, какие неэлектрические характеристики облака и каким образом определяют его электрическую активность.

2. Анализ процесса электризации частиц крупы, града и облачных капель. Отметим, скорость падения градин (а значит радиус и плотность градины), имеет двойное влияние на процесс разделения заряда в результате столкновения градина с облачными частицами. Во-первых, она определяет массу переохлажденных капелек, поглощаемых градиной в единицу времени, и, во-вторых, она определяет величину разделяющегося заряда. Кроме того, величина разделяющегося при столкновении заряда определяется водностью крупных капель в слое облака. В соответствии с [7-9], в результате разбрызгивания переохлажденных капель дистиллированной воды на поверхности градин, градина заряжаются положительно, срываемые в потоке капли воды заряжаются отрицательно.

Когда град падает через слои облака, он переносит собой уже приобретенный из прежнего слоя заряд и по мере того, как он продолжает падать, он сталкивается с другими переохлажденными облачными каплями в этих слоях. За счет разбрызгивания, замораживания и отскока этих взаимодействующих частиц, последовательно возрождается процесс электризации в этих объемах слоев.

Были проведены расчеты для облаков в умеренных и тропических широтах [11]. Как известно, особенностью микрофизического строения облаков тропических широт является то, что крупных капель в этих облаках значительно больше, чем в умеренных широтах [12]. В проведенных расчетах в соответствии с экспериментальными данными было принято, что 10% адиабатической водности приходится на крупные капли в умеренных широтах и 20% - в тропических.

В соответствии с параметризацией исследуемого процесса электризации, предложенной в [9], величина разделяющегося заряда при столкновении переохлажденной капли радиусом 50 мкм с градиной составила  $8^{-16}$  Кл.

Тогда разные интервалы времени накопленный заряд в объеме слоя может быть представлен следующим образом (см. на рисунке 1)

Обращает на себя внимание, что процесс электризации в тропических облаках протекает значительно активнее, чем в облаках умеренных широт при одинаковой адиабатической водности! То есть особенности микрофизического строения облаков могут играть определяющую роль при формировании трипольной структуры грозового облака. Как показали расчеты, для всего облака в слое 4 км за 10 минут градины приобретают заряд 12 Кл в умеренных широтах и 24 Кл в тропических широтах.

Выводы. Таким образом, в работе было показано, что в облаке при разбрызгивании переохлажденных капель на поверхности градин, в результате столкновения капель с градинами, градины приобретают положительный заряд и опускаются вниз. За 10 минут суммарный положительный заряд может достигнуть значения 12 Кл в облаках умеренных широт и 24 Кл в облаках тропических широт.

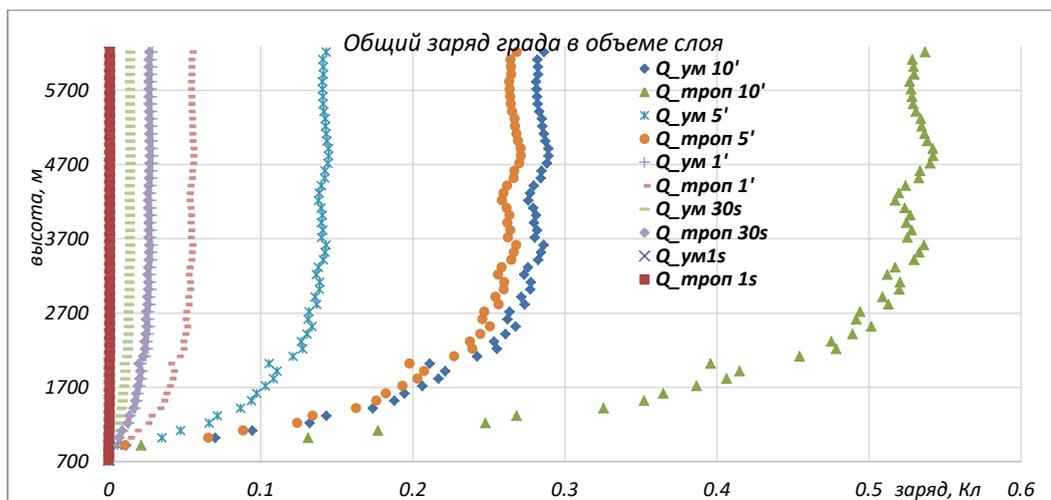


Рисунок 1 – Накопленный заряд в объеме слоя облака за разные интервалы времени в умеренном и тропическом облаках

С учетом того, что в реальных облаках град в нижнюю часть облака попадает из верхних слоев и при этом имеет отрицательный заряд, рассмотренный механизм может объяснить процесс перезарядки града в нижнем слое облака и формирование нижнего положительного заряда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 22-27-20031) и Санкт-Петербургского научного фонда (Соглашение № 58/2022 от 15 апреля 2022 г.).

### Список литературы

1. Михайловский Ю.П., Торопова М.Л., Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Синькевич А.А., Янг Дж., Лу Дж. Динамика электрической структуры кучево-дождевых облаков // Изв. вузов. Радиофизика. 2021. – Т. 64, № 5. – С. 341–353.
2. Михайловский Ю.П., В.Б. Попов, А.А. Синькевич, А.М. Абшаев, М.Т. Абшаев, А.Х. Аджиев, Ж.М. Геккиева, В.В. Занюков Физико-статистическая эмпирическая модель развития молниевой активности конвективных облаков.// Труды ГГО, 2019.– вып. 595. – с.83-105
3. Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Синькевич А. А., Михайловский Ю. П., Торопова М. Л. Исследование динамики электрической структуры грозо-градового кучево-дождевого облака по данным трехмерного численного моделирования (на примере северо-запада России). // Труды ГГО, 2019. – №592 – с.27-41
4. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П., Михайловский В.Ю. Механизмы электризации облачных гидрометеоров в грозовых облаках// Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – СПб.: РГГМУ, 2016. – № 45.– с.118-131.
5. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П. Условия начала организованной электризации по данным самолетных исследований // Труды ГГО, 1990.– Вып. 527.– с. 51-58.
6. Кашлева Л.В., Доуголи В., Михайловский Ю.П. Моделирование электризации градового облака в результате взаимодействия градин с облачными кристаллами.//Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы , Нальчик, 08–10 сентября 2021 года. – Нальчик: Принт Центр, 2021. – 500 с. – ISBN 978-5-907150-93-5. –Стр. 19 – 22.
7. Shewchuk S.R., Iribarne J.V. Charge separation during splashing of large drops on ice. // Quart. J. R. Met. Soc. (1971), 97, – pp. 272-282.
8. Shewchuk S.R., Iribarne J.V. Electrification Associated with Droplet Accretion on Ice. // J. Atmos. Sci. (1974), 31. – pp. 777-786.
9. Кашлева Л.В., Ю.П. Михайловский Атмосферное электричество. – РГГМУ, Санкт-Петербург, 2019. – 226 стр.
10. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. – Л., Гидрометеоздат, 1990. – 456 с.
11. Офори М.К., Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П. Моделирование электризации облаков при столкновении градин с облачными каплями. // VI Всероссийская конференция с международным участием «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития /MGO 2022 имени Л. Н. Карлина»
12. Pruppacher H., J. Klett . Microphysics of Clouds and Precipitation. – Kluwer Academic Publishers, 2004.

## СЕКЦИЯ 5

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКЕАНОЛОГИИ И ГИДРОЛОГИИ

#### **ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ И ИХ ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА**

Ахтямова А.Ф., Травкин В.С.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург  
*avellinnaa@gmail.com*

*Аннотация.* Исследуются фронтальные зоны Норвежского моря в поле температуры, солености и уровня морской поверхности, даются оценки сезонной и межгодовой изменчивости площадей фронтальных зон, рассматривается вихревая активность в выделенных областях.

*Ключевые слова.* фронтальные зоны, спутниковая альтиметрия, реанализ GLORYS12V1, мезомасштабные вихри, сезонная изменчивость, межгодовая изменчивость.

#### **FRONTAL ZONES OF THE NORWEGIAN SEA AND ITS VORTEX DYNAMICS**

Akhtyamova A.F., Travkin V.S.

Saint Petersburg state university, Saint Peterburg

*Annotation.* The frontal zones of the Norwegian Sea are studied in the field of temperature, salinity and sea surface height, estimates of the seasonal and interannual variability of the areas of the frontal zones are given, and eddy activity in the selected areas is investigated.

*Keywords.* frontal zones, satellite altimetry, GLORYS12V1 reanalysis, mesoscale eddies, seasonal variability, interannual variability.

Исследование циркуляции вод Мирового океана важно для развития фундаментальных и прикладных знаний о динамике вод. Фронтальные зоны (ФЗ) являются областями повышенных градиентов одних или нескольких характеристик. В них наблюдаются высокие скорости струйных течений, активные конвективные потоки, высокая биологическая активность, что определяет ФЗ как одну из наиболее важных особенностей циркуляции.

В Норвежском море Северная полярная фронтальная зона формирует природную границу между холодными и опресненными арктическими водами, и тёплыми и солёными водами Атлантического океана. Известно, что из-за неустойчивости фронтальных зон образуются мезомасштабные вихри. Они вносят весомый вклад в климат Европы, перенося потоки тепла на большие расстояния [1].

В нашем исследовании были использованы данные о температуре, солености и уровне морской поверхности с 1993-2019 гг., взятые из глобального океанического реанализа высокого разрешения GLORYS12V1 (1/12°). Также в работе были использованы данные по мезомасштабным вихрям продукта «MESOSCALE EDDY TRAJECTORY ATLAS PRODUCT META 3.2 DT», за 1993-2021 гг.

Для детектирования фронтальных зон рассчитывались горизонтальные градиенты для каждого гидрофизического поля [2], далее задавалось минимальное условие для выделения ФЗ: для температуры –  $|\text{grad } T| \geq 0,02 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км}$ , для солености –  $|\text{grad } S| \geq 0,01 \text{ psu}/\text{км}$ , для уровня морской поверхности –  $|\text{grad } SSH| \geq 0,002 \text{ м}/\text{км}$ . На основе данного алгоритма было получено пространственное распределение фронтальных зон в Норвежском море за временной промежуток 1993-2019 гг. в трех исследуемых полях. Основные выделенные ФЗ в данном

регионе: Исландско-Фарерская, Восточно-Исландского течения, Прибрежная ФЗ, Арктическая (Ян-Майенская) и ФЗ Западного Шпицбергена (рисунок 1).

Установлено, что в зимний период наблюдаются в среднем более высокие, по сравнению с летним периодом, значения градиентов. Обнаружено, что с увеличением глубины наблюдается смещение фронтальных зон к Лофотенской котловине и к Фареро-Исландскому порогу. Карты повторяемости фронтальных зон демонстрируют высокие значения (более 50 %) областей с высокими градиентами вблизи Лофотенского вихря, Шпицбергена, хребта Мона и материкового склона Норвегии. Была произведена сезонная и межгодовая оценка площадей фронтальных зон и выполнен анализ их корреляции с атмосферными индексами NAO и AO. Установлено, что разница между площадью фронтальных зон в летний и зимний период может достигать 2,5-2,9 раз. Индекс NAO отчетливо коррелирует с сезонной и межгодовой изменчивостью фронтальных зон, тогда как связь с индексом AO менее заметна.

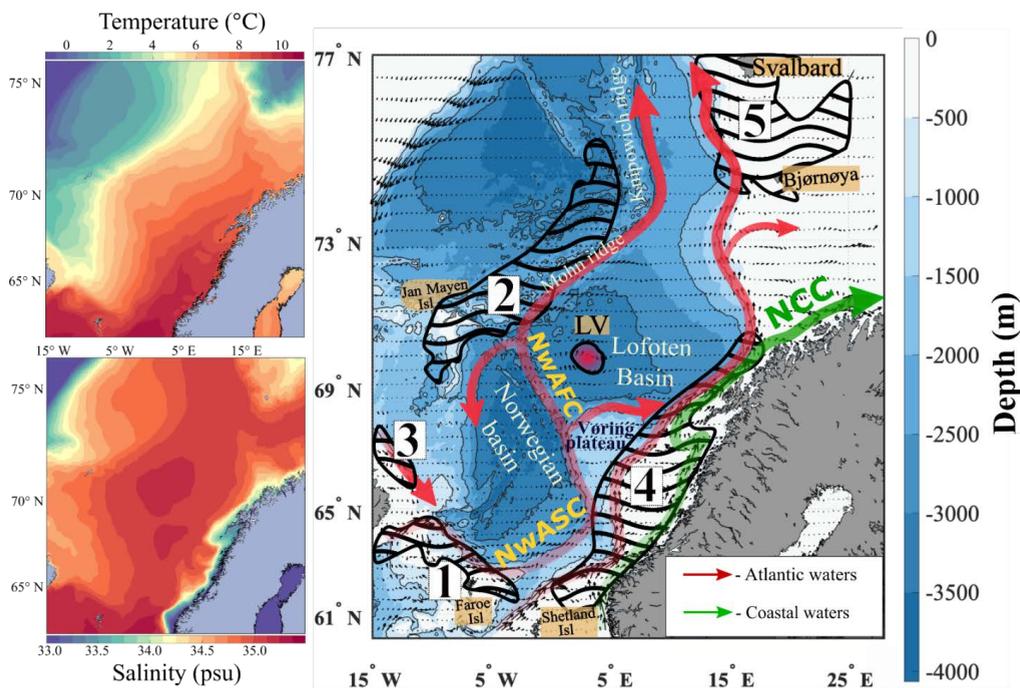


Рисунок 1 – Осредненные за 1993-2019 гг. поверхностные поля температуры и солёности (слева), а также батиметрическая карта района исследования (справа). Цифрами показаны ФЗ Норвежского моря: 1) Исландско-Фарерская ФЗ; 2) Ян-Майенская (Арктическая) ФЗ; 3) ФЗ Восточно-Исландского течения; 4) ФЗ Норвежского прибрежного течения; 5) ФЗ Западного Шпицбергена. Месторасположение Лофотенского вихря обозначено как LV

Анализ мезомасштабных вихрей, сгенерированных в фронтальных зонах, показал следующее: антициклонические (АЦ) и циклонические (Ц) вихри способны перемещаться на сотни километров от места своего зарождения, диссипируя в конечном итоге в Лофотенской и Норвежской котловинах. Наибольшее количество вихрей обоих типов зафиксировано в Ян-Майенской ФЗ и ФЗ Западного Шпицбергена. Количество Ц и АЦ вихрей способно достигать в них 200 вихрей на ячейку ( $2^\circ \times 1^\circ$  по долготе и широте), что свидетельствует о высокой интенсивности вихреобразования в данных областях. Причем, если часть вихрей Прибрежной и Исландско-Фарерской ФЗ движется на север, то часть вихрей Ян-Майенской ФЗ смещается на юг, двигаясь в противоположном направлении к осредненной по времени

локальной циркуляции. Короткоживущие вихри namного реже покидают районы ФЗ, перемещаясь в основном лишь в их границах.

#### Список литературы

1. *Belonenko T., Zinchenko V., Gordeeva S., Raj R.* Evaluation of heat and salt transports by mesoscale eddies in the Lofoten Basin, Russ. J. Earth Sci., 2020, 20, ES6011, doi:10.2205/2020ES000720.
2. *Ожигин В.К., Ившин В. А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю.* Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИНРО, 2016, 216 с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ (ГНСС) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ОТМЕТОК ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ

Бобровицкая Н.Н., Антропов А.В., Турутина Т.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург

*bobrovi@ggi.nw.ru*

*Аннотация.* Современное геодезическое обеспечение гидрометеорологических наблюдений Росгидромета, наряду с нивелированием, предполагает внедрение и использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Например, в ФГБУ «ГОИН» проводится разработка технологии ГНСС для морской наблюдательной сети, разрабатывается нормативная база. Заключено межведомственное взаимодействие Росгидромета и Росреестра в рамках Соглашения С-140-77 от 22.06.2016 года по организации межведомственного взаимодействия по топографо-геодезическому обеспечению наблюдений на метеорологических станциях и на сети уровневых постов морей, озер, рек и водохранилищ. Результатом реализации данного Соглашения является размещение на гидрометеорологических пунктах наблюдений Росгидромета постоянно действующих станций ГНСС – пунктов фундаментальной астрономо-геодезической (ФАГС). ФГБУ «ГТИ» совместно с сотрудниками РИРВ рассмотрены проблемы геодезического обеспечения речных гидрологических постов и варианты их решения посредством ГНСС-аппаратуры отечественного производства, проведены полевые испытания в Новгородской области. По результатам экспериментальных работ установлено, что использование аппаратуры ГНСС отечественного производства, а также моделей геоида сверхвысоких степеней (EGM2008, GECO, EIGEN-6C4) позволяет определить при наличии надежных исходных данных нормальные высоты с точностью нивелирования IV класса, необходимого для обеспечения гидрологических постов. Измерения должны выполняться относительным методом во избежание погрешностей систематического характера.

*Ключевые слова.* Глобальные навигационные спутниковые системы, пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети, модели геоидов.

### RESULTS OF THE APPLICATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS (GNSS) TO DETERMINE THE ELEVATION OF HYDROLOGICAL POSTS

Bobrovitskaya N.N., Antropov A.V., Turutina T.V.

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", Saint Petersburg

*Annotation.* Modern geodetic support of hydrometeorological observations of Roshydromet, along with leveling, involves the introduction and use of global navigation satellite systems (GNSS). For example, the development of GNSS technology for the marine observation network is being carried out in the FSBI "GOIN" a regulatory framework is being developed. Interdepartmental cooperation between Roshydromet and Rosreestr was concluded within the framework of the Agreement C-140-77 dated 22.06.2016 on the organization of interdepartmental interaction on topographic and geodetic support of observations at meteorological stations and on the network of level posts of seas, lakes, rivers and reservoirs. The result of the implementation of this Agreement is the placement of permanent GNSS stations at hydrometeorological observation points of Roshydromet – fundamental Astronomical and Geodetic (FAGS) stations. FSBI "GGI"

together with employees of JSC "RIRV" conducted joint research to determine the heights of hydrological posts in the basin of the Polomet River, which is located in the Valdai district of the Novgorod region. Based on the results of experimental work, it was found that the use of domestic GNSS equipment, as well as ultrahigh-degree geoid models (EGM2008, GECO, EIGEN-6C4) makes it possible to determine, with reliable initial data, normal heights with the accuracy of leveling class IV required to provide hydrological posts. Measurements should be carried out by a relative method in order to avoid systematic errors.

**Keywords.** Global navigation satellite systems, points of the fundamental astronomical and geodetic network, models of geoids.

В системе Росгидромета исследование возможностей применения ГНСС для определения высотных отметок гидрометеорологических постов было начато в ФБГУ «ГОИИ» в основном с 2000-х тысячных годов [1-3]. Надежное определение расположения и высотных отметок гидрологических постов имеет важное значение для повышения точности гидрологических расчетов и прогнозов [4]. В целях достижения единства измерений уровни водных объектов относят к единой государственной системе высот – Балтийской системе высот 1977 года (БС-77) [4], что имеет важное значение для получения надежной гидрометеорологической информации для прогнозирования опасных явлений, обеспечения гидротехнического строительства, освоения природных ресурсов. Принципиальная схема расположения реперов на уровневом посту показана на рисунке 1.

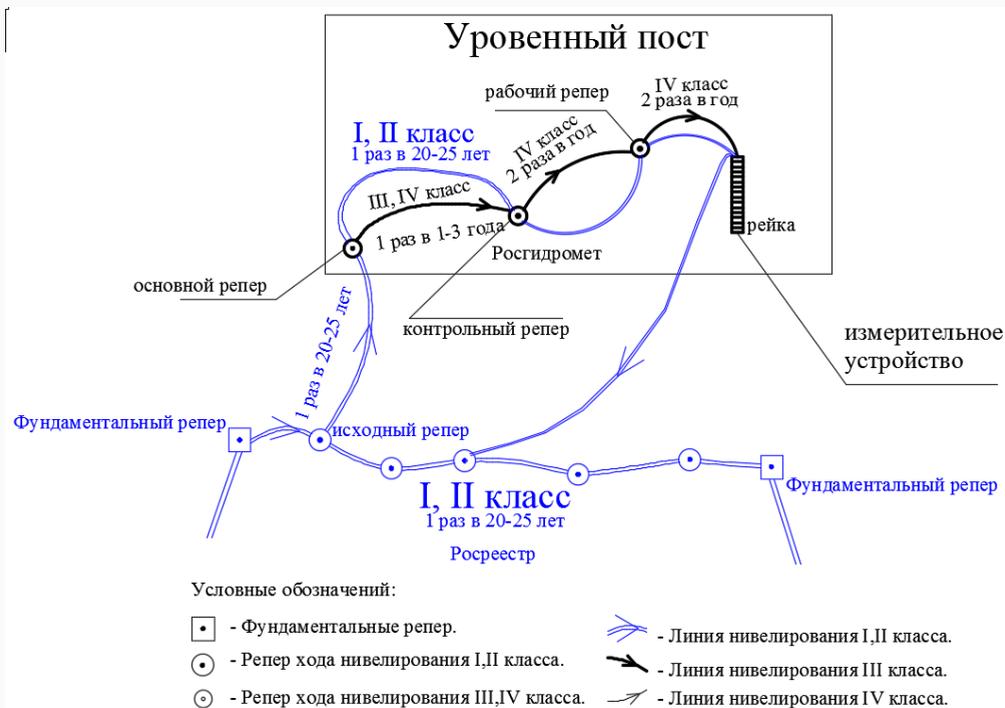


Рисунок 1 – Принципиальная схема нивелирования на пункте наблюдений Росгидромета [2]

Несмотря на надежность геометрического нивелирования оно не во всех случаях обеспечивает поддержание высот на гидрологических постах. Государственная геодезическая сеть (ГГС) на государственном уровне не поддерживается с 1975 г. Поэтому часто имеет место утрата реперов сети.

В мировой практике для поддержания и развития реперов пунктов наблюдений, наряду с геометрическим нивелированием используют глобальные навигационные

спутниковые системы (ГНСС). В ФГБУ «ГОИН» в 2018 году прошёл международный семинар по измерениям уровня моря в неблагоприятных условиях окружающей среды, инициированный Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО. В работе семинара приняли участие эксперты из более 10 стран [5]. В решении семинара было отмечено, что в соответствии со стандартами ГЛОС на морских станциях, выполняющих наблюдения за уровнем моря, необходимо размещение постоянно действующих станций ГНСС.

ФГБУ «ГОИН», в рамках планов научно-исследовательских и технологических работ Росгидромета, проводит комплекс научно-исследовательских работ по применению ГНСС на морской наблюдательной сети Росгидромета [5,6]. Выполнялись экспериментальные и производственные мероприятия по спутниковой привязке и контролю реперов уровенных станций и постов на Каспийском, Балтийском, Черном, Азовском, Белом морях, а также морях Дальневосточного региона. В результате проведенных работ, на практике доказана эффективность применения ГНСС на морской наблюдательной сети Росгидромета, в первую очередь, при контроле высотного положения реперов пунктов наблюдений.

Однако, до настоящего времени в организациях Росгидромета методы ГНСС не находят широкого применения при поддержании высотной основы пунктов наблюдений. Причиной этого является ряд финансовых и организационных факторов. Поэтому решение этих задач должно решаться комплексно в рамках межведомственного взаимодействия ответственных федеральных ведомств. ФГБУ «ГОИН» и ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» стали инициаторами Соглашения «по организации межведомственного взаимодействия по топографо-геодезическому обеспечению наблюдений на метеорологических станциях и на сети уровенных постов морей, озер, рек и водохранилищ» №С-140-77 от 22.06.2016 (далее – Соглашение), заключённого между Росгидрометом и Росреестром [5, 6].

Определены главные цели Соглашения: Росгидромет привлекает в отрасль и на наблюдательную сеть геодезическую инфраструктуру и технологию использования методов ГНСС, а Росреестр получает надежное, долговременное размещение пунктов ФАГС на гидрометеорологических пунктах наблюдений. Кроме того, Соглашением предусматривается высотная привязка реперов гидрометеорологических пунктов наблюдений при развитии Росреестром государственной нивелирной сети, вблизи этих пунктов наблюдений, а также обмен информацией на безвозмездной основе данными наблюдений об уровне моря и геодезической информацией, необходимой для выполнения работ, предусмотренных настоящим Соглашением. К примеру, Росреестр в период 2018-2019 гг. при развитии государственной нивелирной сети, осуществил высотную привязку гидрометеорологических пунктов наблюдений: Балтийск, Пионерский, Заливино (Балтийское море) и пост Таганрог (Азовское море). В период с 2018 по 2021 гг. выполнены работы по созданию и введению в эксплуатацию постоянно действующих пунктов ФАГС на гидрометеорологических пунктах Росгидромета: Амдерма, Нарьян-Мар, Диксон, Тилички, Охотск, Усть-Нера, Нырб, Уньюган, Бор, Мамакан, Баренцбург.

Размещение пунктов ФАГС на гидрометеорологических пунктах наблюдений рассматривается как первый из трех этапов создания спутниковой сети ГНСС в Росгидромете. Принципиальная схема внедрения ГНСС в Росгидромете представлена на рисунке 2 [5]. Второй этап предполагает установку на ряде гидрометеорологических пунктов наблюдений постояннодействующих станций ГНСС уже силами Росгидромета, тем самым сгущая сеть пунктов ФАГС, одновременно проводя интеграцию в единое геодезическое пространство РФ. На третьем этапе, проводятся периодические спутниковые ГНСС наблюдения на реперах гидрометеорологических пунктов наблюдений с опорой на постояннодействующие станции ГНСС Росгидромета и ФАГС Росреестра.

Речная гидрологическая сеть Росгидромета, которая насчитывает порядка 3 000 гидрологических постов, как и морская сеть, также остро нуждается в использовании ГНСС. ФГБУ «ГГИ» совместно с АО «РИРВ» в 2000 г. провел исследования г. возможностей

применения ГЛОНАСС для поддержания и развития речной высотной основы [7, 8]. Также получены положительные результаты.

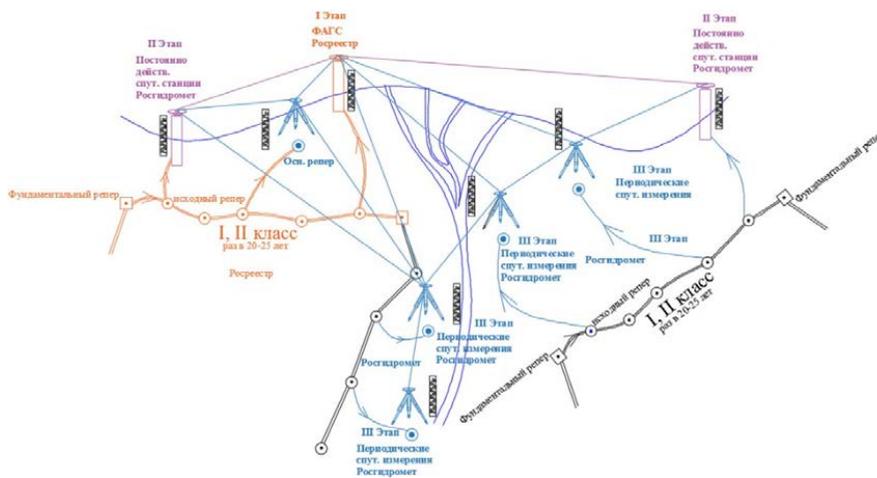


Рисунок 2 – Принципиальная схема развития спутниковой сети ГЛОНАСС на постах Росгидромета [5,6]

### Список литературы

1. Шануров Г. А. Определение высот урвненных постов спутниковым методом [Текст] Г. А. Шануров, В. З. Остроумов, В. И. Епишин / Геопрофи. - 2004. - № 4. - С. 11-17.
2. Остроумов, Л.В Региональная модель квазигеоида, предназначенная для перехода к Балтийской системе высот при спутниковой привязке урвненной сети росгидромета, расположенной на акватории финского залива [Текст] Остроумов Л.В., Остроумов В.З., Шануров Г.А. // Труды Государственного океанографического института. 2011. № 213. С. 193-204.
3. Остроумов, Л. В. Определение высот урвненных постов по данным ГНСС и модели квазигеоида в Азово-Черноморском регионе [Текст] Остроумов Л. В., Остроумов В. З. // Геопрофи, 2013, № 3, С. 57-60.
4. Наставление гидрологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. 1. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 384 с.
5. Остроумов Л.В., Остроумов М.В., Мазурова Е.М., Лапшин А.Ю. Современное геодезическое обеспечение гидрометеорологических наблюдений Росгидромета. М: Труды Государственного океанографического института. 2022. № 223. С. 280-292.
6. Остроумов Л.В., Остроумов М.В., Мазурова Е.М., Лапшин А.Ю. Современное геодезическое обеспечение гидрометеорологических наблюдений Росгидромета. С-П; Морские информационно-управляющие системы, 2022 / No. 1 (21). С.18-27.
7. Бобровицкая Н. Н., Судаков А. А., Черемисина Е. С., Шевчук С. О. Применение отечественной ГНСС-аппаратуры для высотного обеспечения гидрологических постов [Электронный ресурс] GeoTop / Режим доступа: <http://www.geotop.ru/publication/publ/3/1064>
8. Шевчук С.О., Косарев Н.С., Пономарев В.Н., Бобровицкая Н.Н., Судаков А.А. Определение высот гидрологических постов с использованием отечественной ГНСС аппаратуры. Вестник СГУГиТ, 2020, №1 (25) – С.78-95.

## **ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ ЗИМНИХ ПЛАВАНИЙ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ И В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

Бухарицин П. И.

Институт водных проблем РАН; Институт океанологии РАН, Астрахань  
*astrgo@mail.ru*

*Аннотация.* Судоходство на Нижней Волге и Каспийском море имеет давнюю историю. Уже к началу XVIII в. дельта Волги становится местом интенсивной перевалки товаров из реки в море и обратно. Мелководный участок Волги и тогда представлял собой наиболее сложную для судоходства часть Волго-Каспийского водного пути. Значительные сгонно-нагонные колебания уровня воды создавали при этом дополнительные трудности. Еще больше проблем возникало при попытках осуществления зимних плаваний, при наличии в реке и море ледяного покрова.

*Ключевые слова.* Зимняя навигация, судоходный канал, ледовая проводка, искусственный взлом льда.

## **HISTORY OF THE ORIGIN AND FORMATIONS OF THE WINTER SAILS ON LOWER VOLGA AND IN NORTH PART CASPIAN EPIDEMIC DEATHS**

Buharicin Petr Ivanovich

Buharicin Petr Ivanovich Institute of the water problems to Russian academy of the sciences;  
Institute of the ocean by to Russian academy of the sciences, Astrakhan

*Abstract.* Navigation on Lower Volga and Caspian sea has an old history. Already revenge of the intensive waddle goods becomes to beginning XVIII v. delta of the Volga from yard seaborne and back. The Shallow area of the Volga and then presented itself the most complex part for navigation Volga-Caspian waterway. The Significant fluctuations level water created herewith additional difficulties. Else more, the problems appeared at attempt of the realization of the winter sails, at presence in river and sea of the icy cover.

*Keywords.* Winter navigation, navigable channel, ice wiring, artificial breaking in ice.

Сложности судоходства послужили причиной строительства в 1878-1882 гг. Волго-Каспийского морского судоходного канала. Однако, с появлением современных, большегрузных, с большой осадкой судов канал перестал удовлетворять все возрастающим требованиям судоходства. Его совершенствование началось уже в первые годы Советской власти и продолжается до настоящего времени.

До начала 60-х годов XX в. попыток ледовых плаваний на участке Нижняя Волга – Северный Каспий не предпринималось. Рейдовые ледоколы «Волга», «Дон» работали в зимний период лишь в пределах акватории Астраханского речного порта. Морской же ледокол «Каспий» (порт приписки Махачкала) обеспечивал безопасность работы мелких тюленебойных судов в акватории Северного Каспия в период из зимнего промысла, так как утлые суденышки заходили в сплоченные дрейфующие льды, их часто затирало льдом, были случаи их гибели.

Современный Волго-Каспийский канал представляет собой искусственное продолжение одного из основных рукавов дельты Волги – Бахтемира, имеет длину около 200 км и является главной судоходной артерией, связывающей речные пути бассейна Волги с портами Каспийского моря (рисунок 1).

Появление на Каспии судов смешанного плавания типа «река-море» дало возможность значительно сократить перевалки грузов в районе Астраханского морского рейда с морских судов на речные и наоборот. Сейчас по этому водному пути следуют как Российские, так и зарубежные суда прикаспийских государств. За навигацию здесь проходят тысячи единиц флота. Значительно вырос и тоннаж судов и несудоходных плавучих объектов (буровые платформы и др.).

До конца 70-х годов XX в. сроки навигации на Нижней Волге и Северном Каспии определялись периодом с момента окончания весеннего, до окончания осеннего ледохода.

Исключение составляли рыболовецкие суда управлений «Каспрыба» и «Каспрыбхолодфлот», которые в зимние месяцы осуществляли промысел кильки в незамерзающей южной части моря. С этой целью формировались караваны судов, которые с помощью ледоколов сопровождалась из Астрахани, по каналу до кромки льдов, а обратно в Астрахань шли суда, которые возвращались с промысла.

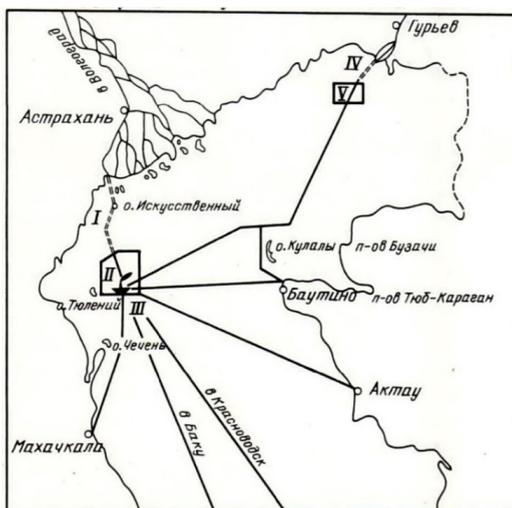


Рисунок 1 – Судоходные трассы Северного Каспия:

I – Волго-Каспийский морской судоходный канал; II – Акватория Астраханского морского рейда; III – Астраханский Приемный плавмак; IV – Урало-Каспийский канал; V – Акватория Гурьевского морского рейда [1]

Осенью, в конце навигации специализированная служба «Каспрейдморпуть» всю навигационную обстановку канала (летние навигационные буи, а также Астраханский Приемный плавмак) на зимний период снимала для ремонта и покраски. Вместо них, в морской части канала, выставлялись зимние буи, так называемые «сигары» (рисунок 2).

Однако, быстрый рост объема перевозок потребовал продления сроков навигации за счет эксплуатации флота в условиях зимнего плавания. Начиная с 1978г. Астраханское управление морского флота «Каспар», пароходство «Волготанкер» и ряд других ведомств приступили к организации экспериментальных перевозок народнохозяйственных грузов из портов Каспийского моря в Астрахань в осенне-зимних условиях. Были предприняты попытки ледокольного плавания на участке Нижней Волги от Астрахани до Волгограда.

Однако, судоводители столкнулись с серьезными проблемами. Суда, следовавшие за ледоколом, не имели ледового класса. Длина судов значительно больше длины ледокола, поэтому на крутых изгибах русла следовавшее за ледоколом судно «заклинивалось» в пробитом ледоколом канале. Застрявшее судно ледокол был вынужден выкалывать из ледяного плена, рискуя пробить льдиной тонкие борта судна. Кроме того, в излучинах реки формируются так называемые зимние зазоры (затары, сформировавшиеся из ледяного сала). Под воздействием ледокола такой затор приходил в движение, становился подвижным. Ледокол и судно в таких условиях становились неуправляемыми, что грозило аварией и даже катастрофой. У вышедших из таких ледовых объятий судов шпангоуты выпирали как ребра у исхудавшей лошади.



*Рисунок 2 – Стамуха, образовавшаяся в ложе канала. На заднем плане судно и «сигара» - зимний навигационный буй, обозначающий фарватер (фото: ФГБУ «АМП Каспийского моря»)*

С целью ускорения естественных процессов очищения низовьев Волги и судоходного канала ото льда, были предприняты попытки искусственного взлома ледяного покрова ледоколами. Предполагалось, что взломанный ледоколами лед течением будет выноситься в море, тем самым будут созданы условия для более раннего открытия навигации (рисунок 3). Однако на деле оказалось не так. Частые в этом регионе восточные, юго-восточные ветры (моряна) забивали битым льдом канал в его морской части. Лед набивался до дна в ложе канала, и был непроходимым даже для мощных ледоколов. Затея с искусственным взломом льда также провалилась.

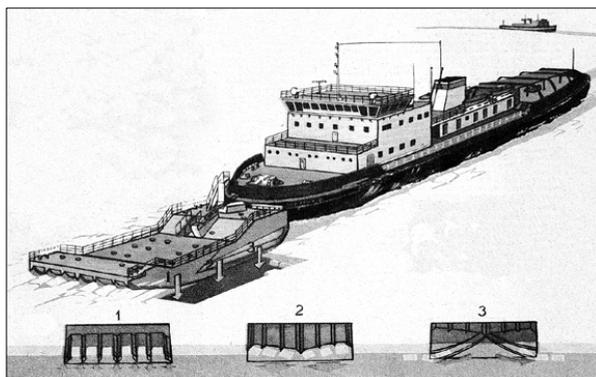
Несмотря на явные преимущества, у классических ледоколов имеется существенный недостаток. Дело в том, что проделанный ими судоходный канал обычно бывает забит обломками льда, которые довольно быстро смерзаются, и всю работу приходится начинать заново.

Принципиально новое решение предложил инженер Московского речного пароходства Г.Я. Сербул, разработавший в 1970 г. ледокольную приставку, представляющую собой перевернутую баржу, в носовой части которой находится резец. Заполненная балластом баржа, закрепленная перед лубым, достаточно мощным судном приставка раскалывала лед, подминая его обломки и разводя их под края проделанного канала во льду. В 1976 г. сотрудники Горьковского института водного транспорта создали усовершенствованную ледокольно-ледоочистительную приставку ЛЛП-18 (цифра в обозначении соответствует ширине проделываемого приставкой канала), предназначенную для работы с озерным буксиром-толкачем ОТ-2000. Испытания двух приставок (их назвали «Ледовая-1» и «Ледовая-2») на Горьковском и Куйбышевском водохранилищах оказались успешными. Судоходный канал, проложенный с помощью этих приставок был практически свободен ото льда (рисунок 4).



*Рисунок 3 – Искусственный взлом льда в ВКМСК, март 1980г. (фото автора) [3]*

В 1979 г. на Астраханском судостроительно-судоремонтном заводе им. III Интернационала, по заказу Каспийского морского пароходства была построена «Ледовая-3», а команда линейного ледокола «Капитан Измайлов» испытала новинку на трассе от Астрахани до морской части Волго-Каспийского канала. Необычный тандем уверенно шел со скоростью 12 км/ч, ломая и раздвигая ледяной покров толщиной 35-40 см.



*Рисунок 4 – Ледокольно-ледоочистительная приставка (ЛПИ-18) работающая в паре с речным ледоколом. Внизу, слева направо показана последовательность операций, выполняемых приставкой: 1 – разрезание ледяного поля резцами; 2 – продавливание льда корпусом приставки; 3 – выталкивание обломков льда под кромки канала [2]*

К сожалению, и эта передовая технология не прижилась на Нижней Волге. Спустя годы автор обнаружил брошенную приставку «Ледовая-3» на берегу, в дальнем закутке волжского затона. Дальнейшая судьба приставки неизвестна.

В 1980 г. со стапелей Астраханской судовой верфи им. С.М. Кирова было спущено на воду головное судно новой серии «Тюлень-1», предназначенного для добычи тюленей во льдах Северного Каспия. В отличие от существующих тюленебойных судов новое судно имеет усиленный «ледовый пояс», способных самостоятельно работать в сплоченных дрейфующих льдах и выдержать их натиск (рисунок 5). В последующие годы было построено более десяти таких судов.



*Рисунок 5 – Тюленебойное судно «Тюлень» на рейде порта Махачкалы (фото автора)*

В настоящее время навигационную доступность портов Астрахань и Оля в ледовых условиях, в акваториях этих портов, а также на всем протяжении Волго-Каспийского морского судоходного канала и на Астраханском морском рейде (российская часть акватории Северного Каспия) обеспечивают три линейных речных, мелкосидящих ледокола финской постройки «Капитан Букаев», «Капитан Чечкин» и «Капитан Мицайк», принадлежащих Астраханскому филиалу ФГУП «Росморпорт» (рисунок 6). Постоянно функционирует штаб ледокольных проводок в морских портах Астрахань и Оля.



*Рисунок 6 – Караван судов в Волго-Каспийском морском судоходном канале под проводкой ледокола (фото: ФГБУ «АМП Каспийского моря»)*

Сегодня с целью обеспечения безопасности мореплавания в период зимней навигации ФГБУ «Администрация морских портов Каспийского моря» проводится работа по организации ледокольных проводок караванов судов, разрабатываются планы мероприятий, регулярно собираются совещания, на которых со специалистами заинтересованных организаций обсуждаются все текущие и проблемные вопросы судоходства.

Заключение. Следует отметить, что успех зимних навигаций зависит не только от того, как технически и теоретически готовы все службы и участники транспортного процесса к работе в суровых условиях, но и как налажено сотрудничество и координация задействованных в процессе людей, профессионалов отрасли, знатоков своего дела. Именно от них в большей степени полностью зависит бесперебойная работа морского транспорта на сложном судоходном участке Нижняя Волга - Северный Каспий.

### Список литературы

1. Бухарицин П.И. Гидрометеорологическое обеспечение морских отраслей народного хозяйства на Северном Каспии и Нижней Волге // Брошюра ВДНХ СССР, Павильон "Гидрометеорология и контроль природной среды". - М.: Гидрометеиздат, 1983. - 8 с.
2. Бухарицин П.И. В любое время года // Техника молодежи. - 1984. - №10. - С. 34-35.
3. Бухарицин П.И. Дрейфующие льды, торосы и стамухи Каспийского моря. Результаты исследования ледового режима замерзающей северной части Каспийского моря в изменяющихся природных условиях // Монография. Издательство palmarium Academic Publishing 2021. 320 с.

### ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СУХУМСКОЙ БУХТЫ

Гицба Я.В.

Абхазский государственный университет, г. Сухум  
Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум  
Yana\_akya@mail.ru

*Аннотация.* Исследование структур гидрохимических полей в современный период является важной задачей химии вод Черного моря. Необходимо, следовательно, изучить и распределение растворенного кислорода, и поля концентраций ионов водорода, характеризуемых величиной водородного показателя (рН), как параметров, характеризующих качество вод акватории Сухумской бухты.

*Ключевые слова.* Концентрация кислорода, качество воды, соленость, Сухумская бухта, коэффициент корреляции, водородный показатель.

### STUDY OF THE TEMPORAL PARAMETERS OF THE HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF THE COASTAL WATERS OF THE SUKHUMI BAY

Gitsba Ya. V.

Abkhaz State University, Sukhum  
Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum

*Annotation.* The study of the structures of hydrochemical fields in the modern period is an important task of the chemistry of the Black Sea waters. Therefore, it is necessary to study both the distribution of dissolved oxygen and the concentration fields of hydrogen ions, characterized by the value of the pH value (pH), as parameters characterizing the quality of the waters of the water area of the Sukhumi Bay.

*Keywords.* Oxygen concentration, salinity, Sukhumi Bay, correlation coefficient, pH value.

Индекс кислотности является одним из важнейших показателей химического состава морской воды, меняющегося с увеличением парциального давления углекислого газа в атмосфере. Из-за антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу происходит уменьшение рН в морской воде. Оно отражает увеличение кислотности воды вследствие поглощения ею части избыточного атмосферного CO<sub>2</sub>. Поглощение углекислого газа (увеличение концентрации CO<sub>2</sub>) приводит к уменьшению величины рН верхнего (деятельного) слоя вод [1].

Среднее многолетнее значение рН в акватории Сухумской бухты за период 1998-2022 гг. составляет 8,26 мг/л. Повышенные значения рН наблюдаются в теплый период времени, с максимальным значением осенью (8,34) при переходе к зимне-весеннему периоду рН поверхностных вод снижается, и минимальные значения достигаются зимой (8,18). Такая сезонная динамика рН согласуется с сезонными изменениями факторов формирования рН. Наибольшее среднеемесячное значение рН наблюдается в сентябре и составляет 8,4, наименьшее – в феврале (8,08) (таблица 1).

Таблица 1 – Среднемесячное распределение гидрохимических параметров в акватории Сухумской бухты 1998-2022 гг.

Месяц	Темпер. °С	pH	Раств. кислород мгО <sub>2</sub> /л	Насыщ Кислор. %	соленос ть	БПК мгО <sub>2</sub> /л	Перман. окисл. мгО <sub>2</sub> /л
I	9,8	8,22	9,78	91,6	14,9	1,50	1,34
II	9,02	8,08	10,74	99,0	13,5	1,73	1,85
III	9,65	8,27	10,51	103,6	13,9	1,45	1,88
IV	12,08	8,19	10,10	105,5	12,50	2,05	1,89
V	16,95	8,33	10,44	106,1	13,13	1,89	2,02
VI	22,04	8,16	9,45	111,4	13,10	2,02	1,82
VII	25,56	8,30	8,03	97,9	14,23	1,82	1,68
VIII	26,68	8,26	7,64	96,7	16,67	2,00	1,81
IX	24,59	8,40	8,62	105,5	15,80	1,42	2,01
X	20,7	8,30	9,32	105,3	15,40	1,58	1,9
XI	16,33	8,33	9,23	101,8	16,00	2,24	1,92
XII	12,7	8,24	9,43	99,2	16,28	1,78	2,2

Температура воды – важнейший фактор, влияющий на протекающие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процессы, от которых в значительной мере зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Значения температуры используют для вычисления степени насыщения воды кислородом, различных форм щелочности, состояния карбонатно-кальциевой системы, при многих гидрохимических, гидробиологических, исследованиях и при изучении тепловых загрязнений [2]. В акватории Сухумской бухты температура поверхностного слоя морской воды достигает минимального значения в феврале, среднемесячное значение которого за 1998-2022 гг. составляет 9,02°С, максимальное – в августе (26,68 °С). Такая картина распределения полей температуры характерна и для всей юго-восточной части Черного моря.

Растворенный в морской воде кислород является одним из важнейших гидрохимических показателей состояния среды. Он обеспечивает существование водных организмов и определяет интенсивность окислительных процессов в морях и океанах. Кислород постоянно присутствует в растворенном виде в поверхностных водах. Содержание растворенного кислорода в воде характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния. Кислород должен содержаться в воде (не менее 4мг/л) в достаточном количестве, обеспечивая условия для дыхания гидробионтов [3].

Максимальное среднемесячное значение концентрации растворенного кислорода в феврале (10,74 мг/л) (см. таблицу 1) объясняется наименьшим среднемесячным значением температуры морской воды в этом месяце. Коэффициент корреляции между среднемесячными значениями концентрации растворенного кислорода и температурой морской воды ( $r=-0,85$ ) говорит о тесной связи между данными параметрами. В летний сезон коэффициент корреляции между содержанием РК и температурой морской воды имеет наибольшее значение ( $r=-0,97$ ), что говорит о существенном влиянии температуры воды на концентрацию РК в данный период времени. В весенний период динамика вертикального перемещения вод увеличивается, и содержание кислорода по глубине выравнивается, вследствие чего влияния температуры на концентрацию РК не обнаруживается ( $r=-0,10$ ). В зимний и весенний период также обнаруживается тесная связь между данными параметрами ( $r=-0,83$ ,  $r=-0,78$  соответственно) [4]. Многолетняя средняя концентрация растворенного

кислорода в прибрежных поверхностных водах акватории Сухумской бухты составляет 9,44 мг/л.

Повышение концентрации органического вещества в морской воде приводит к усилению биохимической потребности кислорода. Наибольшая среднемесячная величина БПК<sub>5</sub> для поверхностного слоя в период 1998-2022 гг. составляет 2,24 мг/л и наблюдается в ноябре, наименьшее значение – в январе (1,5 мг/л). Значения БПК<sub>5</sub> в поверхностных водах морской акватории Сухума имеют тенденцию к повышению в летний период (1,98 мг/л), обусловленное поступлением в воду некоторой части органического вещества, фотосинтезируемые фитопланктоном и повышенным значением температуры в этот период и тенденцию понижения – в зимний период (1,69 мг/л). Следует отметить, что среднемесячные значения БПК<sub>5</sub> не превышают предельно допустимой нормы, если не брать во внимание отдельные случаи, когда значения БПК<sub>5</sub> колебались в пределах от 3,12 мг/л до 3,52 мг/л и носили эпизодический характер. Превышение ПДК биохимической потребности кислорода наблюдались, в основном, в теплый период времени в п. Диоскурия, расположенном в центральной, наиболее загруженной части акватории бухты. Полученные в ходе исследования данные позволяют установить связь между среднемесячным изменением величины БПК<sub>5</sub> с интенсивностью фотосинтеза фитопланктона [4].

От начала зимы к весне в прибрежной юго-восточной акватории Черного моря отмечается постоянное снижение солёности вод с минимумом в мае, когда проходит в среднем пик паводка. Важно учесть, что речной сток оказывает в первую очередь влияние на солёность прибрежных вод, в то время как другие факторы в основном определяют распределение солёности по морю. В период июнь-сентябрь отмечается уменьшение объема стока рек и повышение солесодержания в водах прибрежной акватории [5].

Из сезонного распределения солёности в акватории Сухумской бухты следует, что в весенний период наблюдается наименьшее значение солёности (13,3‰) с минимальным значением в мае (12,5‰), что связано с максимальным количеством поступающего в море поверхностного и речного стока (рисунок 1). Наибольшее значение солёности наблюдается в августе (16,67‰), что объясняется повышением интенсивности испарения и уменьшением количества речного стока.

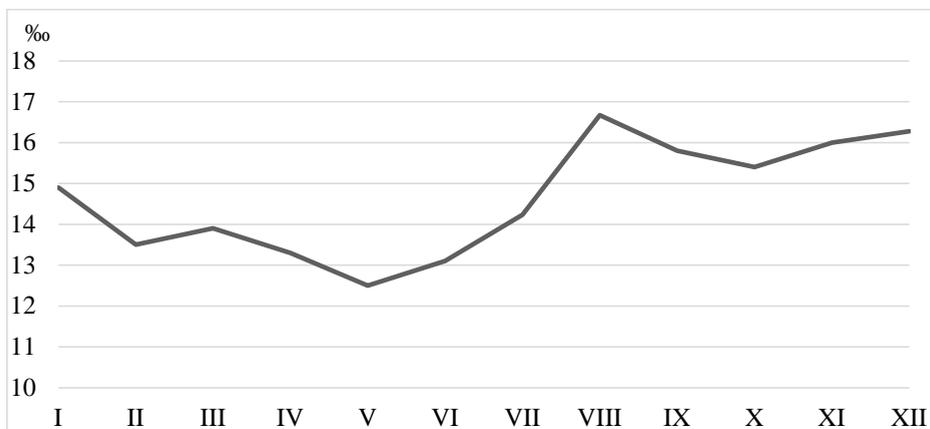


Рисунок 1 – Среднемесячное распределение солёности за 1998-2022 гг.

Наибольшее среднесезонное значение солёности наблюдается в осенний период (15,7 ‰), так как значительно уменьшаются количество речного и поверхностного стока, следствием чего является повышение солесодержание в прибрежных водах акватории бухты. Из многолетнего распределения солёности в акватории Сухумской бухты следует тенденция

ее повышения на 2,56%. Данное повышение находится в пределах сезонной изменчивости и не может повлиять на термохалинную структуру моря [5].

При повышении температуры воды солесодержание в морской воде должно увеличиться за счет интенсивного испарения. Положительная корреляционная связь колеблется в пределах от 0,64 до 0,99 и наблюдается в следующие месяцы: январь, февраль, июнь, август, ноябрь, декабрь [6]. Установлена линейная зависимость между количеством осадков и среднемесячными значениями солёности, коэффициент корреляции которой оказался равным  $r=-0,56$ . Из уравнения тренда  $S=-0,001Q+16,70$  следует, что при повышении количества осадков значение солёности уменьшается [6].

Для определения тенденции солесодержания проведено сравнение среднемесячных значений за 1998-2022 гг. с предыдущим 1960-1985 гг. периодом (рисунок 2).

Из сравнительного анализа среднемесячного распределения солёности следует, что уменьшение значения данного параметра наблюдается во все месяцы, за исключением августа. В августе за последний период времени наблюдается тенденция повышения температуры морской воды (1,8 °C), что приводит к интенсификации процесса испарения и уменьшения количества поверхностного стока. Наибольшее снижение значения солёности характерно для октября (1,8 ‰), что объясняется наибольшим количеством осадков в этот период времени.

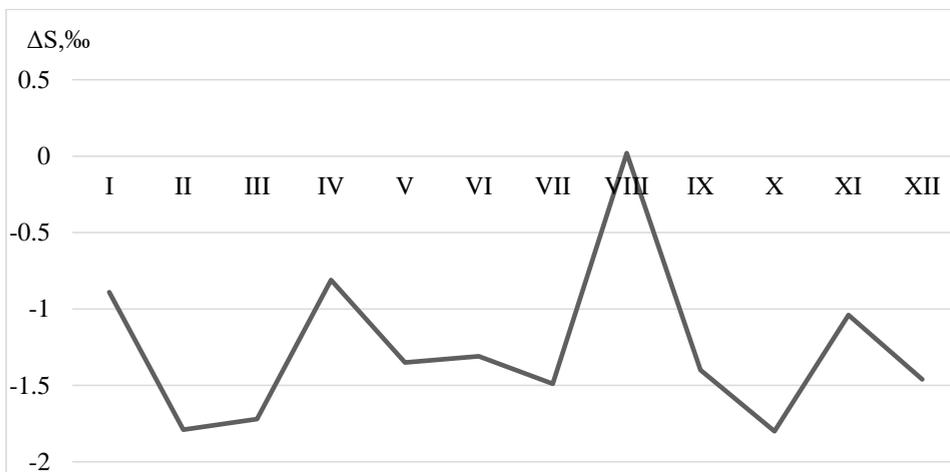


Рисунок 2 - Сравнение среднемесячных значений солёности за 1998-2022 гг. с предыдущим 1960-1985 гг. периодом

Гидрохимические показатели дают более точную, количественную информацию о качестве воды в водном объекте. Знание химического состава воды (определяющего ее качество) необходимо для областей практической деятельности, как водоснабжение, орошение, рыбное хозяйство. В свою очередь гидрохимические сведения важны и для оценки коррозии строительных материалов (бетон, металлы). Изучение химического состава воды приобретает громадное значение при борьбе с загрязнением водоемов сточными водами.

#### Список литературы

1. Руководство по методам химического анализа морских вод. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 204 с.
2. Наставление по гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – Вып. 9. – ч. 1. – 312 с.

3. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М: Химия, 1974. -336 с.
4. Дбар Р.С., Гицба Я.В., Эжба Я.А. Термический режим поверхностного слоя вод и окислительные процессы в прибрежной зоне сухумской акватории Черного моря., 2018 г. Наука Юга России. 2018 Т. 14 № 4 С. 53–60.
5. Гицба Я.В., Эжба Я.А. Гидрофизические процессы в Абхазской акватории Черного моря. Доклады российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Выпуск X. Москва, 2019. С. 237-242.
6. Гицба Я.В., Эжба Я.А. Термохалинная структура абхазской акватории Черного моря. Материалы XII Международного симпозиума «Проблемы экоинформатики» МНТОРЭС им. А.С. Попова. Москва, 2016. С.115-120.

## **МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЧАСТКА РАЗДЕЛЕНИЯ РЕКИ ПРЕГОЛИ НА УСТЬЕВЫЕ РУКАВА**

Гмыря Е. И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград

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

*gmyryaefim@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе представлены результаты эхолотной съемки рельефа дна реки Преголи (в районе г. Гвардейск, Калининградская область), а именно участка, где она разделяется на два устьевых рукава – Нижнюю Преголю и Дейму. Была построена батиметрическая карта данной местности, проведен анализ полученных данных, описаны особенности рельефа дна на участке разделения и для прилегающих к разделению трех исследуемых водотоков.

*Ключевые слова.* Река Преголя, рукав Дейма, поперечное сечение, эхолотная съемка, батиметрическая модель.

## **MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE SECTION OF THE PREGOLA RIVER INTO ESTUARIAL BRANCHES**

E. I. Gmyrya<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*Annotation.* This work presents the results of an echo sounder survey of the bottom relief of the Pregolya River (near Gvardeysk, Kaliningrad Region), namely the area where it is divided into two estuarial branches - the Nizhnyaya Pregolya and the Deyma. A bathymetric map of the area was made, the data obtained were analyzed, and the features of the bottom topography in the separation area and for the three watercourses under study adjacent to the separation were described.

*Keywords.* Pregolya River, Deyma branch, cross-section, echo sounding survey, bathymetric model.

Река Преголя - крупнейшая река Калининградской области, которая образуется слиянием рек Инструч и Анграпа [1]. Она разделяется на два устьевых рукава - Нижнюю Преголю и Дейму в городе Гвардейске [2, 3]. Нижняя Преголя отводит 60 % объема вод от общего стока; течет на запад и в итоге впадает в Калининградский залив. Рукав Дейма отводит 40 % объема вод от общего стока; течет на север, и в итоге впадает в Куршский залив [2].

На участке разделения реки Преголи на два устьевых рукава – Нижнюю Преголю и Дейму 08.10.2022 (с 07:40 до 09:45) была проведена эхолотная съемка рельефа дна с использованием однолучевого эхолота с GPS привязкой (Garmin GPSmap 421s). Основным методом проведения измерений – метод поперечных створов. На каждом из рукавов было выполнено по шесть поперечных створов (с интервалом 100-250 м друг от друга): река

Преголя – Т3а, Т3а\_1, Т3а\_2, Т3а\_3, Т3а\_4, Т3а\_5; рукав Дейма – Т3б\_1, Т3б\_2, Т3б, Т3б\_3, Т3б\_4, Т3б\_5; рукав Нижняя Преголя – Т3\_1, Т3\_2, Т3\_3, Т3\_4, Т3, Т3\_5 (рис. 1а).

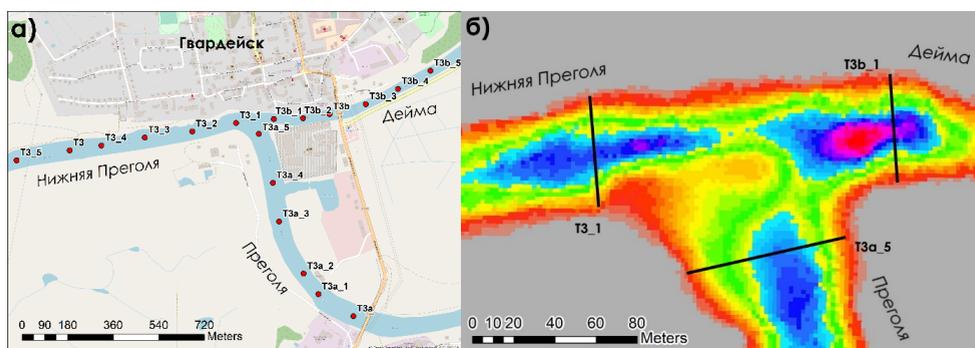
Для построения детальной батиметрической карты района разделения реки Преголи на два рукава было снято более 300 промерных точек. Погрешность измерений составляет  $\pm 10$  см в связи с возможной качкой судна. Погрешность в определении ширины русла составляет 1–3 м, в зависимости от крутизны берега реки (исследовательское судно не могло подойти к берегу вплотную). Время проведения промеров было мало по сравнению с возможными колебаниями уровня воды, поэтому данный фактор не вносил значительной погрешности в данные.

Батиметрическая модель участка разделения Преголи на устьевые рукава (рис. 1б) показала неоднородность рельефа дна исследуемой акватории. В точке разделения присутствует депрессия, как это обычно бывает в точках слияния притоков или разветвления основного русла. Её однородность нарушена наличием подводного порога, частично перегораживающего подходящее русло реки Преголи и выклинивающегося к середине депрессии. Депрессия в большей своей части имеет глубины порядка 4,5 м, в то время как в трёх соединяющихся рукавах глубины составляют  $2 \div 2,5$  м. Из-за наличия порога форма депрессии слегка асимметрична, максимальная глубина зафиксирована близ истока Деймы и составляет – 4,6 м.

По данным о поперечных сечениях Т3а\_5, Т3\_1 и Т3б\_1 (табл. 1, рис. 1б), которые являются самыми близкими к участку разделения Преголи на устьевые рукава: подходящий рукав Преголи имеет уширение (до 69 м), рукав Дейма – самый узкий (36 м) и глубокий (3,6 м), глубины рукавов фактически сравнимы. Соотношение площади створа питающей реки Преголи (Т3а\_5) к площади створа рукава Нижней Преголи (Т3\_1) – 1,9; к площади створа рукава Деймы (Т3б\_1) – 1,6. В сумме площади створов отходящих рукавов Нижняя Преголя и Дейма близки к площади подходящего русла Преголи (табл. 1).

*Таблица 1 – Характеристики поперечных створов участка разделения реки Преголи*

№ створа	Название водотока	Ширина, м	Макс. глубина, м	Площадь, м <sup>2</sup>	Смоченный периметр, м
Т3а_5	Преголя	69	3,0	135	70
Т3_1	Нижняя Преголя	48	3,1	71	49
Т3б_1	Дейма	36	3,6	81	37



*Рисунок 1 – точки съёмки поперечных профилей на водотоках Преголи, Нижней Преголи и Деймы (а); батиметрическая модель участка разделения реки Преголи (б)*

Максимальные глубины поперечных сечений приходящего русла реки Преголи (табл. 2) варьируются от 2,7 до 4 м, площади варьируются от 136 до 146 м<sup>2</sup>. Среднее значение ширины поперечных сечений русла Преголи – 61 м; смоченных периметров – 62 м. Полученные характеристики створов исследуемого участка русла Преголи варьируются в

малых диапазонах – тенденция к сужению или расширению русла реки в каком-либо направлении не наблюдается.

Таблица 2 – Характеристики поперечных створов реки Преголи, Нижней Преголи и Деймы: диапазон (среднее значение)

Название водотока	Ширина, м	Макс. глубина, м	Площадь, м <sup>2</sup>	Смоченный периметр, м
Преголя	51 ÷ 72 (61)	2,7 ÷ 4,0 (3,5)	136 ÷ 146 (141)	53 ÷ 73 (62)
Нижняя Преголя	55 ÷ 71 (63)	1,4 ÷ 1,8 (1,7)	67 ÷ 80 (73)	56 ÷ 72 (64)
Дейма	37 ÷ 44 (41)	2,2 ÷ 2,4 (2,2)	62 ÷ 74 (68)	38 ÷ 45 (42)

Максимальные глубины поперечных сечений, выполненных на рукаве Нижняя Преголя (табл. 2), варьируются от 1,4 до 1,8 м, площади варьируются от 70 до 80 м<sup>2</sup>. Среднее значение ширины поперечных сечений русла Нижней Преголи – 63 м; смоченных периметров – 64 м. Полученные характеристики створов исследуемого участка русла Преголи варьируются в малых диапазонах – тенденция к сужению или расширению русла реки в каком-либо направлении не наблюдается. Исследуемый участок русла Нижней Преголи обладает наименьшей однородностью и симметрией профилей поперечных сечений по отношению к исследуемым участкам приходящей Преголи и Деймы.

Поперечные сечения, выполненные на рукаве Дейме (табл. 2), практически равны по своим максимальным глубинам, которые варьируются от 2,2 до 2,4 м; площади варьируются от 62 до 74 м<sup>2</sup>. Среднее значение ширины поперечных сечений русла Деймы – 41 м; смоченных периметров – 42 м. Полученные характеристики створов исследуемого участка русла Преголи варьируются в малых диапазонах – тенденция к сужению или расширению русла реки в каком-либо направлении не наблюдается.

На участке разделения Преголи на устьевые рукава имеется депрессия до 4,6 м глубиной при глубинах в подходящих рукавах 2 ÷ 2,5 м. Подводный порог, расположенный внутри депрессии и перегораживающий подходящее русло Преголи, предположительно является выступом коренных пород, а не аккумулятивным телом, так как течение Нижней Преголи не способствует намыву рыхлых пород в данном месте.

Анализ поперечных створов русла Преголи показал, что исследуемый участок обладает наименьшей однородностью и симметрией относительно центра русла среди всех водотоков. Площади сечений варьируются в пределах 7 %. Максимальные глубины всех поперечных сечений тяготеют к левому берегу, что скорее всего связано с поворотом русла и инерцией потока, который прижимается к левому берегу.

Форма поперечных сечений рукава Нижняя Преголя изменяются по мере удаления от точки разделения Преголи на рукава: ТЗ\_2 и ТЗ\_3 относительно симметричны, максимальные глубины на профилях ТЗ\_4 и ТЗ\_5 тяготеют к левому берегу, а на профиле ТЗ\_5 - тяготеет к правому берегу. Площади сечений варьируются в пределах 18 %.

Русло Деймы относительно симметрично по всей длине исследуемого участка; явных отклонений от симметрии строения профиля не наблюдается. Площади сечений варьируются в пределах 18 %.

Работа проведена при поддержке госзадания Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Автор выражает благодарность Чубаренко Борису Валентиновичу, к.ф.м.н., зав. лаб. прибрежных систем, Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН за помощь в обработке и анализе данных.

### Список литературы

1. Нечай. И. Я., Силич М. В., Яблонская Т. Гидрография территории бассейна залива // Гидрометеорологический режим Вислинского залива. / Под ред. Н.Н. Лазаренко, А Маевского. Л.: Гидрометиздат, 1971. 10–13.

2. Маркова Л.Л., Нечай И.Я. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи // Тр. ГОИН. 1960. Вып. 49. С. 118–187.
3. Боскачёв Р.В., Чубаренко Б.В. Анализ изменчивости гидрологических характеристик на устьевом участке реки Преголи (юго-восточная Балтика) // Гидрометеорология и экология. 2022. Вып. 69. С. 644–674.

## НАТУРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОД КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА ВВЕРХ ПО РЕКЕ ПРЕГОЛЕ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)

Двоеглазова Н.В.<sup>1,2</sup>, Чубаренко Б.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград  
nadya2eyes@mail.ru

*Аннотация.* По результатам натуральных измерений осенью 2022 г. удалось зафиксировать вторжение вод из приёмного водоёма (Калининградского залива) на 17 км вглубь устьевое участка реки Преголи (г. Калининград), выявить структуру для двух характерных ситуаций смешения речных вод с солоноватыми водами залива: с размытой (слабая вертикальная стратификация водной толщи) и с чёткой (сильная вертикальная стратификация) фронтальной границей между солоноватыми и пресными водами. По выполненной оценке размеров и мощности затока отмечена необходимость расширения сети станций мониторинга, т.к. придонная граница фронтального раздела между пресными и солоноватыми водами находилась за пределами области мониторинга во время всех четырёх обследований.

*Ключевые слова.* Интрузии солоноватых вод, гидрологические свойства, эстуарии, натурные данные, инструментальные измерения, CTD-зондирование, река Преголя, Калининградский залив, Юго-Восточная Балтика

## FIELD STUDY OF WATER PENETRATION OF THE VISTULA LAGOON UP THE PREGOLYA RIVER (SOUTH-EAST BALTIC)

Dvoeglazova N.V.<sup>1,2</sup>, Chubarenko B.V.

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

<sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*Annotation.* Based on the results of field measurements in the autumn of 2022, it was possible to record a strong intrusion of water from the receiving reservoir (Vistula Lagoon) to the estuary of the Pregolya River (Kaliningrad) on the distance of 17 km, and to identify the structure of two typical situations during the mixing of the river waters with the brackish waters of the bay: with a gradual (weak vertical stratification of the water column) and with a sharp (strong vertical stratification) frontal boundary between the brackish and fresh waters. According to the assessment of the size and power of the salwedge, the necessity to expand the network of monitoring stations was noted since the bottom frontal boundary between fresh and brackish waters was outside the monitoring area during all four surveys.

*Keywords.* brackish water intrusions/saltwater intrusion, hydrological properties, estuary, natural data, instrumental measurements, CTD-probing, Pregolya river, Vistula lagoon, South-East Baltic

Проникновения вод из слабосолёных приёмных водоёмов (4,5 – 11‰) в непривливаемые реки (<0,5‰) характеризуются расстояниями 10 км (р. Кубань), 28 км (р. Западная Двина), 45 км (р. Лиелупе) [1, 2]. Устьевая зона смешения [3] реки Преголи (г. Калининград) именно в осенний период продолжительных нагонных явлений находится в большей степени под влиянием приёмного водоема (2-5‰) – Калининградского залива [4]. В периоды сильных и продолжительных нагонных явлений наличие соленостного клина наблюдалось в центре городского участка, причём его верхняя граница (1‰) в придонном слое проникала ещё выше по реке [5; 6; 7]. В 2012 г. максимальная дальность затока (от устья), зафиксированная

натурными наблюдениями, составляла 17 км [7]. Согласно модельным расчетам [8] в условиях сильного нагонного ветра, подъёма уровня воды и уменьшения речного стока солоноватые воды могут проникнуть вверх по реке и на 20 км от устья, захватывая точку расположения одного из водозаборов системы водоснабжения г. Калининграда (17 км от устья). Поэтому, для натуральных наблюдений с целью отслеживания гидрологических процессов во время наиболее сильного проникновения солоноватых заливных вод, был выбран именно осенний период.

В период с 11 октября по 2 декабря 2022 г. работы по определению гидрологических условий на устьевом участке реки Преголи проводились на сети мониторинговых станций АОИОРАН (рисунок 1а) с периодичностью один раз в две недели (всего 4 обследования). Протяженность района проведения работ - 17 км (устье реки Преголя – Берлинский мост в г. Калининграде), количество станций – 13 шт. Измерения осуществлялись прибором Ocean Seven 316Plus Multiparameter Probe (рисунок 1б) в режиме вертикальных STD-зондирований с борта маломерного плавсредства после полной его остановки. Измерение глубин проводилось относительно текущего уровня моря.

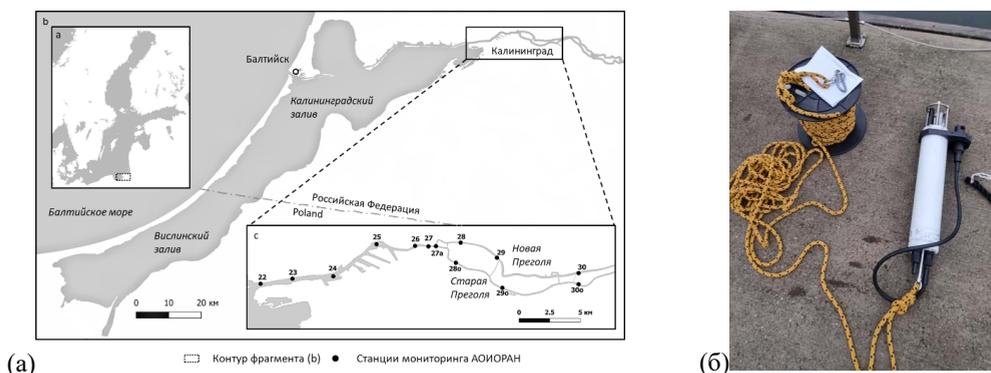


Рисунок 1 – Схема станций мониторинга АОИОРАН в пределах устьевой зоны смешения от устья рукава Нижняя Преголя (ст. 22) до Берлинского моста через протоки Новая Преголя и Старая Преголя (а), прибор Ocean Seven 316Plus Multiparameter Probe, которым выполнялись измерения (б)

В период проведения натуральных наблюдений проникновение солоноватых вод от устья реки Преголи до водозабора ЮВС-2 (ст. 30о, расстояние 17 км) наблюдалось во всех четырёх обследованиях (11 и 27 октября, 14 и 29 ноября 2022 г.). Наиболее дальнее проникновение изогалины 1‰ в подповерхностном горизонте удалось зафиксировать 14 ноября 2022 г. (рисунок 2а) между станциями 29о-30о. Вся водная толща ниже по течению от этих станций находилась под влиянием солоноватых вод. На самой удаленной от устья станции (30о) толщина солёностного клина составила 1,4 м. Наибольшие значения солёности на дне на станции 30о получены 29 ноября 2022 г. (до 4,1‰), при этом резкий вертикальный градиент от 0,3 до 4,1‰ был локализован на глубинах 3,2–3,7 м (мощность слоя 0,3–0,5 м, рисунок 2б).

Расположение изогалины 1‰ в подповерхностном горизонте отмечено в районе портовых акваторий (между станциями 25-26). Исходя из данных, полученных на станциях 30 и 30о можно утверждать, что протяжённость фронтальной подзоны [3], составила порядка 17 км по протоку Старой Преголи и 13 км по протоку Новой Преголи, но точное положение внутренней её границы не установлено, т. к. у дна последних станции (30 и 30о) всё ещё наблюдалась солёность >1‰. Меньшее продвижение клина солоноватых вод по протоку Новой Преголи обусловлено традиционно более сильными течениями реки в этом протоке.

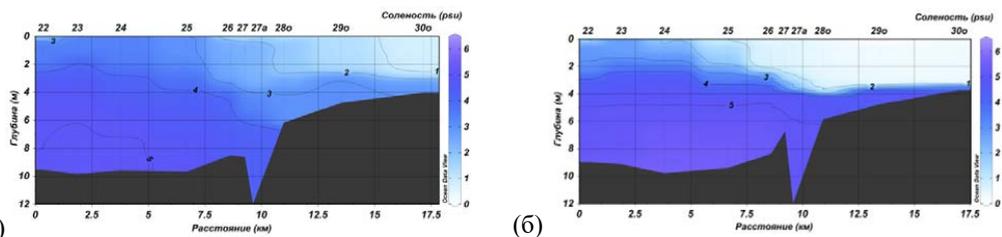


Рисунок 2 – Вертикальные разрезы в поле солёности для устьевой зоны смещения от устья рукава Нижняя Преголя (ст. 22) до Берлинского моста (по протоке Нижней Преголи) 14 ноября (а) и 29 ноября (б) 2022 г.

В полученных натуральных данных выделяются две характерные ситуации: первая - с размытой, и вторая - с чёткой фронтальной границей между солоноватыми и пресными речными водами. Первая, с более слабой вертикальной стратификацией водной толщи, наблюдалась 11 октября и 14 ноября 2022 г. (рисунок 2а). В обоих случаях измерениям предшествовали ветры юго-западных румбов. Ветер западных румбов (порывы - до 9 м/с) 11 октября 2022 г. вовлекли водную толщу в процесс перемешивания, уменьшив вертикальные градиенты. Для 14 ноября 2022 г. условия были схожи (ветер был на 2 дня раньше, а в день проведения измерений наблюдался слабый ветер юго-восточных румбов).

Вторая ситуация, 27 октября и 29 ноября 2022 г. (рисунок 2б) иллюстрирует случай пологого солоноватого клина (с резко очерченной фронтальной границей между солоноватыми и пресными водами), обеспечивающего проникновение солоноватых вод глубоко вверх по реке. Установившийся и продолжающийся в течение недели (с 20 по 29 ноября 2022 г.) восточный-юго-восточный ветер, усилив сток реки, спровоцировал придонный «интрузионный противозаток», движущийся вверх по течению реки (влияние эжекторного эффекта на нижние слои воды) [6]. На уровне же верхних 3-х метров солёность (0,3‰) на момент измерений соответствовала значениям пресной речной воды. Воздействия ветра со скоростью менее 3 м/с (20-29 ноября 2022 г.) не хватило для перемешивания всей толщи и вовлечения придонного слоя. Кроме того, ослабление действия ветра (в течение 10-ти дней с 19 ноября после продолжительных нагонов) обеспечило активизацию стока реки и оттеснение границы фронтальной подзоны вниз по реке (в верхних слоях).

С помощью проведённых натуральных измерений удалось зафиксировать глубокое вторжение вод из приёмного водоёма в устьевой участок реки Преголи, выявить структуру для двух характерных ситуаций смешения речных вод с солоноватыми водами залива. Этот результат наглядно продемонстрировал необходимость расширения сети станций мониторинга, т.к. клин солоноватых вод для всех четырёх обследований находилась выше по течению, чем последняя станция мониторинга, развёрнутой в 90-х годах прошлого века [5; 6]. Можно ожидать, что условия на эстуарном участке реки Преголи значительно изменились с того времени, и сейчас солёностный клин проникает существенно глубже в устьевой участок, чем это было ранее.

Сбор, анализ и интерпретация натуральных данных выполнялись за счет госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2021-0012). Автор благодарен мл. науч. сотр. лаб. прибрежных систем АО ИО РАН, канд. геогр. наук А.В. Килесо за помощь в проведении натуральных наблюдений.

### Список литературы

1. Поваляшишникова Е.Д. Причины проникновения морских вод в реки и его экологические последствия. 2001. Вестник Московского университета. 5 (3). С. 20-28.
2. Михайлова М.В. Процессы проникновения морских вод в устья рек // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 5. – С. 439. – DOI 10.7868/S0321059613050052. – EDN QYXJGV.
3. Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В. Основы гидрологии устьев рек / Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический

факультет. – Москва: ООО "Издательство ТРИУМФ", 2018. – 314 с. – ISBN 978-5-89392-818-1. – EDN LWFRFT.

4. Маркова Л.Л., Нечай И.Я. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи. // Труды ГОИН. - Вып.49.- М., 1960.-С.118-157

5. Чубаренко Б.В., Шкуренко В.И. Особенности гидрологической структуры вод в эстуарии реки Преголи и в точке стоянки НИС «Витязь» // Экологические проблемы Калининградской области и юго-восточной Балтики. Калининград. КГУ. 1999. С.41-47

6. Чубаренко Б.В., Шкуренко В.И. Физические механизмы проникновения солёных вод вверх по реке Преголе с учётом влияния рельефа дна. // Физические проблемы экологии (экологическая физика) № 7. 2001. С. 80-88.

7. Домнин Д.А., Пилипчук В.А., Карманов К.В. Формирование затока солоноватых вод в лагунно-эстуарной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // Естественные и технические науки. 2013. № 6. С. 206–211.

8. Домнин Д.А., Соколов А.Н. Особенности и закономерности затока солоноватых масс в лагунно-эстуарной системе Калининградский залив – Преголя – Куршский залив посредством данных контактных измерений и моделирования. //Известия КГТУ – 2014-№35. С.11-20.

## **ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЫХОЛАЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

Коробченкова К.Д.<sup>1</sup>, Куприянова А.Е.<sup>1,2</sup>, Килесо А.В.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

*korobchenkova14@mail.ru, kupriyanova\_ae@mail.ru, aleksandr.kilesa@gmail.com*

*Аннотация.* На примере массива данных за 2016 г. с термоксы анализируется изменчивость поверхностной температуры морской воды и воздуха для выявления периодов благоприятных для развития конвективных процессов.

*Ключевые слова.* Выхолаживание прибрежных вод, сезонная конвекция, градиенты плотности, термоксы, Балтийское море.

## **HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF COOLING SURFACE WATER IN THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BALTIC SEA**

Korobchenkova K.D.<sup>1</sup>, Kupriyanova A.E.<sup>1,2</sup>, Kilesa A.V.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*Annotation.* The time series of the sea surface temperature and surface air temperature for 2016 is analyzed to identify periods favorable for the development of convective processes based on thermistor chain observations.

*Keywords.* Cooling of coastal waters, seasonal convection, density gradient, thermistor chain, the Baltic Sea.

Хорошо известно, что сезонная конвекция играет важную роль в тепло- и газообменах через поверхностный слой моря и поэтому детальное исследование данного процесса на базе большого массива натуральных данных по-прежнему актуально [1-3]. Для Балтийского моря, с его широтной протяженностью и обширным мелководьем, исследование процесса сезонного выхолаживания, активно влияющего на формирование термохалинной структуры его вод и геоэкологическое состояние поверхностного слоя моря, особенно важно. Несмотря на значительную историю изучения конвективных процессов в Балтике прямых инструментальных измерений изменчивости термической структуры моря не так уж и много.

Цель данной работы заключалась в исследовании процесса возникновения вертикальной конвекции при осенне-зимнем выхолаживании поверхностного слоя воды в юго-восточной части Балтийского моря.

В качестве исходного материала при исследовании использовались данные контактных измерений с термокосты за период с 2015 по 2020 гг., расположенной на нефтяной платформе D6 (юго-восточная часть Балтийского моря на территории РФ) в 22,5 км от берега Куршской косы [4]. Рассмотрены временные ряды температуры приводного воздуха (на высоте 1 м от поверхности воды), а также температуры воды на горизонтах 1 и 3 м от поверхности, временная дискретность составила 1 минуту.

На первом этапе, направленном на отработку методики исследования, был выполнен предварительный качественный анализ данных за 2016 г. Данный год характеризуется достаточно теплой осенью и зимой. Минимальная температура приводного слоя воздуха наблюдалась только в начале января и составила  $-7.3^{\circ}\text{C}$ , начиная с февраля отрицательных температур не зафиксировано. Выявление временных периодов, для которых характерны условия благоприятные для возникновения конвективных процессов в поверхностном слое моря, основано на оценке разницы между температурой воды на горизонтах 1 и 3 м. Максимальная разница по температуре между слоями воды наблюдалась во второй половине января (рисунок 1а) и октября (рисунок 1б).

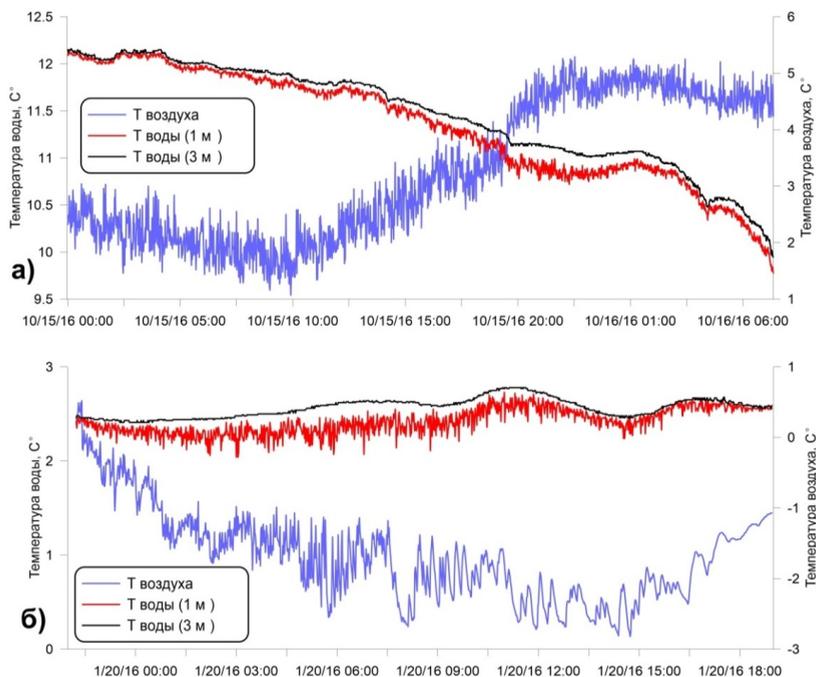


Рисунок 1 – Временные ряды температуры воздуха (синяя линия) и воды на горизонтах 1 и 3 м (красная и серая линии) в период с 19.01.2016 по 20.01.2016 (а) и с 15.10.2016 по 16.10.2016 гг. (б)

В январе максимальный градиент температуры достигал значения  $-0.57^{\circ}\text{C}$ , при этом температура воздуха на данный момент времени (20.01.2016 6:48) составила  $-1.76^{\circ}\text{C}$ , температура воды на 1 м =  $2.07^{\circ}\text{C}$ , на 3 м =  $2.64^{\circ}\text{C}$ . При этом среднее значение перепада температур в период с 19 по 20 января составил  $-0.15^{\circ}\text{C}$ . Перепад значений между температурой воздуха и воды на горизонте 1 м равнялся  $-4.1^{\circ}\text{C}$ , при максимуме в  $-5.35^{\circ}\text{C}$ . Данный период характеризуется слабой изменчивостью температуры воды, данный параметр

для горизонта 1 м варьируется в диапазоне от 2.04 до 2.73 °С (рисунок 2). В октябре на фоне значительного перепада температуры между воздухом и поверхностным слоем воды, значение которого составило около 11 °С, максимальный градиент между горизонтами воды составил -0.37 °С. Температура воздуха на данный момент времени (15.10.2016 20:03) составила 4.24 °С, температура воды на 1м = 10.78 °С, на 3м = 11.15 °С. Октябрь 2016 г. характеризуется постепенным выхолаживанием воды. Постепенное падение температуры воздуха с 16 °С в начале месяца до 5 °С к концу месяца привело к уменьшению температуры воды 16.5 °С до 8 °С.

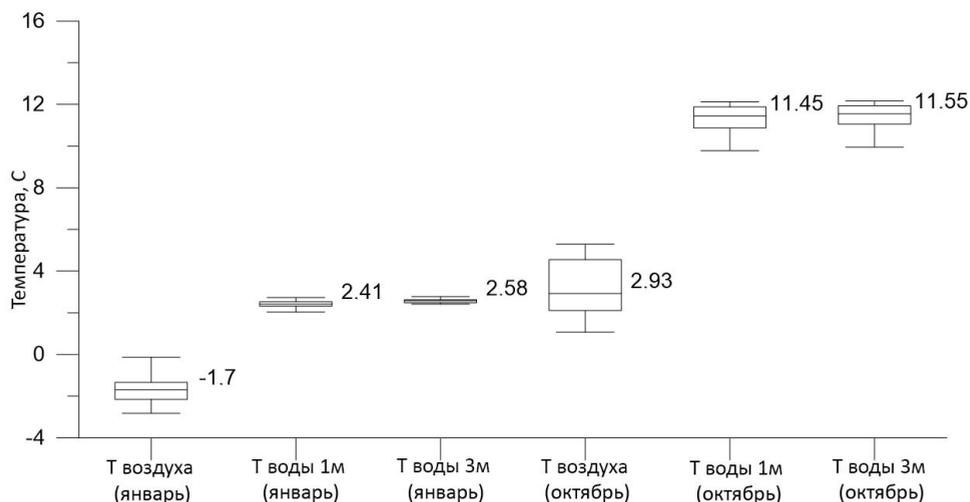


Рисунок 2 – Квартильный анализ для временных рядов температуры воздуха и воды на горизонтах 1 и 3 м в период с 19.01.2016 по 20.01.2016 и с 15.10.2016 по 16.10.2016 гг. Числовая подпись соответствует медианному значению соответствующего параметра

Расчет плотности воды с использованием международного термодинамического уравнения состояния морской воды (TEOS-10), при фиксированной средней для исследуемого района солёности 7 psu, показал, что в январе максимальный перепад плотности составил  $-0.001 \text{ кг/м}^3$ . Таким образом, поверхностный слой (горизонт 1 м) хоть и холоднее, но оказался более легким, чем нижележащий слой воды и условий для конвекции с поверхности не возникало. Для октября плотность воды поверхностного слоя выше нижележащего. Перепад плотности составил  $+0.044 \text{ кг/м}^3$ . Возникающие благоприятные условия способствуют более быстрому выхолаживанию всей толщи воды, что и наблюдается по натурным данным.

Полученные результаты предварительного анализа данных позволили выделить наиболее интересным периодом для детального исследования октябрь, когда были обнаружены наиболее благоприятные условия для возникновения приповерхностной конвекции, а не январь, когда зафиксированы отрицательные температуры воздуха зимой 2016 г.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00150.

### Список литературы

1. Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 303 с.
2. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. М.МИР. 1977. 431 с.

3. *Toppaladoddi S., Wells A. J., Doering C. R., Wettlaufer J. S.* Thermal convection over fractal surfaces *J. Fluid Mech.* (2021), vol. 907, A12. Published by Cambridge University Press. doi:10.1017/jfm.2020.826.

4. *Мысленков С.А., Кречик В.А., Бондарь А.В.* Суточная и сезонная изменчивость температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по данным термокосы на платформе Д-6 // *Экологические системы и приборы.* 2017. № 5. С. 25-33.

## **ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ АТМОСФЕРА-СНЕГ-ЛЁД-ВОДА НА ПРИМЕРЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА**

Кравцова К.В., Подрезова Н.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*karkrav08.12@mail.ru*

*Аннотация.* В работе приводятся и анализируются результаты исследования ледяного покрова в Финском заливе, которые были получены в ходе учебной Ледовой практики студентами океанологами 2 курса Российского Государственного Гидрометеорологического Университета в феврале 2021 года, а также повторный эксперимент в 2023 году. А именно исследование вертикального профиля температуры в многослойной среде при постановке экспериментов с термометрической косой и расчёт тепловых потоков.

*Ключевые слова:* Балтийское море, Финский залив, ледяной покров, снежный покров, многослойная среда, тепловые потоки.

## **HEAT FLUXES IN MULTILAYER ATMOSPHERE-SNOW-ICE-WATER ENVIRONMENT IN THE GULF OF FINLAND**

Kravtsova K.V., Podrezova N.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Abstract.* The article presents and analyses the results of an ice survey in the Gulf of Finland, which were obtained during an ice training exercise by 2nd year oceanology students of the Russian State Hydrometeorological University in February 2021, and a repeat experiment in 2023. Specifically, a study of the vertical temperature profile in a multilayer medium in thermometric-braid experiments and the calculation of heat fluxes.

*Keywords.* Baltic Sea, Gulf of Finland, ice cover, snow cover, multilayer environment, heat fluxes.

Лед в Финском заливе образуется ежегодно, но сроки его появления и исчезновения, а также степень распространения зависят от суровости зимы. Процесс льдообразования происходит в направлении с востока на запад. Первый лед, как правило, появляется в заливах и бухтах, глубоко вдающихся в берег. В Финском заливе ледовый период начинается в середине ноября. Максимальное развитие ледяного покрова отмечается в конце февраля - марте. Средняя толщина льда в описываемом районе невелика (0,1 - 0,3 м), но в суровые и очень суровые зимы она может увеличиваться до 0,8 м, а иногда до 1 м. Разрушение ледяного покрова в восточной части моря происходит в направлении с запада на восток. В Финском заливе разрушение припая начинается в третьей декаде марта - начале апреля. Межгодовая изменчивость сроков взлома ледяного покрова в Финском заливе достигает 60 - 70 суток. В суровые зимы Финский залив окончательно очищается ото льда во второй половине мая, в умеренные - в начале мая, а в мягкие - в первой или второй декаде апреля [1,2].

В период с 8.02.2021 по 20.02.2021 в восточной части Финского залива около города Ораниенбаум проводилась учебная Ледовая практика для студентов океанологов 2 курса Российского Гидрометеорологического Университета. Для получения информации о вертикальном распределении температуры в многослойной среде атмосфера-снег-лёд-вода

была вморожена термокоса, которая содержала 4 датчика. Причем, датчики были установлены таким образом, что 1 датчик находился в снегу, 2 и 3 датчики вмораживались в лёд и 4 датчик находился в подледной воде. Значения температуры измерялись 18 и 19 февраля, регистрация значений производилась с дискретностью 30 с, таким образом, было проведено 2 эксперимента [3]. Схема расположения датчиков представлена на рисунке 1.

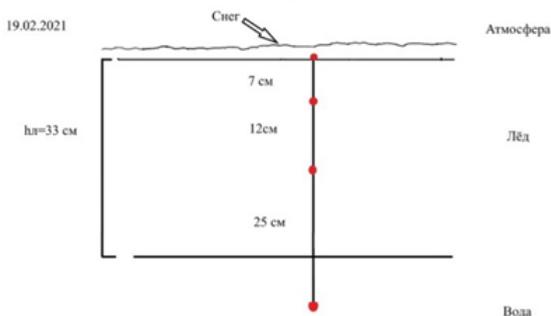


Рисунок 1 – Схема расположение датчиков

Эксперимент 1. 18 февраля средняя температура атмосферы, во время проведения эксперимента, составляла - 18<sup>o</sup>C. Облачность – 0 баллов. Ветер – штиль. Местность закрытая – Сидоровский канал. Время эксперимента составило 3 часа 10 минут. Можно отметить, что на протяжении всего эксперимента, наибольшие изменения температуры наблюдаются на 1 датчике, в снегу, которые составляют от -6<sup>o</sup>C до -3<sup>o</sup>C. На 2 и 3 датчиках температура стабилизировалась в течении нескольких минут и фиксирует температуру равную -0,5<sup>o</sup>C. Можно заметить, что на графике есть небольшой интервал с температурами выше представленных значений, как некая аномалия. Этот относительно тёплый промежуток можно объяснить тем, что датчики термокосы очень чувствительны даже к незначительным вмешательствам, возможно кто-то прошёл рядом с ней, или проверялось устройство. Полученный профиль температуры можно увидеть на рисунке 2(слева).

Эксперимент 2. 19 февраля средняя температура атмосферы, во время проведения эксперимента, составляла - 10<sup>o</sup>C. Облачность – 8-9 баллов. Ветер – 2 м/с. Местность – открытая, на заливе. Время эксперимента составило – 3 часа. Полученный профиль температуры представлен на рисунке 2(справа). Можно отметить, что наибольшие изменения температуры фиксируются на 1 датчике, который находится в снегу, где можно отметить возрастание температуры с -4<sup>o</sup>C до -1<sup>o</sup>C в течение часа. 2 и 3 датчики фиксируют небольшие колебания температуры от 0<sup>o</sup>C до 1<sup>o</sup>C на протяжении всего эксперимента.

Нетрудно заметить, что полученные профили температуры в двух экспериментах существенно отличаются только на 1 датчике, который фиксирует температуру в снегу. Что можно объяснить различными условиями эксперимента, а именно тем, что термокоса вмораживалась в разных местах залива (в закрытой и открытой частях), подверженностью различным значениям температуры атмосферы, а также различной скорости ветра.

По графику, представленному на рисунке 3, отчётливо видно, что подлёдная вода и нижняя граница льда имеет температуру чуть выше 0<sup>o</sup>C. В то время, как температура верхней границы льда-нижней границы снежного покрова существенно отличается: имеет значение около -1<sup>o</sup>C. Следует отметить что, термическая динамика морского ледяного покрова определяется не только метеорологическими условиями и гидрологическим режимом акватории, но в значительной мере также зависит от свойств снега на его поверхности. Снежный покров служит защитной оболочкой верхней границы льда в районах с отрицательными температурами воздуха.

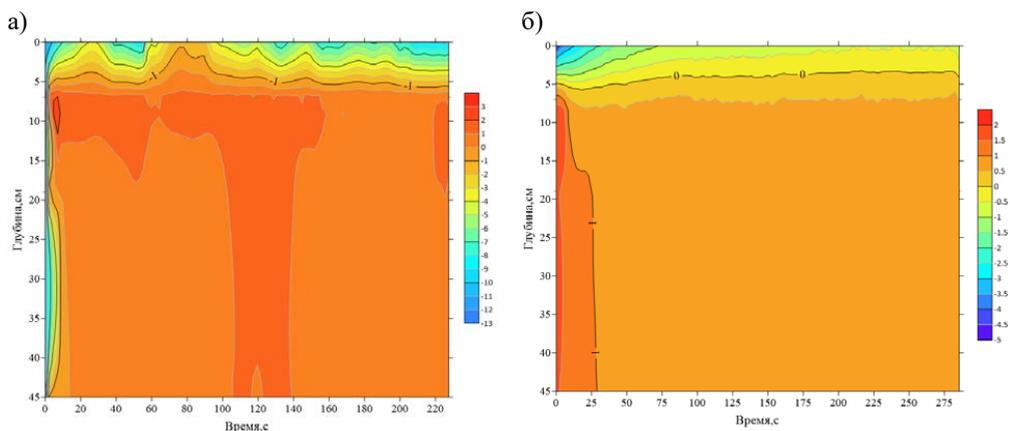


Рисунок 2 – Профили температуры 18.02.2021 (а) и 19.02.23 (б)

Тепловой поток через снежный покров при квазистационарном режиме прямо пропорционален температурному градиенту и обратно пропорционален термическому сопротивлению снежного покрова. Поэтому вклад температуры воздуха и термического сопротивления снежного покрова, в значительной степени зависящего от коэффициента теплопроводности снега.

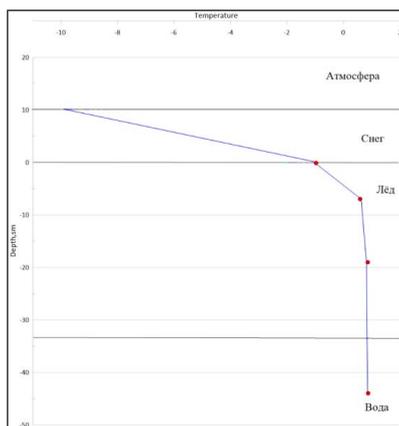


Рисунок 3 – Вертикальное распределение температуры в средах вода-лёд-снег-атмосфера 19.02.21

Известные зависимости коэффициента теплопроводности снега показывают большой разброс значений при одинаковой плотности снега. Одна из причин этого – структурные особенности снежного покрова. Так, коэффициент теплопроводности глубинной изморози в несколько раз меньше, чем зернистого снега при равной плотности. Поэтому слоистость снежного покрова, обусловленная как метеорологическими условиями, так и процессами метаморфизма, влияет на его термическое сопротивление и температурный режим подстилающих оснований [4].

Для расчета тепловых потоков в каждой из исследуемых сред, использовалась формула из учебника Доронина Ю.П. [1]. Рассчитанные значения тепловых потоков составили  $\Phi_{\text{вода}}=540.94 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\Phi_{\text{лёд (нижняя граница)}}=783.11 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\Phi_{\text{лёд (верхняя граница)}}=40945.62 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\Phi_{\text{снег}}=19383.71 \text{ Вт/м}^2$ . Из расчётов видно, что тепловой поток постепенно

увеличивается, от воды к атмосфере. В природных условиях поток тепла от воды ко льду обычно имеет место быть. Он уменьшает значение суммоградусов дней мороза тем существеннее, чем больше толщина льда. Также под воздействием этого потока тепла может наступить таяние льда с его нижней поверхности несмотря на отрицательную температуру воздуха.

В феврале 2023 года в рамках зимней ледовой практики были поставлены эксперименты для получения данных о вертикальном распределении температуры в многослойной среде при помощи термометрической косы. Для достоверности полученных данных соблюдались условия эксперимента 2021 года, то есть расстояния между датчиками прибора сохранилось, также поверхностный датчик покрывался снегом во избежание атмосферного влияния. Таким образом, датчики были установлены так, что 1 датчик находился в снегу (на поверхности), 2 – на глубине 7 см и 3 находился на горизонте 19 см, эти датчики вмораживались в лёд и 4 датчик находился в подлёдной воде на глубине 44 см. Значения температуры измерялись 10 и 11 февраля, то есть проводилось также 2 эксперимента. Схема расположения датчиков 10 февраля представлена на рисунке 4.

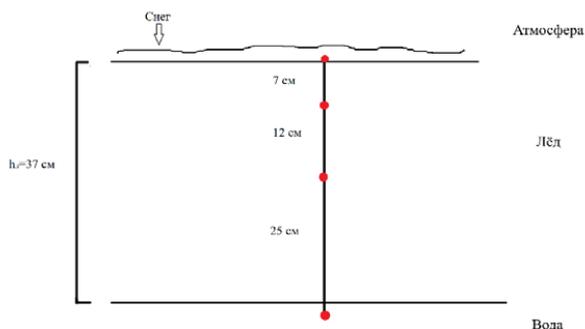


Рисунок 4 – Схема расположения датчиков термометрической косы 10 февраля

10 февраля средняя температура атмосферы во время проведения эксперимента составляла  $-1^{\circ}\text{C}$ . Облачность составила 8-9 баллов, было очень ветрено, скорость ветра составляла 20-23 м/с (западный ветер). Местность была открытая, то есть на заливе, время эксперимента составило 4 часа 8 минут. Толщина ледяного покрова была 37 см, а снежного – 4.75 см, а плотность снега  $\rho_{\text{сн}}=285$  кг/м<sup>3</sup>. Температура регистрировалась датчиками с дискретностью 30 секунд. Полученный профиль температуры представлен на рисунке 5 (слева). 1 датчик фиксировал температуры в пределах  $0.8-0.4^{\circ}\text{C}$ , на 2 датчике температура изменялась в интервале  $0.7-0.5^{\circ}\text{C}$ , на 3 датчике отмечались от  $1^{\circ}\text{C}$  до  $0.4^{\circ}\text{C}$  и 4 датчик фиксировал температуру  $1-0.3^{\circ}\text{C}$ .

11 февраля средняя температура атмосферы составила  $-3.17^{\circ}\text{C}$ . Облачность составила 10 баллов, средняя скорость ветра составляла 2.20 м/с, направление переменчивое. Местность была открытая, время эксперимента составило 4 часа 27 минут. Температура регистрировалась датчиками с дискретностью 30 секунд. Толщина ледяного покрова была 38 см, а снега – 7 см а плотность снега  $\rho_{\text{сн}}=229$  кг/м<sup>3</sup>. 1 датчик фиксировал температуры в пределах  $0-0.9^{\circ}\text{C}$ , на 2 датчике температура изменялась в интервале  $0-0.9^{\circ}\text{C}$ , на 3 датчике отмечались от  $1^{\circ}\text{C}$  до  $0.1^{\circ}\text{C}$  и 4 датчик фиксировал температуру  $1.2-0.1^{\circ}\text{C}$ . Полученный профиль температуры представлен на рисунке 5 (справа).

Как известно, толщина заснеженного льда оказывается меньше, чем льда без снежного покрова. Это уменьшение зависит от толщины слоя снега и теплопроводности. Это вытекает из того, что снег является хорошим теплоизоляционным материалом, то есть температура льда под снегом выше, чем бесснежного.

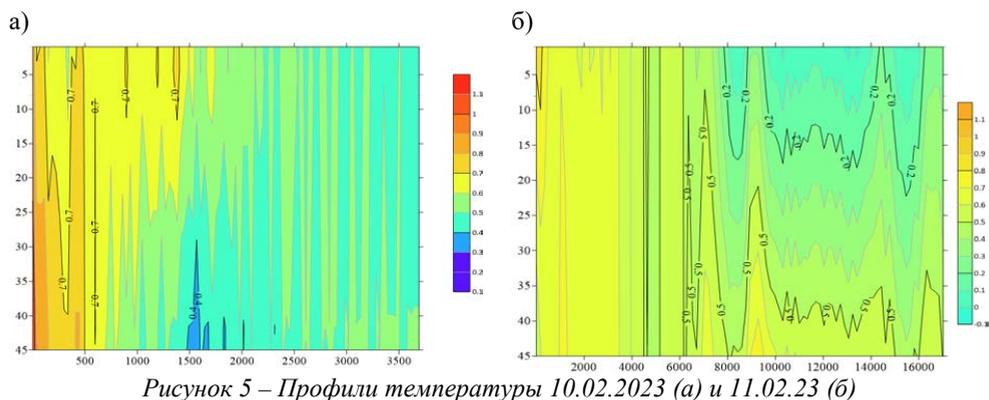


Рисунок 5 – Профили температуры 10.02.2023 (а) и 11.02.23 (б)

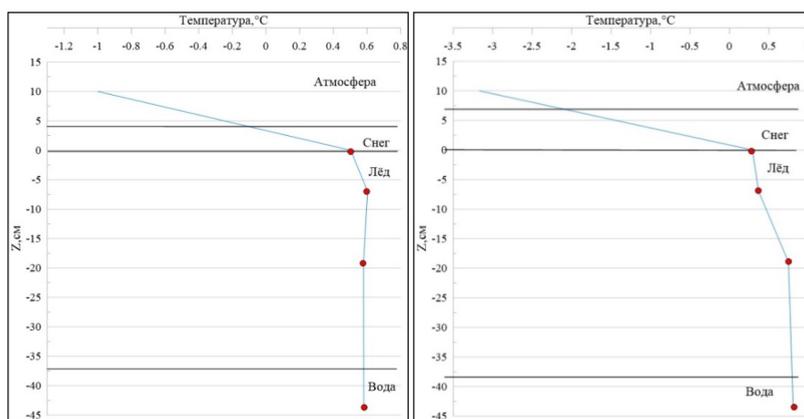


Рисунок 6 – Вертикальное распределение температуры в средах вода-лёд-снег-атмосфера 10.02.23 и 11.02.23

Также по результатам проведённых опытов в разные годы, можно заметить, что обе зимы значительно отличаются, а именно зиму 2021 года можно отнести к умеренной, а зиму 2023 года – к мягкой. Этот вывод можно сделать, исходя из температурных условий зим, толщине и протяжённости припая.

### Список литературы

1. Доронин Ю.П. Физика океана. // Учебное пособие - СПб.: изд. РГГМУ, 2000.-340с.
2. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе // Проблемы Арктики и Антарктики. Выпуск 69. СПб: Гидрометеиздат, 1995. – стр. 15-26.
3. Podrezova N.A., Kravtsova K.V. Ice research in the gulf of FINLAND // В сборнике: Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes. Proceedings of 7th International Conference. Сер. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences" 2022. С. 271-279.
4. Котляков В.М., Сосновский А.В., Осокин Н.И. Оценка коэффициента теплопроводности снега по его плотности и твёрдости на Западном Шпицбергене. // Институт географии РАН, Москва, Россия, 2018 г.

## О СМЕШЕНИИ ВОД ПОГРУЖАЮЩЕГОСЯ ТЕРМИКА И ПОДСТИЛАЮЩИХ ВОД

Куприянова А. Е.<sup>1,2</sup>, Гриценко В. А.<sup>2</sup>

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

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

*kupriyanova\_ae@mail.ru, gritsenko-vl-al@mail.ru*

*Аннотация.* Выполнено исследование процесса взаимопроникновения погружающегося термика и окружающих его вод. Показана значимость механизма адвективного смешения вод для наблюдаемой в экспериментах изменчивости поля плотности.

*Ключевые слова.* Свободная конвекция, перемешивание, плавучесть, высоко градиентные слои, численная модель, лабораторный эксперимент.

## ON THE MIXING OF THE WATER OF A SUBMERGING THERMAL AND AN UNDERLYING WATER

Kupriyanova A. E.<sup>1,2</sup>, Gritsenko V. A.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

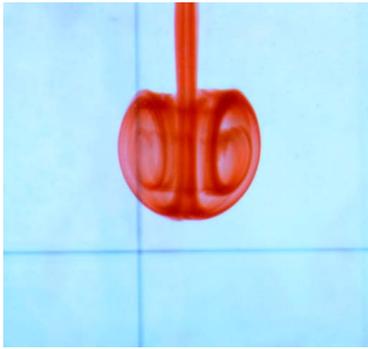
*Annotation.* An investigation of the process of interpenetration of an immersing thermal and its surrounding water is carried out. The significance of the mechanism of advective mixing of waters for the variability of the density field observed in experiments is shown.

*Keywords.* Free convection, mixing, buoyancy, high-gradient layers, numerical model, laboratory experiment.

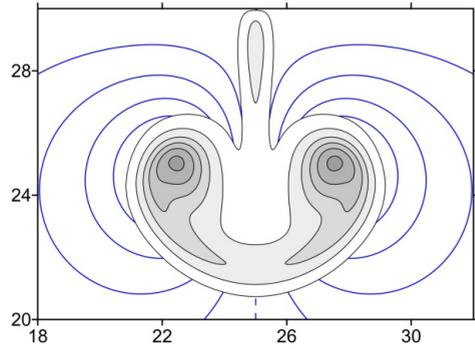
При описании конвективных движений, возникающих при охлаждении воды с поверхности, на основе визуальных наблюдений и немногочисленных инструментальных измерений констатируется их турбулентный характер [1-4]. Вместе с тем анализ большей части приводимых в работах примеров позволяет говорить, по-видимому, лишь о значительной изменчивости поля плотности, реально наблюдаемой в экспериментах, в области погружения термиков или пятен воды с отрицательной плавучестью. Оценки скорости погружения термиков показывают достаточно малые значения, порядка нескольких мм/с, что также свидетельствует в пользу ламинарного характера движений воды [1-4]. Наши наблюдения за структурой течений, возникающих при погружении одиночных термиков и особенностям поля плотности [5], также позволяют предполагать ламинарность динамики неоднородных по плотности вод и доминирование адвективного механизма смешения термика и окружающих его вод в формировании наблюдаемой в экспериментах значительной изменчивости поля плотности.

Целью данной работы стало исследование процесса взаимопроникновения вод погружающегося термика и его окружающих.

Лабораторные и численные эксперименты [5] показали малые скорости погружения термиков (пятен воды с отрицательной плавучестью) и наличие длительно сохраняющихся высоко градиентных слоев или переслоения поля плотности, как для лабораторных, так и для расчетных течений (рисунок 1). Для лучшего представления описываемых результатов все расчетные графики приведены только для части модельного пространства, полные размеры которого составляли  $[0.0, 50.0] \times [0.0, 30.0]$ .



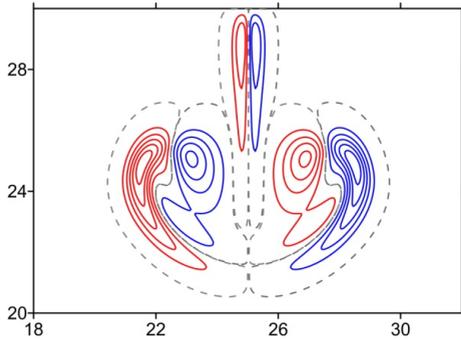
а



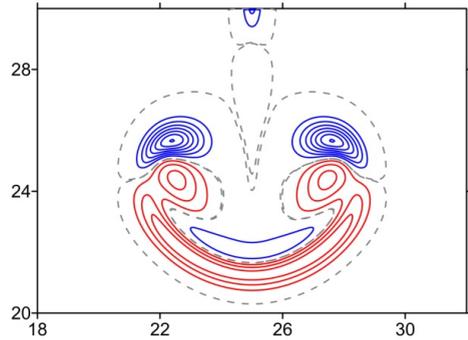
б

Рисунок 1 - Пример сохранения высоко градиентных слоев в поле плотности для лабораторного (а) и модельного (б) течений, порожденных погружением термиков. Для лабораторного течения ( $\Delta\rho=10E-4$  г/см<sup>3</sup>,  $V=2$  мл) можно отметить наличие высоко градиентных слоев в поле плотности, коррелируемую с интенсивностью цвета. Расчетное течение ( $\Delta\rho=2E-4$  г/см<sup>3</sup>,  $h=1$  см/с) иллюстрирует поле плотности термика (серая заливка,  $\Delta\rho / \Delta\rho_0 \in [0.1, 0.7, 0.15]$ ) и общую картину динамики его вод (линии тока  $\psi \in [-1.2, 1.2, 0.4]$ , синяя линия) на этапе начала трансформации в вихревое кольцо

Традиционный анализ поля плотности для модельного течения позволил получить значения соответствующих горизонтальных и вертикальных градиентов (рисунок 2). На графиках хорошо различима значительная изменчивость обоих полей.



а



б

Рисунок 2 – Распределения: а – горизонтальных ( $\sigma'_x \in [-0.3, 0.3, 0.05]$ ) и б – вертикальных ( $\sigma'_z \in [-0.3, 0.11, 0.04]$ ) градиентов поля плотности для ранее представленной фазы погружения термика на рисунке 1 б. Синие линии соответствуют отрицательным, а красные – положительным значениям градиентов. Штриховые линии обозначают линии нулевых значений каждого из градиентов

В качестве дополнительной процедуры анализа поля плотности были рассчитаны градиенты плотности вдоль и поперек линий тока (рисунок 3). Как оказалось, распределения градиентов плотности вдоль и поперек линий тока также свидетельствуют о значительной изменчивости поля плотности, сформировавшейся на фоне медленного погружения термика и возникновения вращательного характера движений его вод вследствие порождения бароклинной завихренности [1, 5].

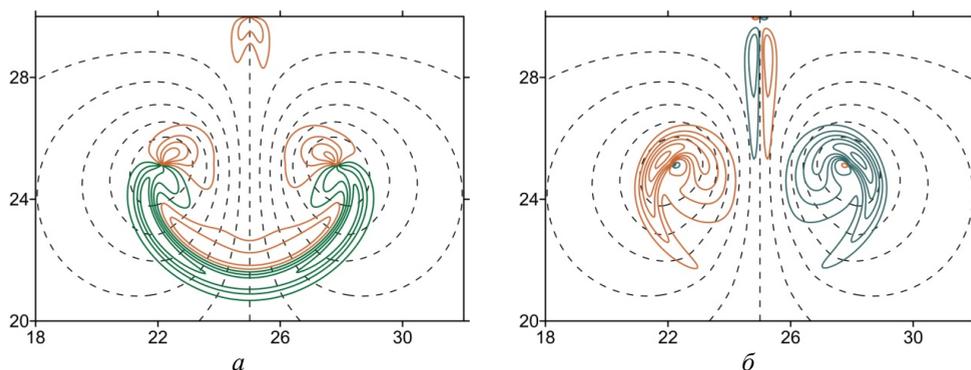


Рисунок 3 – Распределения градиентов поля плотности: а – вдоль ( $\sigma'_r \in [-0.18, 0.18, 0.04]$ ) и б – поперек ( $\sigma'_n \in [-0.35, 0.35, 0.05]$ ) и линий тока (штриховые линии,  $\psi \in [-1.2, 1.2, 0.4]$ ) для того же погружения термика. Зеленые линии соответствуют отрицательным, а красно-коричневые – положительным значениям градиентов

В работе был также проделан анализ локальной устойчивости стратифицированных по плотности течений, возникающих при погружении термиков. Классические варианты расчета чисел Рейнольдса (Re) и Ричардсона (Ri) оказались неприменимыми ввиду сложной структуры течений. Однако, оказалось возможным выделить локальные участки течений с преобладанием квази-горизонтальных или квази-вертикальных движений. Полученные для этих участков оценки показали, что значения числа Re для них не превышают нескольких единиц, а для числа Ri нашлась небольшая по площади область со значениями меньше  $\frac{1}{4}$ . Таким образом, потенциальные условия для появления турбулентности действительно существуют, но положение и небольшой размер данной области в тыловой части термика вряд ли может оказать существенное влияние на плотностную структуру всего течения.

В итоге, можно заключить, что в условиях свободной конвекции и при отсутствии фоновой мелкомасштабной турбулентности (возникшей, например, вследствие обрушения ветровых волн на поверхности воды) наблюдаемая в экспериментах изменчивость поля плотности действительно может возникнуть в результате адвективного смешения вод термика и его окружающих.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00150.

### Список литературы

1. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. М.: Мир, 1977. 431 с.
2. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. М: МИР. 1980. 549 с.
3. Джалаурия Й. Естественная конвекция. М: МИР. 1983. 399 с.
4. Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л: Гидрометеоиздат, 1988. 303 с.
5. Куприянова А.Е., Гриценко В. А. Падение пятен солёной воды на наклонное дно в окружении пресной: динамика и структурные особенности распространения плотностного фронта вверх по склону // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 2. С. 106-124.

## АПВЕЛЛИНГ У ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН, ИНДУЦИРУЕМЫЙ ВЕТРОМ

Марыжихин В.Е.<sup>1</sup>, Шевченко Г.В.<sup>1,2</sup>, Частиков В.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск  
*jonyr.27@mail.ru*

*Аннотация.* На основе материалов инструментальных измерений, судовых съемок на стандартных разрезах и спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря исследуется явление апвеллинга у юго-западного побережья о. Сахалин, индуцируемого ветром. Показано, что осенью (октябрь-декабрь) апвеллинг формируется под действием преобладающих в этот период ветров северного румба (зимний муссон), оставляющих берег слева. В теплый период года, с характерными ветрами южного румба, резкие понижения температуры воды в прибрежной зоне наблюдаются эпизодически, 4–5 раз за сезон. Понижения температуры достигают 10–12°C, их продолжительность 3–7 суток. Как правило, они обусловлены прохождением циклонов южнее о. Сахалин, при их выходе в южную часть Охотского моря над изучаемым районом формируются сгонные ветра восточного и северо-восточного румбов.

*Ключевые слова.* Апвеллинг, температура воды, ветер, муссон, циклон.

## WIND-INDUCED UPWELLING OFF THE SOUTH-WEST COAST OF SAKHALIN ISLAND

Maryzhikhin V.E.<sup>1</sup>, Shevchenko G.V.<sup>1,2</sup>, Chastikov V.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

<sup>2</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk

*Abstract.* Based on the materials of instrumental measurements, ship surveys on standard sections and satellite observations of the sea surface temperature, the phenomenon of wind-induced upwelling off the southwestern coast of Sakhalin island is studied. It is shown that in autumn (October–December) upwelling is formed under the influence of the northerly wind (winter monsoon) prevailing in this period, leaving the coast on the left. In the warm period of the year, with typical southerly wind, sharp drops in water temperature in the coastal zone are observed sporadically, 4–5 times per season. Temperature drops reach 10–12°C, their duration is 3–7 days. As a rule, they are caused by the passage of cyclones to the south of Sakhalin Island, when they enter the southern part of the Sea of Okhotsk, east and northeast offshore winds over the study area.

*Keywords.* Upwelling, water temperature, wind, monsoon, cyclone.

Явление прибрежного апвеллинга представляет значительный интерес в связи с тем, что в результате подъема богатых биогенными веществами глубинных вод существенно возрастает продуктивность в районах, где он наблюдается [1]. Ввиду его важности для функционирования экосистем прибрежных акваторий, механизмы формирования ветрового апвеллинга давно и хорошо изучены [2]. Наибольшее значение имеет апвеллинг, формирующийся в результате продолжительного действия сгонных ветров сезонного характера, что типично для районов с муссонным климатом, к которым относится и остров Сахалин. Авторы обзора [3] считают, что в таких районах апвеллинг и даунвеллинг постоянно сменяют друг друга, и их следует рассматривать как единое явление.

Например, для острова Сахалин летом, когда преобладают ветра южного румба, благоприятные условия для возникновения апвеллинга наблюдаются у его восточного побережья [4], а у западного он проявляется эпизодически. Осенью, когда устанавливаются сильные и устойчивые ветра северо-западного и северного румбов, у восточного побережья

наблюдается заглублиение поверхностной воды (даунвеллинг), а у западного берега формируется апвеллинг, что выявлено на примере северной части Татарского пролива [5]. Особенности проявления ветрового апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина до настоящего времени не изучен, именно они и составляют предмет данной работы.

Материалами для настоящего исследования послужили океанологические данные, собранные сотрудниками Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») у юго-западного побережья острова Сахалин (рисунок 1). Инструментальные измерения температуры морской воды и гидростатического давления (уровня моря) получены в прибрежной зоне юго-западного Сахалина на полигонах наблюдения за ламинарией: Антоново (район села Яблочное, 2020 и 2022 г.), Богдановича (район мыса Богдановича, 2022 г.) и Шебунино (район села Шебунино, 2021 г.). Также привлекались материалы судовых океанологических съемок, выполненных в 1995–1999 гг. на стандартных разрезах Т1 и Т2, а также средних многолетних распределений температуры и солёности на разрезе поселок Перепутье–остров Монерон–мыс Олимпиады (восточная часть разреза, от меридиана 140° в.д.) Кроме этого, использовались усредненные помесечно данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря в Татарском проливе (1998–2021), полученные при помощи имеющейся в филиале спутниковой приемной станции TeraScan®. Для оценки характера метеорологических условий, анализировались данные о скорости и направлении ветра на береговых метеорологических станциях Холмс и Невельск, а также карты приземного атмосферного давления над северо-западной частью Тихого океана, взятые с сайта свободного доступа <https://www.ncdc.noaa.gov>

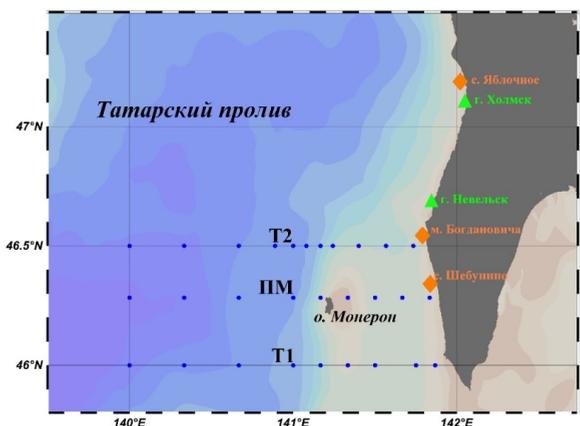


Рисунок 1 – Положение станций стандартных океанологических разрезов Т1, Т2 и поселок Перепутье–остров Монерон–мыс Олимпиады (ПМ). Показано положение прибрежных измерителей температуры морской воды (оранжевые ромбы) и береговых метеорологических станций (зеленые треугольники)

На рисунке 2 представлены средние многолетние распределения температуры поверхности моря (ТПО) в Татарском проливе в период максимального прогрева и преобладания южных ветров в августе, и осенью (ноябрь), в период действия характерных для зимнего муссона ветров северного и северо-западного румбов. Летом вдоль всего западного побережья Сахалина вода более теплая, чем в прибрежной акватории вблизи материка. Помимо общего характера распространения теплого Цусимского течения вдоль свала глубин у берега острова, этому способствует и воздействие ветрового потока, оставляющего берег справа. При этом благодаря вращению Земли возникает нагонный эффект, способствующий заглублиению теплой поверхностной воды у берега и формированию прибрежного потока, направленного на север. Существенные различия в термических условиях восточной и западной частях пролива подтверждаются и данными

судовых океанологических съемок на стандартных разрезах, выполненных в Татарском проливе [5].

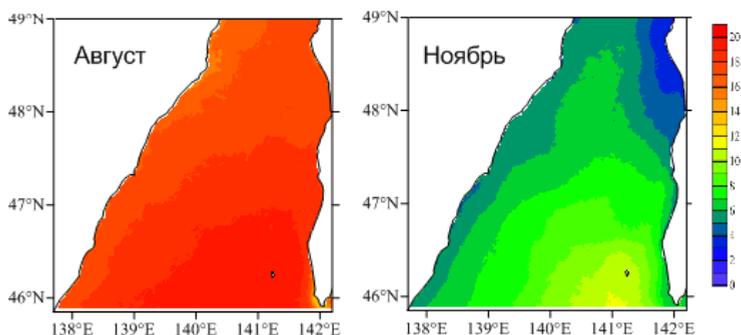


Рисунок 2 – Пространственное распределение усредненных за 1998–2021 г. полей ТПО (в °С) летом (август) и осенью (ноябрь)

Осенью характер распределения ТПО в Татарском проливе кардинально изменяется. В северной части теплая вода оттеснена от берега острова на запад, широкая полоса холодной воды тянется от пролива Невельского до Чехово-Ильинского мелководья. Можно говорить о том, что эта область является выраженной зоной проявления сезонного ветрового апвеллинга. Южнее параллели 48° с.ш. эта полоса существенно сужается, температура воды в прибрежье не такая низкая. Это указывает на то, что это явление здесь также существует, но выражено существенно слабее, чем в северной части пролива.

На самом северном из стандартных разрезов юго-западного Сахалина Т2 характер вертикального распределения температуры воды в августе 1999 г. типичен для периода максимального прогрева вод в изучаемом районе (рисунок 3). В верхнем слое толщиной около 15 м находилась теплая вода с температурой 18–19°C, в прибрежной зоне ее значения снижались до 10°C на самой близкой к берегу станции, а на глубине около 10 м на ней до очень низких значений (около 1°C). Изотерма 6°C заглублена в районе поднятия, являющегося продолжением острова Монерон, до 80–90 м, уклон изотерм возрастает по мере приближения к берегу.

В ноябре вода в поверхностном слое выхожена (самое высокое значения в районе поднятия около 9°C, что вдвое меньше чем летом), на глубинах более 50 м эти осенние процессы проявляются в меньшей степени. Так, изотерма 6°C поднимается до глубины 60–70 м. Уклон изотерм у берега возрастает, ширина прибрежной полосы холодной воды увеличивается. На разрезе Т1 характер распределений температуры воды летом и осенью был близок к выявленному на разрезе Т2. Такой же характер распределения температуры морской воды типичен и для средних многолетних значений этого параметра на стандартном разрезе поселок Перепутье–остров Монерон–мыс Олимпиады. Эти примеры показывают формирование ветрового апвеллинга осенью у юго-западного побережья острова Сахалин под действием зимнего муссона.

Как отмечалось в работе [5], у юго-западного побережья острова Сахалин резкие понижения температуры воды в прибрежной зоне наблюдались эпизодически, при усилении ветров северного и северо-восточного румбов, так как характерные в целом для теплого сезона южные ветра имеют в данном районе нагонный характер. Рассмотрим данный вопрос на основе инструментальных измерений температуры морской воды в прибрежных районах юго-западного Сахалина на полигонах наблюдения за полями ламинарии.

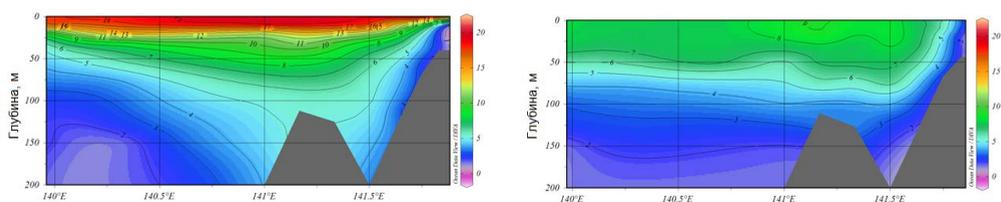


Рисунок 3 – Вертикальное распределение значений температуры морской воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) по измерениям на стандартном океанологическом разрезе T2 в августе (слева) и ноябре 1999 г. (справа)

Вариации температуры морской воды и уровня моря в Антоново в мае–октябре 2020 г. имели закономерный характер постепенного прогрева с  $5^{\circ}\text{C}$  в третьей декаде мая до  $20^{\circ}\text{C}$  во второй половине августа, после чего началось плавное снижение до  $12^{\circ}\text{C}$  в конце октября. На этом фоне четко выделяются 4 случая резких понижений температуры. Наиболее интересная ситуация наблюдалась в период максимального прогрева прибрежной акватории в период с 7 по 12 августа. Температура начала снижаться в 10 утра с  $19^{\circ}\text{C}$  и концу суток достигла  $10^{\circ}\text{C}$ , минимум  $7,5^{\circ}\text{C}$  был отмечен 9 августа в 4 утра, а к полудню 12 августа значения параметра вернулись на начальную отметку. Этому событию предшествовало усиление ветра юго-восточного и восточного румбов до  $6\text{--}7$  м/с, имевшее место 4–5 августа. Затем скорость ветра уменьшилась до  $2\text{--}4$  м/с, и он стал менее устойчивым по направлению, меняясь от юг-юго-восточного до северного, но сохранял стойкий характер до середины дня 11 августа. Затем установилось типичное для летнего сезона преобладание ветров южного и юго-западного румбов. Остальные ситуации, отмеченные 20–22 июня, 2–4 июля и 30 августа–2 сентября, были менее продолжительными и глубокими, но развивались по сходному сценарию. Резкие понижения температуры совпадали с понижениями уровня моря – сгонами, которые формируются при отжимных ветрах.

Вариации температуры морской воды и уровня моря в районе полигона Шебунино в мае–октябре 2021 г. имели схожий характер с рассмотренными выше в Антоново, только прогрев и охлаждение прибрежной акватории на южном участке района мониторинга был более быстрым.

На этом фоне еще более резкими выглядят понижения температуры, так как ее значения опускались до более низких отметок (менее  $3^{\circ}\text{C}$ ). Наиболее значимыми были две ситуации, имевшие место 7–12 августа и 12–17 сентября. Отметим, что эти события и на этой станции сопровождалось понижением уровня моря – сгонами величиной  $10\text{--}15$  см. В обоих случаях наблюдался умеренный ветер около  $3$  м/с юго-восточного румба.

В 2022 году приборы были установлены на полигоне Антоново и у мыса Богдановича. В обоих случаях измерения начинались 5 мая и были прекращены 24 октября, графики вариаций температуры воды и уровня моря представлены на рисунке 4. На полигоне Антоново было выявлено 4 случая резких понижений температуры морской воды, они имели место 2–10 июня, 15–29 июля, 14–19 сентября и 5–9 октября. Наибольший интерес представляла ситуация во второй половине июля, во-первых, снижение температуры было самым значительным, почти на  $15^{\circ}\text{C}$  (с  $19,6$  до  $5^{\circ}\text{C}$ ), во-вторых, наиболее продолжительным по времени, около 2 недель. При этом оно сопровождалось существенным сгоном, более  $10$  см.

Характерно, что на полигоне в районе мыса Богдановича в этой ситуации снижение температуры было более слабым и было смещено по времени на сутки. Несмотря на весьма высокую корреляцию между рядами температуры на полигонах ( $r=0,9$ ), наиболее значительные понижения температуры на более южной станции отмечены 27 июня–2 июля и 12–17 августа, когда на полигоне Антонов имели место лишь незначительные отклонения в графиках вариаций температуры. Только в середине сентября понижение произошло синхронно и имело одинаковую величину.

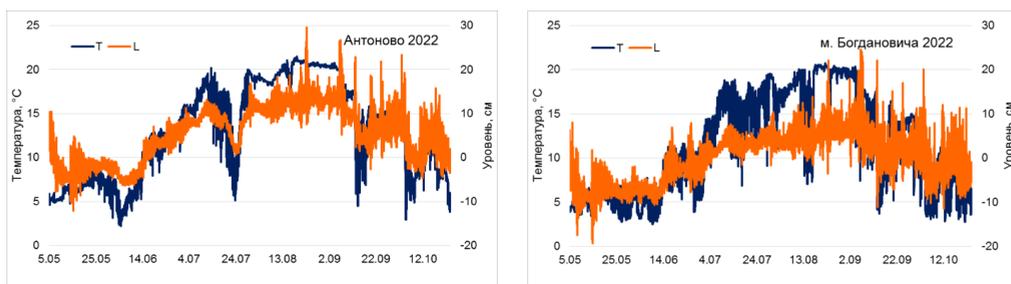


Рисунок 4– Вариации температуры морской воды (Т, °С) и уровня моря (L, см) на полигоне Антоново (слева) и мыса Богдановича (справа) за период с мая по октябрь 2022 г

Чтобы выяснить причину температурных вариаций, были проанализированы карты распределения приземного атмосферного давления. Пространственные распределения приземного атмосферного давления за 18 и 20 июля 2022 г. показывают, что в этот период над изучаемой областью прошел глубокий циклон, пересек Сахалин и вышел в южную часть Охотского моря. При таком положении центра циклона, над Татарским проливом формируются сгонные ветра восточного или северо-восточного направления, которые и могут быть причиной наблюдаемого явления. Аналогичные атмосферные условия были причиной рассмотренного выше проявления апвеллинга в августе 2020 г. – глубокий циклон двигался в восточном направлении южнее Сахалина, над островом Хоккайдо, и также на определенном этапе вызвал сильные ветра восточного и северо-восточного румба над изучаемым районом. Очевидно, именно такие ситуации являются главной причиной ветрового апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина в теплый период года. Вероятно, аналогичные, но менее продолжительные понижения температуры могут иметь место и при прохождении не таких значительных атмосферных возмущений, например, атмосферных фронтов. Характерной особенностью апвеллинга у юго-западного побережья о. Сахалин в теплый период года является быстрый подъем холодной воды при перестройке к ветрам сгонного характера, несмотря на значительную толщину верхнего прогретого слоя. Вероятно, это связано с тем, что холодная вода здесь находится достаточно близко к поверхности благодаря действию Западно-Сахалинского течения.

#### Список литературы

1. Духова Л.А., Сапожников В.В. Гидрохимические показатели первичной продукции в зонах Перуанского и Канарского апвеллингов // Труды ВНИРО. 2014. Т.152. С.85–100.
2. Hill R.B., and Johnson J.A. A theory of upwelling over the shelf break// Journal of Physical Oceanography. 1974. Vol. 4. P. 19-26.
3. Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Серых И.В., Суркова Г.В., Филиппов Ю.Г. Закономерности формирования апвеллинга Мирового океана // Метеорология и гидрология. 2012. №11. С. 75–81.
4. Шевченко Г.В., Вилянская Е.А., Частиков В.Н. Сезонная изменчивость океанологических условий в северной части Татарского пролива // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 78 -91.
5. Шевченко Г.В., Кириллов К.В. Вариации температуры воды у побережья о. Сахалин по данным инструментальных измерений // Метеорология и гидрология. 2017. №3. С.68-78.

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.  
ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь  
*nikolsky.geo@gmail.com*

*Аннотация.* Выявлены общие закономерности и региональные различия межгодовой изменчивости температуры поверхности океана в полярных широтах Атлантического океана по данным реанализа OI SST.

*Ключевые слова.* Атлантические секторы Арктического и Антарктического бассейнов, температура поверхности океана, среднеквадратическое отклонение, линейные тренды, геострофические течения.

## INTERANNUAL VARIABILITY OF THE OCEAN SURFACE TEMPERATURE IN THE POLAR LATITUDES OF THE ATLANTIC OCEAN

Nikolsky N.V., Artamonov Yu.V., Skripaleva E.A.  
FSBSI FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol

*Annotation.* The general regularities and regional differences in the interannual variability of the sea surface temperature in the polar latitudes of the Atlantic Ocean are revealed according to the OI SST reanalysis data.

*Keywords.* Atlantic sectors of the Arctic and Antarctic basins, sea surface temperature, standard deviation, linear trends, geostrophic currents.

Арктический и Антарктический бассейны обладают огромным ресурсным потенциалом, что способствует активной хозяйственно-административной и научной деятельности в этих регионах. Особенно актуальными для этих районов являются исследования изменчивости структуры вод на различных временных масштабах, так как эти изменения оказывают существенное воздействие на региональный климат и экосистему [1, 2]. Важную роль играют оценки крупномасштабной изменчивости поля температуры как индикатора теплосодержания деятельного слоя океана, в значительной степени определяющего протекание процессов в системе океан-атмосфера [2 – 8]. Несмотря на большое количество исследований, посвященных этому вопросу, они в основном рассматривают отдельные районы полярных бассейнов, и базируются на различных типах данных с разным временным периодом и применяемых методах их анализа [3 – 6, 8, 9]. Хотя в некоторых работах рассматривается Мировой океан в целом [7], общие закономерности и региональные различия межгодовой изменчивости поля температуры в Арктике и Антарктике практически не обсуждаются.

В данной работе на основе современного реанализа с высоким пространственно-временным разрешением с использованием единого методического подхода сопоставляются особенности межгодовой изменчивости поля температуры в полярных регионах Атлантического океана. В Арктике рассматривался район между  $45^\circ$  з.д. и  $25^\circ$  в.д. к северу от  $60^\circ$  с.ш., в Антарктике – между  $70^\circ$  з.д. и  $20^\circ$  в.д. к югу от  $50^\circ$  ю.ш. Использовались данные реанализа NOAA OI SST ([URL:https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db\\_search/DBListFiles.pl?did=132&tid=89459&vid=2423](https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=132&tid=89459&vid=2423)), содержащего среднесуточные значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах регулярной сетки с шагом  $0,25^\circ$  за период 1982 – 2017 гг. [10]. В работе анализировались области, где сплоченность льда не превышала 90%. Уровень межгодовой изменчивости ТПО оценивался по ее среднеквадратическим отклонениям (СКО), рассчитанным по временным рядам, состоящим из 36-ти среднемесячных значений ТПО для января, февраля и т.д., которые затем осреднялись за все 12 месяцев (СКО<sub>меж</sub>). Тенденции межгодовой изменчивости ТПО оценивались по распределениям линейных трендов, рассчитанных по всему временному ряду в 432 месяца с 1982 по 2017 гг. (тренд за весь период) и по временным рядам, состоящим из 36-ти среднемесячных значений ТПО для каждого месяца (помесячные тренды). Статистическая

достоверность трендов оценивалась по критерию Манна-Кендалла с уровнем 95% [11, 12]. Для интерпретации пространственного распределения величин  $SKO_{\text{меж}}$  и трендов анализировалась среднегодовая структура течений по данным реанализа CMEMS ([URL: http://marine.copernicus.eu/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=SEA-LEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_008\\_047](http://marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=SEA-LEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047)), содержащего среднесуточные значения составляющих геострофической скорости в узлах регулярной сетки с шагом  $0,25^\circ$  за период 1993 – 2020 гг. По этим значениям рассчитывались их климатические среднемесячные и среднегодовые значения, по которым затем определялись величины модуля скорости  $|\vec{V}_g|$  и направления векторов течений.

Пространственные распределения  $SKO_{\text{меж}}$  ТПО (рисунок 1, а, б) показали, что в обоих полярных бассейнах положение областей с высоким уровнем межгодовой изменчивости ТПО (величины  $SKO_{\text{меж}}$  выше  $0,8^\circ\text{C}$  в Арктике и выше  $0,5^\circ\text{C}$  в Антарктике) качественно совпадает с положением интенсивных течений. В Арктике это Северо-Атлантическое течение (САТ), течение Ирмингера (ТИ), Норвежское (НТ), Восточно-Гренландское (ВГТ), Западно-Шпицбергенское (ЗШТ), Восточно-Исландское (ВИТ) и Северо-Исландское (СИТ) течения (рисунок 1, в). Общее повышение уровня межгодовой изменчивости ТПО ( $SKO_{\text{меж}}$  выше  $0,6^\circ\text{C}$ ) наблюдается южнее Арктического течения (АТ). В зонах Северо-Исландского, Восточно-Гренландского и Западно-Шпицбергенского течений отмечаются максимальные значения  $SKO_{\text{меж}}$ , достигающие  $1,3^\circ\text{C}$  (рисунок 1, а). В Антарктике максимальные величины  $SKO_{\text{меж}}$  ( $0,8 - 1^\circ\text{C}$ ) наблюдаются в зоне Северной (СВ) и Центральной (ЦВ) ветвей Антарктического Циркумполярного течения (АЦТ) (рисунок 1, г) в северо-восточной части пролива Дрейка и западной части моря Скоша. К югу от Южной ветви АЦТ (ЮВ АЦТ) значения  $SKO_{\text{меж}}$  не превышают  $0,4^\circ\text{C}$ . В морях Уэдделла и Лазарева уровень межгодовой изменчивости ТПО минимален, величины  $SKO_{\text{меж}}$  не превышают  $0,2^\circ\text{C}$  (рисунок 1, б).

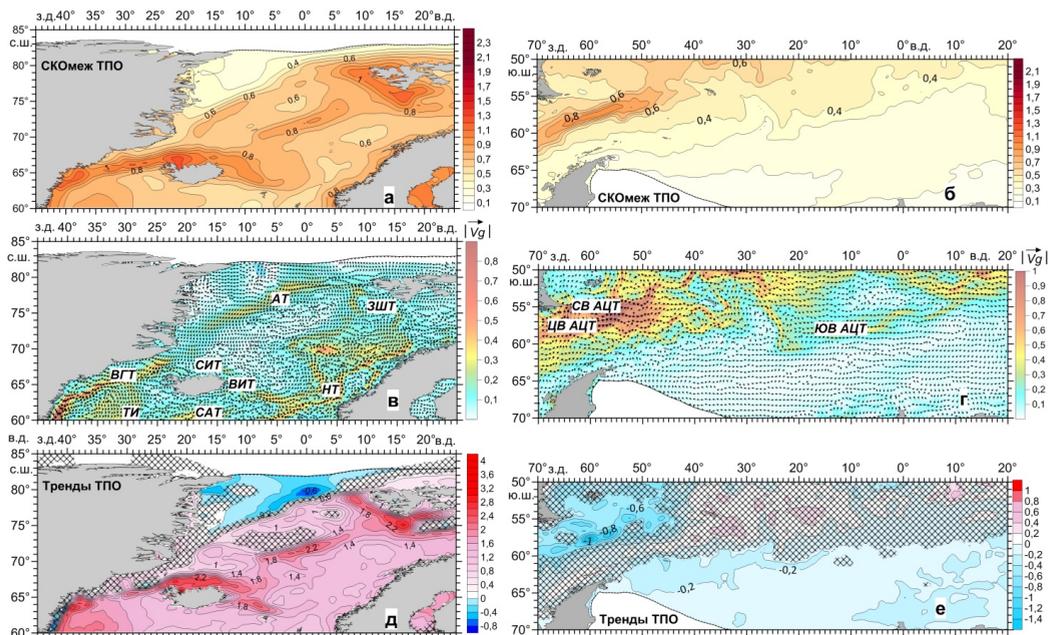


Рисунок 1 – Распределения среднегодовых величин  $SKO_{\text{меж}}$  ТПО ( $^\circ\text{C}$ ) (а, б), модуля и векторов геострофической скорости (м/с) (в, г), линейных трендов ТПО за весь временной период ( $^\circ\text{C}/432 \text{ мес}$ ) (д, е) в Атлантических секторах Арктики (а, в, д) и Антарктики (б, г, е). Здесь и на рисунках 2 – 4 области трендов с достоверностью ниже 95% заштрихованы

Пространственные распределения линейных трендов ТПО за весь временной период с 1982 по 2017 гг. (рисунок 1, д, е) показали, что их максимальные величины с достоверностью выше 95% наблюдаются в областях максимального уровня межгодовой изменчивости, т.е. в зонах наибольших значений  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО, при этом в Арктике и Антарктике тенденции многолетней изменчивости ТПО заметно различаются. В Атлантическом секторе Арктики (рисунок 1, д) преобладают значимые положительные тренды ТПО, которые на большей части акватории составляют 1,2 – 1,8°C/432 мес. В зонах Северо-Исландского, Восточно-Исландского, Восточно-Гренландского и Западно-Шпицбергенского течений величины трендов достигают 2,2 – 3°C/432 мес. Значимые отрицательные тренды (до -0,8°C/432 мес) выявлены у северо-восточных берегов Гренландии и севернее Арктического течения. Понижение ТПО на многолетнем масштабе в этом районе связано с увеличением выноса Восточно-Гренландским и Арктическим течениями холодных вод, образующихся в результате интенсивного таяния арктических льдов, наблюдаемого в последние десятилетия [13]. В Антарктике, наоборот, преобладают значимые отрицательные тренды ТПО, максимальные значения которых достигают -1,2°C/432 мес в северо-восточной части пролива Дрейка и в северо-западной части моря Скоша (рисунок 1, е). Выявленное устойчивое понижение ТПО на межгодовом масштабе в этом районе хорошо согласуется с результатами работы [8], базирующейся на данных реанализа OI SST за период 1982 – 2017 гг. К югу от Южной ветви АЦТ в морях Уэдделла и Лазарева наблюдаются слабые значимые тренды, величины которых не превышают -0,2 – -0,4°C/432 мес. Восточнее 40° з.д. зоне действия АЦТ отмечаются слабые положительные тренды (до 0,4°C/432 мес) с достоверностью ниже 95%.

Увеличение уровня межгодовой изменчивости ТПО и значений ее трендов в зонах интенсивных геострофических течений иллюстрируют распределения величин  $|\bar{v}_g|$ ,  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО и трендов вдоль отдельных меридианов (рисунок 2). При этом положение стрежней течений (максимумов скорости) иногда несколько смещено относительно положения максимумов  $СКО_{\text{меж}}$  и трендов – в Арктике преимущественно к югу, а в Антарктике к северу.

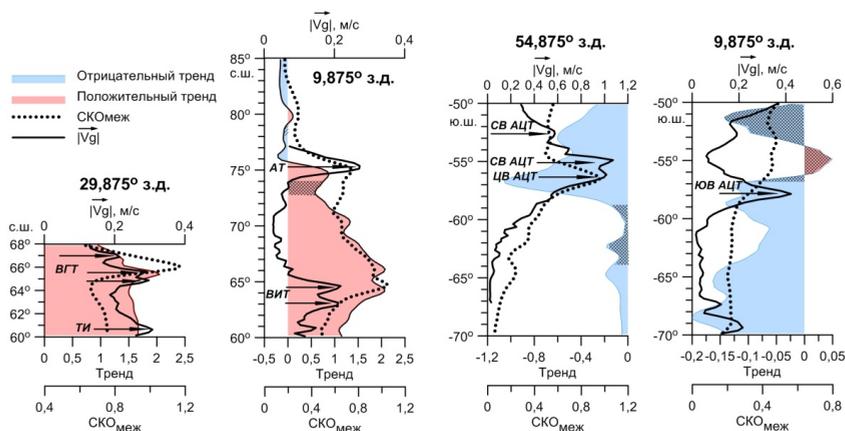


Рисунок 2 – Распределения среднегодовых величин  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО (°C), линейных трендов ТПО (°C/432 мес) и модуля  $|\bar{v}_g|$  геострофической скорости вдоль отдельных меридианов

Распределения помесячных трендов ТПО, осредненных по акваториям Атлантических секторов полярных бассейнов (рисунок 3, а), показали, что их величины заметно изменяются в течение года. В Арктике максимальные значения положительных трендов ТПО наблюдаются в августе-сентябре в период максимального прогресса поверхностных вод и минимальной сплоченности дрейфующих льдов. В марте-апреле, когда концентрация льдов максимальна, значения положительных трендов ТПО минимальны. В Антарктике

максимальные по абсолютной величине отрицательные тренды ТПО наблюдаются с августа по октябрь, в период выхолаживания поверхностных вод и максимальной концентрации льдов, минимальные – в январе-марте, в период максимального прогрева вод и уменьшения концентрации дрейфующего льда.

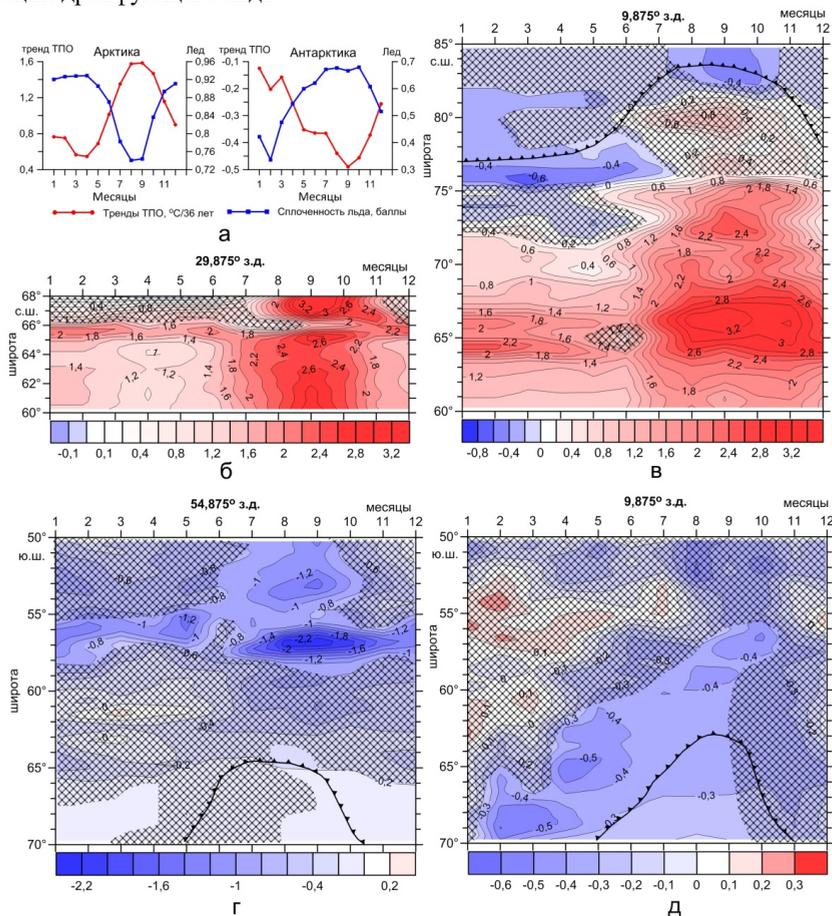


Рисунок 3 – Распределения помесячных величин линейных трендов ТПО и сплоченности льда, осредненных в границах исследуемых акваторий (а), диаграммы Ховмёллера для величин трендов для меридианов 29,875° з.д. (б) и 9,875° з.д. (в) в Арктике, 54,875° з.д. (г) и 9,875° з.д. (д) в Антарктике. Жирные черные линии – границы льдов 90%-ной балльности

Распределения помесячных величин трендов ТПО по широте вдоль отдельных меридианов, примеры которых представлены на рисунке 3, б – д, показали, что повышенные значения трендов, так же, как и в случае распределения трендов за весь период, наблюдаются в зонах интенсивных течений. Так, величины трендов в зонах Восточно-Гренландского и Восточно-Исландского течений в течение всего года превышают соответственно 1,4°C/36 лет (рисунок 3, б, в). При этом в Арктике на всей акватории сохраняется тенденция увеличения положительных трендов в августе-сентябре. В эти месяцы в зонах Восточно-Гренландского и Восточно-Исландского течений величины трендов достигают 3,2°C/36 лет (рисунок 3, б, в), в зоне течения Ирмингера – 2,8°C/36 лет (рисунок 3, б). На северной периферии Арктического течения с января по июль наблюдаются значимые отрицательные тренды ТПО, максимум которых (–0,6°C/36 лет) отмечается в феврале-марте, с августа по декабрь тренды становятся положительными, но статистическая достоверность их ниже 95%. Значимые положительные

тренды наблюдаются на южной периферии АТ с июня по декабрь с максимумом ( $2,4^{\circ}\text{C}/36$  лет) в сентябре (рисунок 3, в). В целом к северу границы льдов 90%-ной сплоченности в течение года тренды ТПО отрицательны. В Антарктике изменения величин помесечных трендов в зоне АЦТ и к югу от Южной ветви АЦТ заметно отличаются. Так, в проливе Дрейка и в западной части моря Скоша в зоне Северной и Центральной ветвей АЦТ максимальные отрицательные тренды ( $-1,4^{\circ}\text{C}/36$  лет и  $-2,4^{\circ}\text{C}/36$  лет соответственно) наблюдаются в августе-сентябре (рисунок 3, г). В Круговороте моря Уэдделла в результате сезонного выхолаживания вод и смещения границы дрейфующих льдов на север отмечается фазовое запаздывание периодов, когда тренды ТПО максимальны. Максимальные тренды ( $-0,4 - -0,5^{\circ}\text{C}/36$  лет) наблюдаются южнее  $67^{\circ}$  ю.ш. в феврале-марте, между  $66^{\circ}$  и  $61^{\circ}$  ю.ш. – в апреле-мае, севернее  $60^{\circ}$  ю.ш. – в августе, а на южной периферии АЦТ – в сентябре-октябре (рисунок 3, д).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2021-0004 «Океанологические процессы».

### Список литературы

1. Anisimov O.A., Vaughan D.G., Callaghan T.V., Furgal C., Marchant H., Prowse T.D., Vilhjálfsson H., Walsh J.E. Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson, Eds. Cambridge: University Press, 2007. P. 653–685.
2. Семенов В.А., Мохов И.И., Латуф М. Роль границ морского льда и температуры поверхности океана в изменениях регионального климата в Евразии за последние десятилетия // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 4. С. 403–421.
3. Polyakov I., Walsh D., Dmitrenko I., Colony R.L., Timokhov L.A. Arctic Ocean variability derived from historical observations // Geophys. Res. Letter, 2003, vol. 30, no 6, 1298, p. 31–31-4. doi:10.1029/2002GL016441
4. Swift J.H., Aagaard K., Timokhov L., Nikiforov E.G. Long-term variability of Arctic Ocean waters: Evidence from a reanalysis of the EEWG data set // J. Geophys. Res., 2005, v. 110, iss. C03012, doi:10.1029/2004JC002312
5. Johnston B.M., Gabric A.J. Long-term trends in upper ocean structure and meridional circulation of the Southern Ocean south of Australia derived from the SODA reanalysis // Tellus A, 2010, v. 62, iss. 5, p. 719–736, doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00462.x
6. Beszczynska-Möller A., Fahrbach E., Schauer U., Hansen E. Variability in Atlantic water temperature and transport at the entrance of the Arctic Ocean 1997–2010 // ICES J. Mar. Sci., 2012, vol. 69, iss. 5, p. 852–863, doi:10.1093/icesjms/fss056
7. Johnson G.C., Lyman J.M. Warming trends increasingly dominate global ocean // Nature Climate Change, 2020, v. 10, iss. 8, p. 757–761, doi:10.1038/s41558-020-0822-0
8. Risaro D.B., Chidichimo M.P., Piola A.R. Interannual Variability and Trends of Sea Surface Temperature Around Southern South America // Frontiers in Marine Science, 2022, v. 9:829144, 20 p., doi:10.3389/fmars.2022.829144
9. Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J., Lachlan-Cope T.A., Carleton A.M., Jones P.D., Lagun V., Reid P.A., Iagovkina S. Antarctic Climate Change during the Last 50 Years // International Journal of Climatology, 2005, v. 25, no. 3, p. 279–294, doi:10.1002/joc.1130
10. Reynolds R.W., Smith T.M., Liu C., Chelton D.B., Casey K.S., Schlax M.G. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature // J. of Climate, 2007, v. 20, iss. 22, p. 5473–5496, doi:10.1175/2007JCLI1824.1
11. Mann H.B. Nonparametric tests against trend // Econometrica, 1945, v. 13, iss. 3, p. 245–259, doi:0012-9682(194507)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U
12. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. Fourth edition. Griffin: London, 1970, 202 p.
13. Lemke P., Ren J., Alley R., Allison I., Carrasco J., Flato G., Fujii Y., Kaser G., Mote P., Thomas R., Zhang T. Observations: change in snow, ice and frozen ground. Climate Change 2007: The

Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge: University Press, 2007, p. 337–384. doi:[10.1017/CBO9780511546013](https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013)

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ ОКЕАНА В ОБЛАСТИ ЭЛЬ-НИНЬО— ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА УРОВЕНЬ В ЗОНЕ ПЕРУАНСКОГО АПВЕЛЛИНГА**

Смирнов М.А., Малинин В.Н., Митина Ю.В., Мартина-Васкез Д.  
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*malinin@rshu.ru*

*Аннотация.* Обсуждаются особенности межгодовых колебаний уровня океана в экваториальной зоне Тихого океана по спутниковой альтиметрии с использованием базы данных AVISO (Франция). Предложены индексы уровня, характеризующие Ла-Нинья ( $SL_{SO}$ ) и Эль-Ниньо ( $SL_{EN}$ ), которые тесно связаны с индексами ЭНЮК. Показано, влияние температуры воды в районе Эль-Ниньо  $N_{3+4}$  и  $SL_{EN}$  на изменчивость уровня в зоне Перуанского апвеллинга до  $10^\circ$  ю.ш.

*Ключевые слова.* Эль-Ниньо, уровень океана, температура поверхности океана, Перуанский апвеллинг

## **SEA LEVEL VARIABILITY IN THE REGION ENSO AND ITS INFLUENCE ON THE LEVEL IN THE PERUAN UPWELLING ZONE**

Smirnov M.A., Malinin V.N., Mitina Y.V., Martina-Vasquez D.  
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The features of interannual ocean level fluctuations in the equatorial zone of the Pacific Ocean are discussed based on satellite altimetry using the AVISO database (France). Level indices characterizing La Niña ( $SL_{SO}$ ) and El Niño ( $SL_{EN}$ ) are proposed, which are closely related to the ENSO indices. It is shown that the influence of water temperature in the El Niño region  $N_{3+4}$  and  $SL_{EN}$  on the level variability in the zone of the Peruvian upwelling up to  $10^\circ$  S.

*Keywords.* El Niño, ocean level, ocean surface temperature, Peruvian upwelling

Уровень океана во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК) играет важную роль в формировании процессов Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК). При больших положительных значениях индекса  $SOI$  (South Oscillation Index), характеризующего явление Ла-Нинья, пассаты усиливаются, что приводит к значительному нагону более теплых поверхностных вод к побережью Индонезии, понижению атмосферного давления и повышению уровня океана. В это время у восточного побережья океана происходит сгон вод, усиление Перуанского апвеллинга, охлаждение поверхностных вод, повышение атмосферного давления в районе экватора и понижение уровня океана. При отрицательных значениях  $SOI$  (явление Эль-Ниньо) наблюдается обратная ситуация. Пассаты резко ослабевают, давление над Индонезией повышается, огромные массы теплой воды в виде волны Кельвина устремляются на восток. Однако количественные оценки взаимосвязи морского уровня с явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья и прилегающими районами океана малоизучены.

В данной работе использовались данные спутниковой альтиметрии за период 1993—2019 гг., импортированные из базы данных AVISO (Франция), которая содержит оценки уровня поверхности океана с пространственным разрешением  $0,25^\circ$  по широте и долготе [1]. Исходные альтиметрические данные покрывают океан от  $66^\circ$  с. ш. до  $65^\circ$  ю. ш., имеют дискретность примерно 9,9 сут и точность расчёта — 4,2 см.

Выполнен расчет линейных трендов уровня океана в узлах сетки архива AVISO в широтной зоне 20° с.ш. – 20° ю.ш. Тихого океана (рисунок 1). Нетрудно видеть, что очаг с наибольшими оценками тренда находится вблизи южного побережья Индонезии, где его оценки достигают +5,2 мм/год. В центральной и восточной части рассматриваемой акватории оценки тренда практически одинаковы и равны примерно +2,2 мм/год.

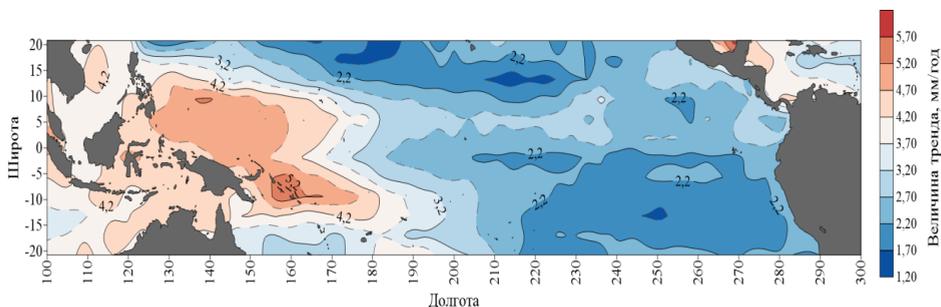


Рисунок 1 – Пространственное распределение тренда среднегодовых значений уровневой поверхности в широтной зоне 20° с.ш. – 20° ю.ш. Тихого океана за период 1993—2019 гг. по данным архива AVISO [2]

В результате расчетов выявлено, что во время Эль-Ниньо уровень в центральной и восточной частях экваториальной зоны океана повышается, а в западной части понижается. Во время Ла-Нинья отмечается обратная картина. При этом разность высот уровня океана между его западной и восточной частью достигает 350 мм. Отметим, что влияние ЭНЮК распространяется на уровень большей части Тихого океана. Например, в Перуанском апвеллинге аномалии уровня составляют примерно 30-50 мм.

В центрах наибольших аномалий уровня выбрано 2 разреза. Западный разрез имеет координаты 137° в.д. и 5—10° с.ш., а центрально-восточный 221° з.д. и 2,5° с.ш. — 2,5° ю.ш. Повышение уровня на западном разрезе характеризует Южное колебание в фазе Ла-Нинья ( $SL_{SO}$ ), в восточном — Эль-Ниньо ( $SL_{EN}$ ). Их разность  $SL_{ENSO} = SL_{EN} - SL_{SO}$  представляет явление Эль-Ниньо — Южное колебание (ЭНЮК) в целом.

В табл. 1 приводятся оценки коэффициентов корреляции среднемесячных и годовых значений этих рядов с индексами ЭНЮК, которые являются значимыми при  $\alpha=0,05$ . Как и следовало ожидать, наиболее высокая корреляция с индексами ЭНЮК имеет  $SL_{ENSO}$ . Максимальная корреляция отмечается с основным индексом ЭНЮК  $N_{3+4}$  ( $r=0,91$ ). Во всех случаях, корреляция для годовых значений выше, чем для среднемесячных значений.

Таблица 1 – Оценки коэффициентов корреляции среднемесячных и среднегодовых значений временных рядов  $SL_{ENSO}$ ,  $SL_{EN}$  и  $SL_{SO}$  с индексами ЭНЮК за 1993–2019 гг.

Индекс	Среднегодовые значения			Среднемесячные значения		
	$SL_{ENSO}$	$SL_{EN}$	$SL_{SO}$	$SL_{ENSO}$	$SL_{EN}$	$SL_{SO}$
$SL_{ENSO}$	1,00	0,88	-0,94	1,00	0,86	-0,92
$SL_{EN}$	0,88	1,00	-0,66	0,86	1,00	-0,59
$SL_{SO}$	-0,94	-0,66	1,00	-0,92	-0,59	1,00
$MEI.v2$	0,87	0,73	-0,83	0,79	0,70	-0,72
$SOI$	-0,84	-0,67	0,85	-0,66	-0,58	0,60
$N_{3+4}$	0,91	0,89	-0,78	0,84	0,83	-0,70

Явление Эль-Ниньо существенным образом влияет на прибрежные районы Южной Америки. Здесь находится зона Перуанского апвеллинга (ПА), являющаяся важнейшим рыбопродуктивным районом Мирового океана. Так, на акватории ПА, занимающего площадь около 0,02 % площади Мирового океана, добывают около 20 % мирового улова

рыбы [3]. Температура поверхностных вод здесь примерно на 5 градусов ниже, чем в зоне Эль-Ниньо. При ослаблении пассатов огромные массы теплой воды в виде волны Кельвина устремляются на восток. У восточного побережья океана большая часть этих вод поворачивает на юг и накрывает область апвеллинга, вследствие чего поверхностная температура здесь повышается примерно на 5 °С, что приводит к понижению биологической продуктивности, гибели планктона, рыб, особенно наиболее массового вида – анчоуса, птиц т. п.

Очевидно, что уровень океана в зоне ПА должен быть связан с уровнем в регионе ЭНЮК. Отметим, что тренд в уровне в зоне ПА составляет 2,0—2,3 мм/год, что соответствует трендам в центральной и восточной районам ЭНЮК. После этого был выполнен расчет корреляции индекса  $SL_{EN}$  с уровнем в зоне ПА (рисунок 2). Как видно из рисунка 2 достаточно высокая корреляция ( $r > 0,6$ ) простирается узкой полосой вдоль всего побережья Южной Америки. Именно здесь влияние Эль-Ниньо на уровень океана в зоне ПА наиболее существенно. Корреляция с индексом  $SL_{SO}$  носит ячеистый характер и в большинстве точек сеточной области ПА незначима.

Учитывая высокую корреляцию уровневых индексов с ТПО в регионе ЭНЮК, возникает вопрос, насколько хорошо эти две важнейшие характеристики океана связаны друг с другом в зоне ПА. Из базы данных GODAS (Global Ocean Data Assimilation System) были взяты 4 точки с ТПО, достаточно хорошо характеризующими зону ПА и для них подобраны наиболее близко к ним расположенные четыре точки из базы AVISO с оценками уровня океана. В табл. 2 приводятся оценки корреляции между среднегодовыми значениями ТПО и оценками уровня океана за период 1993—2019 гг.

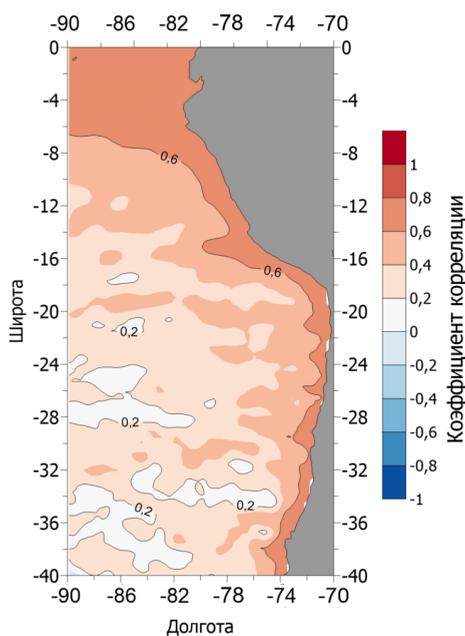


Рисунок 2 – Распределение коэффициентов корреляции между годовыми значениями уровня индекса  $SL_{EN}$  и уровня океана в юго-восточной части Тихого океана

Из таблицы 2 видно, что максимальная корреляция, как и следовало ожидать, отмечается в северном районе ПА (севернее 10° ю.ж.). По мере продвижения на юг она уменьшается и становится не значимой, т.е. влияние Эль-Ниньо на уровень океана в зоне ПА ограничивается северной зоной до 10° юш. Южнее отклик на Эль-Ниньо в уровне океана отсутствует.

Таблица 2 – Оценки корреляции между среднегодовыми значениями ТПО и оценками уровня океана в зоне Перуанского апвеллинга за период 1993-2019 гг. В скобках дается долгота и широта

	ТПО <sub>1</sub> (81.5, 8.5)	ТПО <sub>2</sub> (75.5, 30.5)	ТПО <sub>3</sub> (79.5, 38.5)	ТПО <sub>4</sub> (75.5, 18.5)
SL <sub>1</sub>	0,87	0,33	0,17	0,45
SL <sub>2</sub>	0,37	-0,15	0,17	-0,07
SL <sub>3</sub>	0,14	-0,34	0,26	-0,19
SL <sub>4</sub>	0,63	0,13	0,24	0,30

**Выводы.** Выявлено, что во время Эль-Ниньо уровень в центральной и восточной частях экваториальной зоны океана повышается, а в западной части понижается. Во время Ла-Нинья отмечается обратная картина. При этом разность высот уровня океана между его западной и восточной частью достигает 350 мм. Предложено 2 индекса морского уровня: индекс  $SL_{SO}$  характеризует Южное колебание в фазе Ла-Нинья, а индекс  $SL_{EN}$ , — Эль-Ниньо. Показана высокая корреляция индексов ЭНЮК со среднегодовыми и среднемесячными значениями индексов морского уровня.

Отмечена довольно высокая корреляция ( $r > 0,6$ ) индекса  $SL_{EN}$  с уровнем в зоне ПА, которая простирается узкой полосой вдоль всего побережья Южной Америки. Именно здесь влияние  $SL_{EN}$  на уровень океана в зоне ПА наиболее существенно. Выявлена высокая корреляция ТПО с морским уровнем в северной зоне ПА до  $10^{\circ}$  ю.ш. ( $r = 0,87$ ). По мере продвижения на юг она быстро уменьшается и становится не значимой.

#### Список литературы

1. AVISO. URL: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>.
2. Малинин В. Н., Смирнов М. А. Изменчивость уровня в тропической зоне Тихого океана и Эль-Ниньо — Южное колебание // Гидрометеорология и экология. 2022. № 68. С. 463—477. doi: 10.33933/2713-3001-2022-68-463-477.
3. Tarazona J., Arntz W. The Peruvian Coastal Upwelling System // Ecological Studies. 2001. Vol.144. P. 229–244.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТЕПЛЕНИЯ ОЗЕР БЕЛАРУСИ

Суховило Н. Ю.

Белорусский государственный университет, Минск

*nina\_s3894@mail.ru*

*Аннотация.* Анализ эффективности потепления пяти озер Беларуси показал, что в летний наиболее сильно влияние климатических изменений проявляется в тепловом режиме оз. Нарочь, наименее выражен данный процесс в оз. Дривяты. В годовом разрезе активнее всего происходит рост температур воды в озере Червоное, озеро Выгоноцанское подвержено влиянию потепления климата в наименьшей степени.

*Ключевые слова.* озеро, изменение климата, эффективность потепления, Беларусь.

### ASSESSING THE WARMING EFFICIENCY OF BELARUSIAN LAKES

Sukhavila N.Yu.

Belarusian State University (BSU), Minsk

*Annotation.* The analysis of warming efficiency of 5 Belarusian lakes showed that in summer the most pronounced effect of climate change is manifested in the thermal regime of Lake Naroch, this process is least

pronounced in Lake Driviaty. In the annual context, the most active increase in water temperatures occurs in Lake Chervonoe, Lake Vygonoshchanskoe is least affected by climate warming.  
*Keywords.* Lake, climate change, warming efficiency, Belarus.

Озера являются хорошими индикаторами климатических изменений [1], поэтому изучение их термического режима важно для понимания того, как реагируют водные объекты на климатические колебания. Географическое положение территории Беларуси в гумидной зоне умеренного климата определяет общие черты их гидрологического и термического режима, однако местные условия и факторы среды, такие как рельеф водосборов, генезис котловин, антропогенное воздействие, формируют локальные особенности, присущие конкретному водоему. Эффективность потепления – это простой усредненный по озеру показатель, введенный Toffolon et al. (2020) [2], который количественно определяет, в какой степени температура поверхностного слоя воды изменяется по отношению к изменению температуры воздуха. Данный показатель позволяет произвести предварительную оценку отклика конкретного озера на климатические колебания. Его расчет отличается простотой, т.к. не требует применения сложных моделей, а данные измерений температур воды и воздуха более доступны по сравнению другими данными, которые требуются для вычисления сложных комплексных показателей.

Объектом исследования являются озера Беларуси. В настоящее время стационарные наблюдения за температурой воды и гидрологическим режимом проводятся на 4 озерах, до 2022 г. – на 5. Это озера Нарочь, Дривяты, Лукомское, Червоное и Выгонощанское. Площади озер изменяются от 26,0 (Выгонощанское) до 79,6 (Нарочь) км<sup>2</sup>, объемы воды – от 27,4 (Червоное) до 710 (Нарочь) млн м<sup>3</sup> [3]. Период исследования охватывает 1971 – 2020 гг. Картограмма расположения объектов исследования изображена на рисунке 1. Помимо данных измерений температур воды [4], для анализа эффективности потепления озер необходимы данные о температурах воздуха на ближайших к озерам метеостанциях. Ближайшей к озеру Нарочь является метеостанция Лынтупы, к озеру Дривяты – Шарковщина, к озеру Лукомскому – Лепель, к озеру Червоное – Житковичи, к озеру Выгонощанское – Ивацевичи. Следует отметить, что озеро Лукомское служит водоемом-охладителем Лукомльской ГРЭС, тепловой режим остальных озер формируется в естественных условиях.

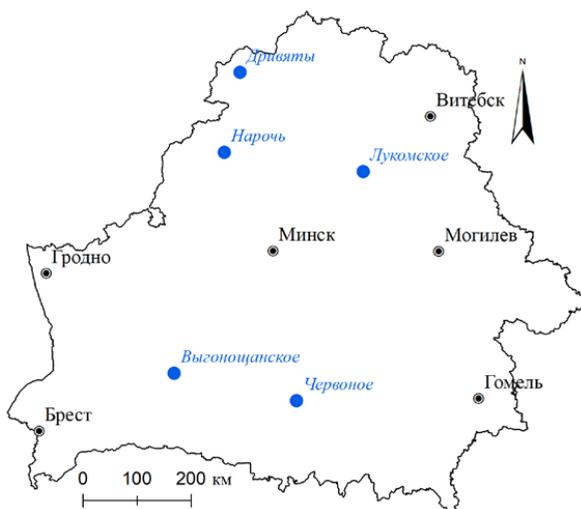


Рисунок 1 – Картограмма расположения объектов исследования

Эффективность потепления – это простой усредненный по озеру показатель, введенный Toffolon et al. (2020) [1], который количественно определяет, в какой степени температура поверхностного слоя воды изменяется по отношению к изменению температуры воздуха. Для расчета этого показателя для летнего периода сначала для каждого озера были определены пять самых холодных и пять самых теплых лет за период 1971–2020 гг. (по средней летней температуре водной поверхности). Затем средние летние температуры воздуха и воды за эти годы усреднялись для получения значений средних температур воздуха и воды, репрезентативных для самых холодных и самых теплых лет. Эти усредненные значения использовались для расчета разности температур между самыми теплыми и самыми холодными годами как для температуры воздуха:

$$\Delta AT = AT_{\text{теплый}} - AT_{\text{холодный}}, \quad (1)$$

так и для температуры воды:

$$\Delta LSWT = LSWT_{\text{теплый}} - LSWT_{\text{холодный}} \quad (2)$$

где AT – температура воздуха (air temperature), LSWT – температура водной поверхности в озерах (lake surface water temperature).

Летняя эффективность прогрева  $\eta$  представляет собой отношение между ростом поверхностных температур воды в озере в самом теплом месяце и ростом температур воздуха на ближайшей к нему метеостанции:

$$\eta = \frac{\Delta LSWT}{\Delta AT} \quad (3)$$

где  $\Delta LSWT$  – изменение поверхностной температуры воды за исследуемый период;

$\Delta AT$  – изменение температуры воздуха за аналогичный период [2]. Рассчитанный коэффициент является безразмерной величиной.

Аналогичные расчеты можно проводить не только для самого теплого месяца (июля или августа), но и для безлюдного периода или даже года в целом, что и было осуществлено. Для этого использовались среднегодовые температуры воды и воздуха за 5 самых теплых и холодных лет соответственно. Следует отметить, что холодные и теплые годы для различных озер несколько отличаются, но в основном холодный период охватывает 1974 – 1987 гг., наиболее теплыми практически везде являются 2014 – 2020 гг.

Поскольку на озерах Беларуси ежедневные наблюдения за температурой воды проводятся только на гидрологических постах у берега, температуры воды в рамках проведенного исследования усреднялись не по площади озера, а только во времени.

Средние годовые температуры поверхностного слоя воды у берега в исследуемых озерах изменяются от 8,45 °C у оз. Дривяты, расположенного на северо-западе Беларуси, до 9,66 °C у оз. Червоное, которое находится в юго-восточной части страны. Это в среднем на 2 °C выше, чем среднегодовые температуры воздуха на ближайших метеостанциях. Среднемесячные температуры воды в озерах Беларуси отражены в таблице 1, тренды ее изменения – в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что наиболее сильно рост температур воды выражен в период с апреля по август, а также в ноябре. В мае для оз. Червоное рост температур воды составляет 0,13 °C/год или 1,3 °C за десятилетие. В озерах Поозерья самые высокие темпы роста температур воды (0,094 °C/год) отмечаются в озере Лукомское в июле.

Таблица 1 – Средние месячные и годовые температуры поверхностного слоя воды у берега в исследуемых озерах, 1971 – 2020 гг., °С

Озеро	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Выгонощанское	0,19	0,2	1,2	7,71	14,65	18,61	20	19,16	13,85	8,36	2,74	0,62	8,99
Нарочь	0,18	0,14	0,43	4,78	12,58	17,7	19,9	19,72	14,9	8,42	3,18	0,66	8,55
Дривяты	0,2	0,15	0,71	5,02	12,24	17,83	19,93	19,27	14,62	8,12	2,72	0,62	8,45
Червоное	0,15	0,24	1,58	7,93	15,66	20,18	21,84	20,98	15,55	8,45	2,85	0,55	9,66
Лукомское	0,32	0,33	1,46	6,51	13,88	19,06	21,35	20,85	16,12	10,27	4,26	1,32	9,49

Таблица 2 – Месячные и годовые тренды изменения температуры поверхностного слоя воды у берега в исследуемых озерах, 1971 – 2020 гг., °С/год

Озеро	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Выгонощанское	0,006	0,009	<b>0,06</b>	<b>0,097</b>	<b>0,078</b>	<b>0,079</b>	<b>0,091</b>	<b>0,082</b>	<b>0,054</b>	<b>0,034</b>	<b>0,054</b>	0,015	<b>0,051</b>
Нарочь	0,008	0,004	0,024	<b>0,076</b>	<b>0,07</b>	<b>0,076</b>	<b>0,083</b>	<b>0,07</b>	<b>0,033</b>	<b>0,042</b>	<b>0,063</b>	<b>0,03</b>	<b>0,048</b>
Дривяты	0,007	0,001	0,028	<b>0,043</b>	<b>0,068</b>	<b>0,068</b>	<b>0,041</b>	<b>0,03</b>	<b>0,043</b>	<b>0,018</b>	<b>0,062</b>	<b>0,031</b>	<b>0,037</b>
Червоное	0,005	0,013	<b>0,075</b>	<b>0,102</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,109</b>	<b>0,084</b>	<b>0,039</b>	<b>0,042</b>	<b>0,057</b>	0,025	<b>0,066</b>
Лукомское	0,012	0,01	<b>0,041</b>	<b>0,06</b>	<b>0,064</b>	<b>0,08</b>	<b>0,094</b>	<b>0,085</b>	<b>0,086</b>	0,016	<b>0,047</b>	<b>0,033</b>	<b>0,052</b>

Примечание – полужирным выделены значимые тренды при уровне значимости 0,01

Коэффициент эффективности потепления озер Беларуси в летний период в среднем равен 1,45 и варьируется от 1,09 у оз. Дривяты до 2,47 у оз. Нарочь, как показано в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета эффективности потепления озер Беларуси в июле – августе

Озеро	Средняя температура воды, °С		Средняя температура воздуха, °С		Эффективность потепления
	Теплые годы	Холодные годы	Теплые годы	Холодные годы	
Лукомское	23,46	19,14	19,18	16,16	1,43
Дривяты	22,10	19,02	18,50	15,68	1,09
Нарочь	21,90	17,12	17,48	15,54	2,47
Выгонощанское	21,92	18,42	20,26	17,14	1,12
Червоное	23,38	19,36	19,94	16,46	1,16

Летом эффективность потепления находится в прямой зависимости от площади водной поверхности, как показано на рисунке 2. Коэффициент корреляции в данном случае составил 0,96.

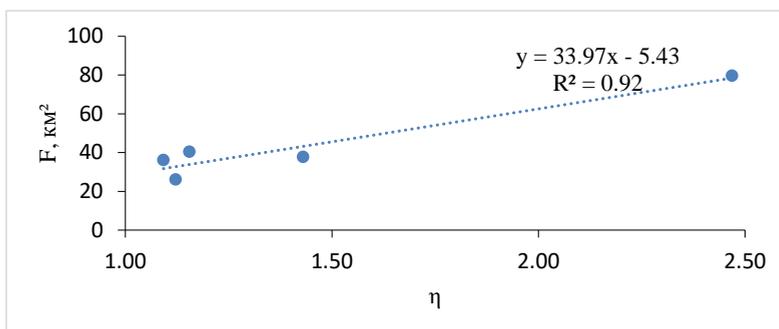


Рисунок 2 – Зависимость между летней эффективностью потепления и площадью водной поверхности озер

В годовом разрезе наблюдается иная картина. Наиболее активно рост температуры воздуха влияет на повышение температуры воды мелководного озера Червоное, эффективность потепления для которого равна 1,42, т.е. температура воды растет в 1,42 раза быстрее температуры воздуха. Следует отметить, что для оз. Выгонощанское характерен наиболее медленный рост температуры воды по сравнению с температурой воздуха (0,68), что, вероятнее всего, может быть объяснено водораздельным положением озера, большой площадью болот на водосборе и активным притоком холодных грунтовых вод, занимающих значительную долю в питании водоема. Среднее значение показателя составило 1,07, что ниже летнего на 0,28. Эффективность потепления озер Беларуси за год отражена в таблице 4.

Если в летний период эффективность потепления находится в тесной зависимости от морфометрических параметров, то для годовых коэффициентов подобные взаимосвязи не выявлены. Не обнаружено также связи этого показателя с площадью водосбора и периодом водообмена. Предположение о зависимости эффективности потепления озера от структуры его водосбора и соотношения компонентов водного баланса требует дальнейших детальных исследований.

Таблица 4 – Результаты расчета эффективности потепления озер Беларуси за год

Озеро	Средняя температура воды, °С		Средняя температура воздуха, °С		Эффективность потепления
	Теплые годы	Холодные годы	Теплые годы	Холодные годы	
Лукомское	10,88	8,07	7,18	4,44	1,03
Дривяты	9,77	7,21	7,56	5,02	1,01
Нарочь	10,03	7,15	7,56	5,14	1,19
Выгонощанское	10,27	7,72	9,70	5,98	0,68
Червоное	11,38	7,83	8,56	6,06	1,42

Полученные результаты совпадают с результатами расчета эффективности потепления Великих Американских озер, где наиболее высокий коэффициент отмечен для оз. Верхнее, которое является самым большим в системе озер. Для периода с мая по июль он составил 1,8, для периода с июля по сентябрь – около 2,0. С мая по июль в озере Онтарио также зафиксировано высокое значение  $\eta$  (выше 1,8), в то время как в другие месяцы и за год в целом оно не превышает 1,4, но в основном близко к 1 [2].

Таким образом, в летний период температура воды в озерах Беларуси растет в среднем в 1,45 раза быстрее температуры воздуха, за год – в 1,07 раза. Из-за небольшого количества озер четкие географические закономерности распределения эффективности потепления озер выявить не представляется возможным. К сожалению, в Беларуси не проводятся стационарные наблюдения на небольших озерах с различной глубиной. Это позволило бы более детально изучить пространственное распределение эффективности их потепления и спрогнозировать отклик озер на климатические изменения.

#### Список литературы

1. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change / С. Е. Williamson [et al.] // *Limnol. Oceanogr.* 2009. Vol. 6, part 2. № 54. P. 2273–2282.
2. Toffolon, M., Piccolroaz, S., Calamita, E. On the use of averaged indicators to assess lakes' thermal response to changes in climatic conditions. *Environ. Res. Lett.* 2020, 15, 034060.
3. Озёра Беларуси: Справочник. / Б. П. Власов [и др.] // Минск: БГУ, 2004. 284 с.
4. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Минск, 1972–2021 (до 1977 г. – «Гидрологический ежегодник»).

# **ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КИРГИЗИИ И ТАДЖИКИСТАНА)**

Толмачева С.А.

Российский государственный педагогический университет им. Герцена, Санкт-Петербург  
*s-a-tolmacheva@yandex.ru*

*Аннотация.* В связи с изменениями климата обострились вопросы условий использования трансграничных водотоков. Так, несколько лет назад, водопользование реки Исфара стало причиной вооружённого конфликта между республиками Таджикистан и Кыргызстан. Вне всякого сомнения, одним из конструктивных путей решения проблемы является существующей правовой основы водопользования трансграничных водотоков и регулярный мониторинг состояния водных объектов.

*Ключевые слова.* Средняя Азия, водопользование, водопотребление, трансграничный водоток, изменение климата, Таджикистан, Кыргызстан

## **LEGAL ASPECTS OF WATER USE IN A CHANGING CLIMATE (ON THE EXAMPLE OF WATER RESOURCES OF KYRGYZSTAN AND TAJKISTAN)**

Tolmacheva S.A.

Herzen State Pedagogical University, Saint Petersburg

*Abstract.* Due to climate changes, the issues of conditions for the use of transboundary watercourses have become more acute. So, a few years ago, the water use of the Isfara River caused an armed conflict between the republics of Tajikistan and Kyrgyzstan. Undoubtedly, one of the constructive ways to solve the problem is the existing legal framework for the use of transboundary watercourses and regular monitoring of the condition of water bodies.

*Keywords.* Central Asia, water use, water consumption, transboundary watercourse, climate change, Tajikistan, Kyrgyzstan

Наблюдаемое в последние десятилетия изменения климата определяет перемены в условиях формирования стока водотоков на водосборах. При этом меняется не только величина годового стока, но и его внутригодовое распределение. Например, более теплые в сравнении с прежним климатическим периодом зимы Северо-Запада РФ часто характеризуются положительными температурами и, как следствие, незначительным снежным покровом. Это определяет снижение объема стока половодья и увеличение зимнего стока. В связи с этим меняются и условия водопользования различными водопотребителями.

Особенные сложности использования водных ресурсов представляют трансграничные водотоки южных регионов нашей планеты [1]. Уменьшение стока в связи с возросшей величиной испарения приводит к дефициту водных ресурсов на протяжении всего течения водотока. Вполне понятное использование воды в прежних масштабах в верхних звеньях гидрографической сети определяет очевидный дефицит таковой в нижнем течении водотока.

При этом, к основным проблемам водопользования трансграничных водотоков в условиях изменения климата можно отнести расходование больших объемов воды на полив сельскохозяйственных полей, регулирование плотин, наполнение которых в условиях дефицита стока также заметно снижает сток воды нижнего течения. Также с уменьшением водности рек и сохранением антропогенной нагрузки на водные объекты увеличиваются концентрации загрязняющих веществ, поступающих в водоемы и водотоки, что приводит к принципиальному ухудшению качества воды [2].

Так, уменьшение стока трансграничной реки Исфара, протекающей по территории Киргизии и Таджикистана, привело к требованию властей Таджикистана о переносе государственной границы вверх по течению для обеспечения более полноценного водопользования. Несмотря на то, что река несет свои воды через обе республики, её верховье, благодаря которому можно накапливать воду на сельскохозяйственные работы, проходит по спорным участкам границы. Для раздела водного ресурса между странами в

1972 было построено Торткульское водохранилище и установлен водозабор “Головной”, функцией которого является распределение воды. Однако таджикская сторона обвиняет киргизов в незаконном использовании водохранилища, расположенного согласно официальной позиции Таджикистана, на таджикских исторических землях. Очевидно, что подобные территориальные претензии Киргизией оспариваются. Причиной одного из самых ожесточённых конфликтов между этими странами собственно стала попытка таджикских представителей установить возле водозабора камеры видеонаблюдения для контроля распределения воды [3].

Река Исфара (среднегодовой расход 14,5 м<sup>3</sup>/с вблизи посёлка Ташкурган; длина 130 км) берёт своё начало (рисунок 1) в Кыргызстане на северном склоне Туркестанского хребта на высоте около 3 тысяч метров.

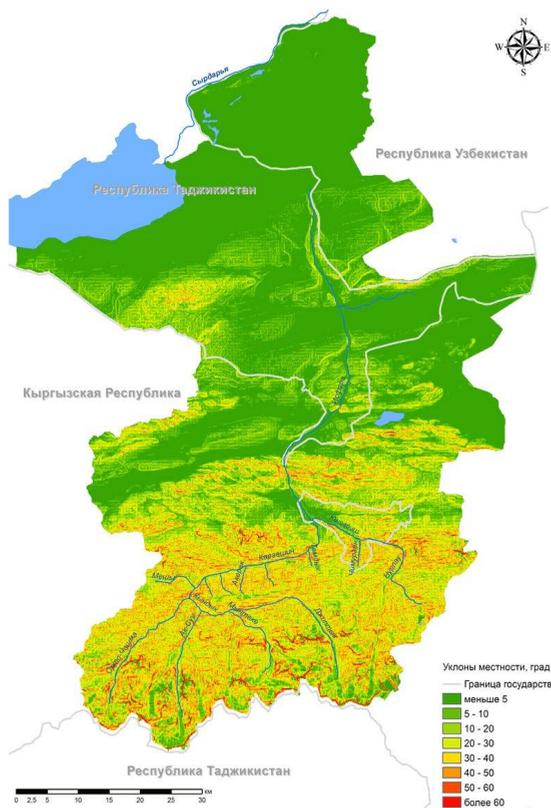


Рисунок 1 – Бассейн реки Исфара

Питание реки преимущественно снеговое и ледниковое. В своём среднем и нижнем течении р. Исфара протекает по территории республики Таджикистан, при этом частично сток на правобережье формируется на территории Узбекистана. На текущий момент река исчерпывающе используется в сельскохозяйственном секторе. Водопотребление реки со стороны Таджикистана ежегодно составляет около 200-300 млн. куб. м [4]. Со стороны Киргизии за 2012 год например использование водных ресурсов реки оценивается около 69 млн.м<sup>3</sup> воды.

Что касается использования воды трансграничных водотоков в регионе Центральной Азии, то оно имеет некоторые особенности. Когда существовал СССР действовала

централизованная система управления водным хозяйством и энергетикой, согласно которой каждой республике доля водных ресурсов выделялась в зависимости от потребностей и степени сельскохозяйственного освоения земель [5]. На тот момент площадь орошаемых земель Таджикистана была невелика (по сравнению с прочими республиками Центральной Азии), лимит водозабора был предоставлен довольно незначительный [6]. На сегодняшний день ключевым источником правового регулирования отношений Таджикистана и Киргизии в вопросе использования трансграничных вод является Алма-Атинское соглашение. Договаривающиеся стороны, подписывая данное Соглашение, признали общность и единство водных ресурсов региона и равные права на водопользование и ответственность за их рациональное использование и охрану [7].

Кроме того, в регионе действует уполномоченная Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии, в функции которой входит установление лимита водозабора для каждого государства с учётом их потребности [8].

В связи с меняющимся климатом, изменением условий формирования стока и его внутригодового распределения должны быть пересмотрены и условия водопотребления в трансграничных водных объектах. На последних заседаниях МКВК не поднимаются вопросы изменения концепции водопользования в свете отмеченных выше обстоятельств [9]. Вне всякого сомнения, на первом месте стоит охрана водных ресурсов и их рациональное водопользование, учитывающее интересы всех заинтересованных сторон. При этом наиболее конструктивными представляются: комплексный мониторинг всех гидрологических характеристик трансграничных водных объектов; оптимизация водопользования с учетом потребностей каждого заинтересованного государства.

В связи с этим необходимо пересмотреть правовое регулирование вопросов водопользования трансграничных водных объектов и, возможно, сформировать международную декларацию, унифицированную для всех стран с учётом региональных особенностей водопользования [10]. При этом для формирования новой правовой основы необходимы также текущие и прогнозные оценки водных ресурсов и концепция развития водохозяйственного потенциала отдельных стран.

### Список литературы

1. *Рысбеков, Ю.Х.* Трансграничное сотрудничество на международных реках: проблемы, опыт, уроки, прогнозы экспертов / Ю.Х. Рысбеков, под ред. В.А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2009. – 203 с
2. *Косарева, М.А.* Трансграничные природные ресурсы в международном праве: понятие, статус, режим: дис. канд. юрид. Наук. – М. 2008. – 196 с.
3. [https://lenta.ru/articles/2022/02/09/krg\\_tdj/](https://lenta.ru/articles/2022/02/09/krg_tdj/)
4. *Каюмов, Н.К.* Глобализационные процессы и экономические проблемы Таджикистана / Н.К. Каюмов, Т.Н. Назаров, И.И. Махмудов, Р.К. Рахимов, Х.У. Умаров // Экономика Таджикистана: стратегия развития. – 2003.– № 4. – 5 с.
5. *Ясинский, В.А.* Водные ресурсы трансграничных рек в региональном сотрудничестве стран Центральной Азии / В.А. Ясинский, А.П. Мироненков, Т.Т. Сарсембеков. – Алматы: Евразийский банк развития, 2010. – 263 с.
6. *Джабборов, Ф.Н.* К вопросу об обязанности не нанесения значительного ущерба другим государствам при использовании трансграничных рек / Ф.Н. Джабборов // Вестник Таджикского национального университета. Серия гуманитарных наук. – 2015. – № 3/4 (170). – С. 140-144
7. *Петров, Г.Н.* Проблемы использования водно-энергетических ресурсов трансграничных рек в Центральной Азии и пути их решения / Г.Н. Петров. – Душанбе, 2009. – 48 с
8. *Джабборов, Ф.Н.* Состояние и перспективы договорного регулирования международных водных отношений в регионе Центральной Азии / Ф.Н. Джабборов // Известия Института

философии, политологии и права им. А. Баховаддинова Академии наук Республики Таджикистан. – 2017 – № 3 (1). – С. 166-170.

9. [http://www.icwc-aral.uz/index\\_ru.htm](http://www.icwc-aral.uz/index_ru.htm)

10. Абдусаматов, М. Рекомендации по предупреждению и разрешению конфликтных ситуаций при распределении и использовании водных ресурсов / М. Абдусаматов, Р.Б. Абдулатипов, Я.Э. Пулатов. – Душанбе: «Мир полиграфии», 2003. – 72 с

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА

Травкин В.С.<sup>1,2</sup>, Белоненко Т.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургское отделение государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова, Санкт-Петербург  
*vtravkin99@gmail.com*

*Аннотация.* В работе рассматриваются топографические волны Курило-Камчатского региона, проявляющиеся в виде системы цепочек мезомасштабных вихрей за 1993-2020 гг.

*Ключевые слова.* Мезомасштабные вихри, топографические волны.

## TOPOGRAPHIC WAVES IN THE KURIL REGION

Travkin V.S.<sup>1,2</sup>, Belonenko T.V.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> St Petersburg Branch of State Oceanographic Institute, St Petersburg

*Annotation.* The work involved the topographic waves in the Kuril region for 1993-2020.

*Keywords.* Mesoscale eddies, topographic waves.

Топографические волны Россби образуются в районах Мирового океана, где значительны крупномасштабные топографические изменения морского дна. В Мировом океане низкочастотные волны этих типов могут проявляться в виде перемещающихся мезомасштабных вихрей, пространственный размер которых лежит в диапазоне от нескольких до первых сотен километров, а период волн — от суток до нескольких лет. Для эмпирического изучения топографических волн активно используют натурные измерения, данные океанических моделей и глобальных реанализов, а также спутниковые наблюдения. Топографические волны принадлежат к типу захваченных волн, так как их энергия захватывается в районах с крупномасштабными изменениями донной топографии, а вне их затухает. Топографические волны оказывают существенное воздействие на энерго- и массообмен акваторий Мирового океана, короткопериодные колебания климата, апвеллинг, даунвеллинг и биопродуктивность прибрежных акваторий [1]. Предмет настоящего исследования — низкочастотные волны в области Курильского шельфа и Курильского жёлоба. Курильский район характеризуется повышенной мезомасштабной активностью вихрей, чему способствуют специфические динамические условия. В этом районе происходит сложное динамическое взаимодействие двух крупномасштабных течений: холодного Ойясио с тёплыми рингами Куроисио, а изменчивость океанологических параметров наблюдается в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. В области Курильской гряды упорядоченное перемещение мезомасштабных вихрей может рассматриваться как несколько систем низкочастотных топографических волн, одна из которых распространяется вдоль шельфа в юго-западном направлении и представлена шельфовыми волнами, а другие характеризуются волнами, распространяющимися по склонам Курильского жёлоба, а также вдоль топографической неоднородности мористее желоба. Установлено, что волны в Курильском жёлобе — желобовые волны —

распространяются на северо-восток вдоль Курильского жёлоба и оказывают существенное влияние на формирование мезомасштабных колебаний и суточных приливов в регионе. Данные спутниковых наблюдений свидетельствуют, что эти желобовые волны формируют стабильную систему движущихся вихрей, представленных квазистационарными образованиями со скоростями порядка 2–6 см/с, движущимися в северо-восточном направлении вдоль Курильского жёлоба [2]. Известно, что мезомасштабные вихри в районе жёлоба формируются за счёт динамического воздействия атмосферы на океаническую поверхность и имеют резонансную природу. Данные вихри формируются в результате баротропной и бароклинной неустойчивости Ойясио в холодный период года, когда оно усиливается и значительно меандрирует. Таким образом, генерация вихрей, перемещающихся в Курильском районе, может быть различной.

Целью данной работы является анализ топографических волн Курильского района, проявляющихся в виде цепочек мезомасштабных вихрей, при помощи спутниковых и модельных данных. В работе рассматриваются вертикальные профили мезомасштабных вихрей, создаются пространственные карты их траекторий, повторяемости. Даны оценки основных параметров антициклонов и циклонов. Полученные результаты являются новыми, поскольку используемые данные ни разу не применялись для района исследования.

В работе используются данные глобального океанического реанализа GLORYS12V1, доступного на портале CMEMS (Copernicus Marine Service – CMEMS, <http://marine.copernicus.eu/>). Данные имеют пространственное разрешение  $1/12^\circ$  по широте и долготе, и временную дискретность в одни сутки. По вертикали массив содержит 50 уровней с шагом от 1 м до 453 м на нижних горизонтах. В работе используются данные по температуре, солёности, а также компонентам скоростей реанализа GLORYS12V1 за 1993–2021 гг.

Помимо глобального реанализа, в работе используется атлас мезомасштабных вихрей Мирового океана “Mesoscale Eddy Trajectory Atlas META 3.2 DT”. Атлас доступен на портале AVISO+ (<https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/value-added-products/global-mesoscale-eddy-trajectory-product/meta3-2-dt.html>). Атлас основан на использовании полей альтиметрической информации, при помощи которых происходит детектирование мезомасштабных вихревых структур Мирового океана. Атлас содержит информацию о типе вихрей, их продолжительности жизни, амплитуде, орбитальной скорости, радиусе. Кроме того, каждому вихрю присваивается свой идентификационный номер, что позволяет отслеживать его пространственно-временную эволюцию. Алгоритм детектирует мезомасштабные вихри как скопление пикселей, удовлетворяющих определенным требованиям, таким как компактность, расположение в контуре вихря экстремума уровня поверхности моря и т.д. Максимально возможный размер мезомасштабного вихря, определяемого алгоритмом – 2000 пикселей. В работе рассматривались вихри, определяемые за период с 1993 по 2021 гг.

Полученные результаты свидетельствуют, что число циклонов вдвое превышает число антициклонов в Курило-Камчатском районе. При этом продолжительность жизни, амплитуды и орбитальные скорости антициклонов существенно выше, по сравнению с циклоническими вихрями. Циклоны характеризуются большими радиусами, по сравнению с антициклонами. Установлено, что в районе Курило-Камчатского желоба существует четыре системы топографических волн, проявляющихся в виде цепочек мезомасштабных вихрей. Перемещение антициклонов на юго-запад вблизи шельфа связано с проявлением шельфовых волн, на океанической стороне Курильского желоба в северо-восточном направлении – с желобовыми волнами. Для циклонов характерно две системы топографических волн – вдоль внутренней стороны желоба и вдоль топографического поднятия на юго-западное направление. Вклад топографии в распространение топографических волн Курило-Камчатского желоба является максимальным и превосходит вклад других слагаемых в несколько раз. Даже если мезомасштабные вихри локализованы в верхнем слое до глубины 1000 м, они все равно продолжают контролироваться топографией и двигаться вдоль изобат.

Подобная тенденция свидетельствует о сильно выраженной баротропной составляющей, характерной для волнового механизма рассматриваемых цепочек мезомасштабных вихрей Курило-Камчатского района. Установлено, что длина подобных волн может превышать 500 км, а период – один год. Скорость таких волн лежит в диапазоне от нескольких сантиметров в секунду до нескольких десятков сантиметров в секунду.

### Список литературы

1. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных слоях океана. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 250 с.
2. Булатов Н.В., Лобанов В.Б. Исследование мезомасштабных вихрей восточнее Курильских островов по данным метеорологических спутников Земли. Исследование Земли из Космоса. 1983. № 3. С. 40-47.

### ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Травкин В.С.<sup>1,2</sup>, Жмур В.В.<sup>3</sup>, Белоненко Т.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>СПО ФГБУ ГОИН, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, г. Москва

*vtravkin99@gmail.com*

*Аннотация.* В работе рассматривается пространственно-временная изменчивость кинетической и потенциальной энергии мезомасштабных вихрей Лофотенской котловины Норвежского моря за 1993-2020 г.

*Ключевые слова.* Физика океана, мезомасштабные вихри, Норвежское море, кинетическая энергия, потенциальная энергия.

### SPATIO-TEMPORAL EVOLUTION OF THE ENERGY OF MESOSCALE EDDIES IN THE LOFOTEN BASIN

Travkin V.S.<sup>1,2</sup>, Zhmur V.V.<sup>3</sup>, Belonenko T.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg University (SPBU), St. Petersburg

<sup>2</sup>Saint-Petersburg Branch of State Oceanographic Institute (SPBSOI), St. Petersburg

<sup>3</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow

*Annotation.* The paper studies the spatio-temporal variability of the kinetic and potential energy of mesoscale eddies in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea for 1993-2020.

*Keywords.* Physics of the ocean, mesoscale eddies, Norwegian Sea, kinetic energy, potential energy.

Лофотенская котловина (ЛК), расположенная в северо-восточной части Норвежского моря, является одной из наиболее энергоактивных зон Мирового океана. С запада она ограничена хребтами Мона и Ян-Майен, с юга – плато Воринг, а с востока – континентальным склоном Норвегии. Мезомасштабные вихри отрываются от ветвей Норвежского течения и перераспределяют теплые и соленые воды по всей акватории котловины.

В центральной части ЛК располагается квазипостоянный антициклонический Лофотенский вихрь (ЛВ), являющийся внутрипикноклиной линзой теплых и соленых вод. Он характеризуется высокими значениями относительной завихренности, радиусом порядка 32-39 км и орбитальными скоростями около 0,7-0,8 м/с [1]. Как и в районе Норвежского течения, в районе месторасположения ЛВ зафиксировано повышение кинетической и

потенциальной энергии. Такая тенденция свидетельствует о значительной роли мезомасштабных вихрей в энергетике Лофотенской котловины.

Целью данной работы является сравнительная оценка вклада мезомасштабных циклонов, антициклонов и других динамических структур в общую энергетику Лофотенской котловины. Для получения данной оценки за период 1993-2019 гг. в работе используется один из методов автоматической идентификации мезомасштабных вихрей, подробно описанный в работе [2].

В работе используются данные глобального океанического реанализа GLORYS12V1, предоставленного СМЕМС (Copernicus Marine Service – СМЕМС). Данные имеют пространственное разрешение порядка  $1/12^\circ$  по широте и долготе и 50 уровней по вертикали. Временное разрешение данных составляет 1 сутки.

Алгоритм автоматической идентификации мезомасштабных вихрей определяет вихри как замкнутые структуры с положительными аномалиями уровня моря у антициклонов и отрицательных у циклонов. Метод имеет ряд недостатков, однако, несмотря на них, он демонстрирует хорошую точность, позволяя верно определить порядка 96,4% мезомасштабных вихрей.

В нашей работе мы анализируем межгодовую и сезонную изменчивость суммарной вихревой кинетической и потенциальной энергии циклонов и антициклонов. Также даются оценки общей кинетической и потенциальной энергии ЛК, энергии мезомасштабных вихрей, а также филаментов и фоновых течений. Кроме того, описывается пространственная изменчивость общей средней кинетической и потенциальной энергии, осредненная за 1993-2019 гг.

Полученные результаты свидетельствуют о доминировании потенциальной энергии над кинетической в Лофотенской котловине. Районами, с наибольшими значениями потенциальной энергии является центральная часть ЛК, тогда как максимум кинетической энергии обнаружен в центре ЛК и на ее периферии. В зимне-весенний период наблюдается увеличение кинетической и потенциальной энергии Лофотенской котловины. В среднем, доля кинетической и потенциальной энергии вихрей составляет 7 и 8%, соответственно. Такие значения свидетельствуют, что на общую энергетику Лофотенской котловины оказывают существенное влияние не только мезомасштабные вихри, но и филаменты и фоновые течения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-27-00004. В. В. Жмур поддержан средствами государственного бюджета по государственному заданию № 0128-2021-0002.

### Список литературы

1. Травкин В.С., Белоненко Т.В. Исследование вихревой изменчивости в Лофотенской котловине на основе анализа доступной потенциальной и кинетической энергии // Морской гидрофизический журнал Т. 37, № 3. 2021. С. 318—332. — DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-318-332.
2. Faghmous J.H., Frenger I., Yao Y., Warmka R., Lindell A., Kumar V.A. daily global mesoscale ocean eddy dataset from satellite altimetry // Scientific Data Vol. 2. 2015. P. 150028. DOI: 10.1038/sdata.2015.28.

## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ОЦЕНКИ РИСКА НАВОДНЕНИЙ В ПУБЛИЧНЫЙ АТЛАС ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Чалганова А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*chalganova\_a@mail.ru*

*Аннотация.* Планирование развития территорий, подверженных риску затопления, следует проводить с учетом оценки риска по зонам возможных затоплений, для которых должен быть создан публичный электронный ресурс - атлас водных объектов, включающий оценки риска.

*Ключевые слова.* Наводнение, экономический ущерб, прогнозирование, риск, страхование, электронный атлас водных объектов.

## **ON THE NEED TO INCLUDE INFORMATION ON FLOOD RISK IN THE PUBLIC ELECTRONIC ATLAS OF WATER BODIES**

Chalganova A.A.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

*Annotation.* Territorial development planning in flood risk conditions should be carried out taking into account hydrological risk assessments for possible flooding zones, for which a public electronic resource - an atlas of water bodies, including risk assessments - should be created.

*Keywords.* Flood, economic damage, forecasting, risk, insurance, electronic atlas of water bodies.

Развитие многих территорий нашей страны исторически было обусловлено наличием гидроресурсов. Однако среди природно-экологических факторов, которые сдерживают социально-экономическое развитие многих территорий, в том числе северных, входящих в состав Арктической зоны, выделяют угрозу наводнений. На ликвидацию последствий наводнений затрачиваются значительные средства из бюджетов территорий и федерального бюджета. Известно, что управление затратами может быть только превентивным, т.е. должно осуществляться еще на этапе разработки планов развития территорий, подверженных затоплению. Основой для использования заинтересованными лицами данных о вероятности наводнений, их продолжительности, степени разрушительности мог бы стать электронный ресурс в виде атласа водных объектов с информацией об их гидрологическом режиме и оценкой риска наводнений.

Паводкоопасные территории есть во многих регионах нашей страны. Ежегодно на ликвидацию последствий наводнений расходуются миллиарды рублей бюджетных средств, причем оценивается в основном прямой экономический ущерб вреда [1].

Ущерб от наводнений можно рассматривать с точки зрения «триады» устойчивого развития: экономика, экология и социальная составляющая.

Экономический ущерб от порчи и потери имущества людей и организаций, гибели урожая, биоресурсов можно оценить, хотя оценки не являются точными, сильно зависят от применяемой методики, учитываемых факторов. Например, продолжительность стояния паводочных вод значительно влияет на степень порчи имущества. Чем дольше стоит вода, тем выше будет уровень разрушения жилья и иного имущества.

Социальная составляющая устойчивого развития связана не только с тем, что люди лишены привычного комфорта, испытывают физические страдания от отсутствия возможности удовлетворения первичных потребностей (в пище, сне и т.д.), но и теряют нередко возможность работать, дети не могут посещать учебные заведения, стихия даже может уносить человеческие жизни. Этот ущерб трудно поддается оценке.

Экологический ущерб связан в первую очередь с тем, что разлившиеся реки смывают практически все, что попадает им на пути, в том числе ядовитые вещества. Вред экосистемам в этом случае оценить очень трудно. Даже изготовленные из природных материалов вещи для природной среды становятся мусором. В результате наводнений попадают в реки и выносятся в океан разные фракции мусора из поселений, в т.ч. предметы из пластика, которые становятся причиной гибели представителей морской фауны. Ассимиляционный ресурс океана человечеством уже практически исчерпан. Пластик же, являясь искусственно синтезированным человеком полимерным материалом, в природе не может быть переработан, поскольку таких механизмов у природы нет. Поднимаясь по пищевой цепочке, он попадает и в организм человека. Данных исследований воздействия

пластика на человеческий организм немного, но имеющиеся результаты позволяют предположить всестороннее, по многим направлениям вредное воздействие молекул пластика на человеческий организм [2]. Сам ущерб здоровью человека и живых организмов оценить практически невозможно, потому что даже зафиксировать его трудно.

Таким образом, ущерб всесторонне оценить невозможно, но для оценки экономического ущерба от порчи имущества, которая будет ближе к реальной, необходимы данные об уровне воды, продолжительности стояния паводочных вод и подобных характеристиках затопления участка территории. Сгладить последствия ущерба можно путем страхования риска паводка. Здесь страховщик должен иметь возможность верно оценить вероятность наступления страхового события и возможный ущерб. Для этого нужна информация, накопленная гидрологами за время наблюдений и изучение природных явлений, способных причинить любой вид ущерба.

Предотвратить ущерб от наводнений можно только, сокращая риск причинения вреда имуществу до минимума, что требует гидрологической информации при планировании развития территории. Доступность информации в современных условиях обеспечивается публичными электронными ресурсами. Таким образом, местные власти, страховые компании и граждане заинтересованы в наличии в публичном доступе информации, дифференцированной по зонам, в соответствии с размером риска затопления, о возможном уровне воды с определенной вероятностью и продолжительностью стояния паводочных вод. Удобной формой реализации данной потребности может быть электронный атлас водных объектов.

#### **Список литературы**

1. *Парфенова О.Т.* Совершенствование методики оценки вероятного ущерба от наводнений на северных реках республики Саха (Якутия) // В сборнике: Ресурсная экономика в контексте современных тенденций глобализации. Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 166-178.
2. *Галлоуэй, Т.С.* Микро- и нанопластики и здоровье человека. В: Бергманн М., Гутов Л., Клагес М. (ред.) Морской антропогенный мусор. Спрингер, Чам., 2015 [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_13)

### **ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ «ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ», КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК РФ**

Шевченко А.И., Пузова Н.В., Белова К.В., Мельников Д.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации-  
Мировой центр данных, Обнинск  
[ashevchenko@meteo.ru](mailto:ashevchenko@meteo.ru)

*Аннотация.* Рассматривается информационный онлайн ресурс, веб-портал «Гидрологическая наблюдательная сеть Российской Федерации», который востребован территориальными управлениями гидрометеорологической службы Росгидромета и научно-исследовательскими учреждениями для мониторинга и анализа гидрологической сети Росгидромета. Кроме того, онлайн-ресурс активно используется проектными организациями газовой, транспортной и других отраслей экономики, для выполнения гидрометеорологических изысканий и учеными ведущими исследования в области гидрологии поверхностных вод суши.

*Ключевые слова.* Гидрология суши, база данных, гидрологический режим, гидрологическая наблюдательная сеть, электронный технический паспорт гидрологического поста, реки и каналы.

## INFORMATION PORTAL "HYDROLOGICAL OBSERVATION NETWORK OF THE RUSSIAN FEDERATION" AS A TOOL TO ASSESS THE HYDROLOGICAL REGIME OF RIVERS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Shevchenko A.I., Puzova N.V., Belova K.V., Melnikov D.A.

All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information-World Data Center, Obninsk

*Abstract.* The information online resource, web-portal "Hydrological observation network of the Russian Federation", which is in demand by the territorial departments of the hydrometeorological service of Roshydromet and research institutions for monitoring and analysis of the hydrological network of Roshydromet, is considered. In addition, the online resource is actively used by design organizations of the gas, transport and other sectors of the economy, to perform hydrometeorological surveys and scientists conducting research in the field of surface water hydrology.

*Keywords.* surface water hydrology, database, hydrological regime, hydrological observation network, electronic technical passport of a hydrological station, rivers and canals.

С начала существования гидрологических наблюдений на наблюдательной сети Росгидромета для каждого гидрологического поста существовал документ (техническое дело гидрологического поста) с подробным описанием сведений о пункте наблюдений, включая всю историю изменений. Документ включал: основные сведения поста; схематический план местности и описание створа; программу и сроки наблюдений; антропогенное воздействие на природную среду и режим реки на участке поста и многое другое. Большая часть сведений в этом документе содержится в виде описания в свободной форме.

Содержание технического паспорта гидрологического поста было структурировано и формализовано для представления в виде набора электронных таблиц. К 2017 году было разработано программное обеспечение и руководящий документ (РД 52.08.871-2017) в соответствии с которым выполняется ведение совмещенной электронной формы паспорта и технического дела речного гидрологического поста (электронный технический паспорт речного гидрологического поста).

Для описания состава наблюдательной гидрологической сети были заимствованы принципы, используемые в международный стандарте ISO 10303 для описания состава изделия [1]. Этот стандарт регламентирует логическую структуру БД, номенклатуру информационных объектов, хранимых в БД, их атрибуты и связи. Такой принцип позволяет описать сложный состав гидрологического поста, используя набор информационных объектов, и дает возможность представлять информацию в виде иерархической древовидной структуры с неограниченной вложенностью. Введены такие понятия, как подразделение, оборудование, группа оборудования, экземпляр оборудования, характеристика, группа характеристик, значение характеристики, все они являются информационными объектами состава гидрологической сети.

На основании электронных технических паспортов была разработана реляционная модель базы данных. Для физической реализации базы данных выбрана свободная объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL. Разработаны программные средства для редактирования словаря характеристик, справочника оборудования и структуры состава гидрологического поста. Для визуализации данных было разработано web-приложение, которое обеспечило представление в табличной, графической и картографической форме сведения о гидрологических постах.

По мере развития и популярности этого ресурса к информации о гидрологических постах были добавлены сведения о наличии данных наблюдений по периодам и видам наблюдений. Информация подготовлена на основании электронных массивов гидрологических данных Госфонда Росгидромета. Эта информация является очень востребованной при климатических исследованиях и проектными организациями при гидрометеорологических изысканиях.

База данных содержит информацию около 7800 гидрологических постов, из которых около 2800 – действующие. Некоторые посты имеют период наблюдений более 100 лет.

В настоящее время на базе накопленного опыта и материала разрабатывается веб-портал «Гидрологическая наблюдательная сеть Российской Федерации», который должен обеспечить:

- мониторинг и анализ гидрологической сети Росгидромета с целью её развития и оптимизации;
- повышение доступности гидрологической информации с привязкой к территории, видам, периодов наблюдений для проектно-изыскательских и научных работ по территории РФ;
- централизацию информации о гидрологической сети Росгидромета;
- визуализацию опасных гидрологических явлений и трендов экстремальных гидрологических характеристик; (визуализацию расчетных гидрологических характеристик)

В настоящее время, по договоренности с Гидрометслужбой Белорусии в рамках программы Союзного государства, ведутся работы по созданию сегмента гидрологической сети Белгидромета на базе нашего портала. По факту это будет включение информации по сети Белгидромета на наш портал.

В части развития визуализации расчетных гидрологических характеристик на картографической основе реализовано представление опасных явлений и тренды экстремальных характеристик. В качестве демонстрации возможностей для части районов Дальнего Востока рассчитаны обеспеченности опасного уровня воды высокой водности и тренды максимальных расходов воды за многолетний период по некоторым гидрологическим постам.

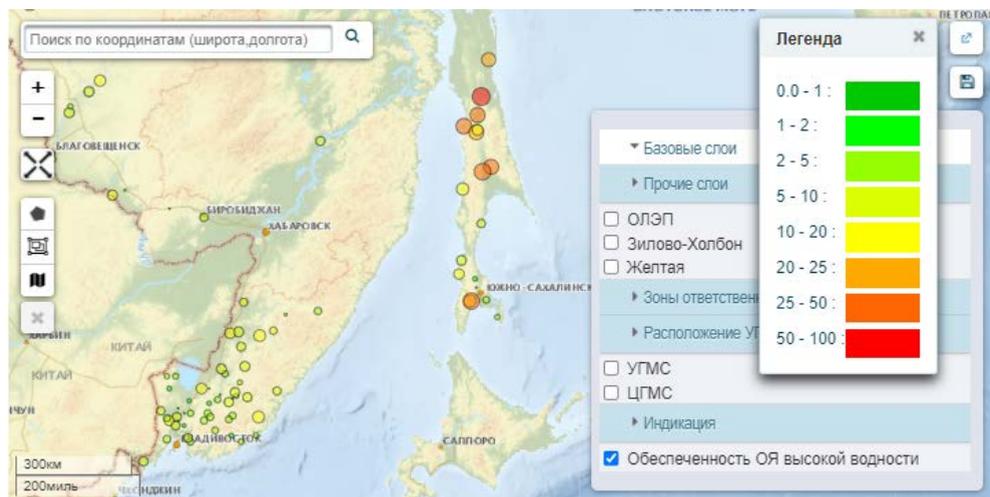


Рисунок 1 - Визуализации вероятности опасного явления высокой водности

Текущая версия портала «Гидрологическая наблюдательная сеть Российской Федерации» расположена по адресу <http://asunp.meteo.ru/portal/hydroweb/home> (доступ ограничен, предоставляется доступ по запросу).

Разрабатываемый Портал должен стать частью модернизированной автоматизированной системы учета наблюдательных подразделений Росгидромета (АСУНП) <http://asunp.meteo.ru/>. (доступ ограничен, предоставляется доступ по запросу) и позиции.

Несмотря на отсутствие официального внедрения Портала, в настоящее время им активно пользуются потребители гидрологической продукции в РФ, в частности, организации, выполняющие гидрометеорологические изыскания в области строительства, дорог, мостов, трубопроводов и пр. С применением Портала пользователи анализируют изученность района изысканий и могут более четко сформулировать запрос вида

гидрологической продукции. За 2021 год порталом воспользовались более 1000 различных пользователей, выполнивших более 6000 сеансов. Около 30% пользователей Портала являются постоянными.

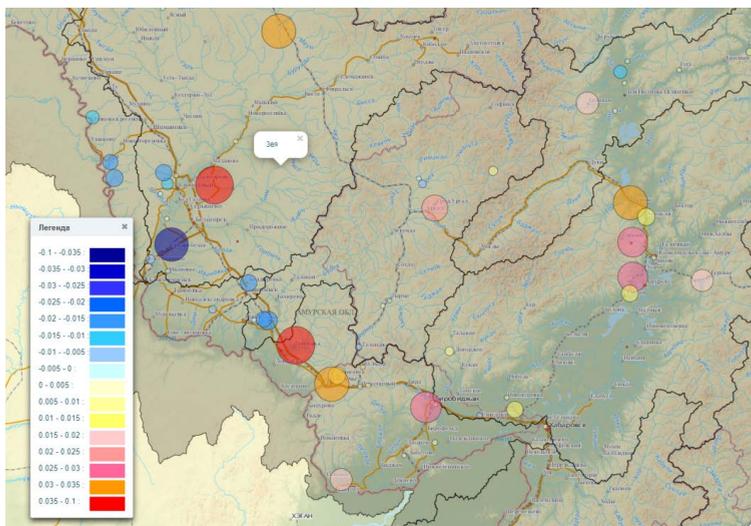


Рисунок 2 - Визуализации динамики (тренда) максимальных расходов воды за многолетний период

#### Список литературы

1. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции: Принципы. Технологии. Методы. Модели, Москва, 2003 г.- 263 с.

#### СУТОЧНЫЕ ШЕЛЬФОВЫЕ ВОЛНЫ У БЕРЕГОВ СЕВЕРНЫХ И ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

Шевченко Г.В.<sup>1,2</sup>, Цой А.Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск  
*Shevchenko\_zhora@mail.ru*

*Аннотация.* В результате анализа вдольтрековых вариаций амплитуд и фаз суточных волн K1 и O1, определенных по данным альтиметра искусственного спутника Земли TOPEX/Poseidon (исходные треки 1992-2002 гг. и смещенные 2002-2005 гг.), выявлена их мелкомасштабная изменчивость, характерная для областей проявления шельфовых волн приливного происхождения. Определены пространственные структуры этих волн и области их существования. В районе Северных Курил существуют баротропные волны, на южном фланге гряды у островов Уруп и Итуруп бароклинные волны.

*Ключевые слова:* суточные шельфовые волны, спутниковая альтиметрия, прилив, амплитуда, фаза

## DIURNAL SHELF WAVES OFF THE COASTS OF THE NORTH AND SOUTH KURIL ISLANDS ACCORDING TO SATELLITE ALTIMETRY DATA

Shevchenko G.V.<sup>1,2</sup>, Tsoy A.T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sakhalin Branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries economy and oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

<sup>2</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk

*Abstract.* As a result of the analysis of along-track variations in the amplitudes and phases of the K1 and O1 diurnal waves, determined from the altimeter data of the artificial Earth satellite TOPEX/Poseidon (original tracks in 1992–2002 and shifted tracks in 2002–2005), their small-scale variability, typical for the areas of manifestation shelf waves of tidal origin. The spatial structures of these waves and the areas of their existence are determined. Barotropic waves exist in the area of the North Kuriles, and baroclinic waves exist on the southern flank of the ridge near the Urup and Iturup Islands.

*Keywords.* Diurnal shelf waves, satellite altimetry, tide, amplitude, phase

Захваченные шельфовые волны приливного происхождения суточной периодичности представляют собой весьма специфическое явление, во многом определяющее не только гидродинамику, но и гидрологию, и гидробиологию акваторий, в которых они существуют. Это связано с тем, что шельфовые волны, являясь разновидностью топографических волн Россби, представляют собой пару знаочередующихся вихрей (меняющих свой знак каждые 12 часов) и характеризуются высокими скоростями течений при сравнительно небольших амплитудах колебаний уровня моря. Наиболее наглядным примером в этом отношении является северная часть северо-восточного шельфа о. Сахалин, от м. Елизаветы до зал. Лунский, где шельфовые волны являются, в частности, причиной аномально высоких скоростей дрейфа льда, что представляет основную угрозу для стационарных буровых платформ, установленных на морских месторождениях углеводородного сырья [1].

Это весьма необычное и очень интересное явление наблюдается в сравнительно небольшом числе районов Мирового океана. Данный факт обусловлен тем обстоятельством, что для их существования, в особенности для баротропных волн, необходимы весьма специфические условия. Как правило, они обнаруживаются на достаточно протяженных шельфах, в поясе средних широт, где суточные приливы являются субинерционными [2] – это наиболее существенные из условий, при которых их дисперсионные кривые могут достигать суточного диапазона. Наиболее благоприятные условия для их существования выявлены в Охотском море и прилегающих районах – кроме упомянутого шельфа Сахалина это северный шельф Хоккайдо [3], северные и южные Курильские острова [4, 5]. В работе [4] для определения характеристик суточных шельфовых волн в районе Северных Курил использовались данные спутниковой альтиметрии, полученные с ИСЗ TOPEX/Poseidon (TP). Оно основывалось на характерных мелкомасштабных вариациях амплитуд и фаз главных суточных волн O1 и K1 в зоне существования этих волн. В этой работе использовались гармонические постоянные амплитуды и фазы, рассчитанные в точках нисходящих «старых» треков, соответствующих орбитам ИСЗ TP в 1992-2002 гг. Это точки отмечены на рисунке 1 зеленым цветом, вдольтрековое расстояние между ними около 6 км. В сентябре 2002 г. орбиты спутника были смещены на половину межтрекового расстояния, ИСЗ TP продолжал летать до осени 2005 г. Несмотря на довольно короткий ряд во втором случае, расчет гармонических постоянных оказался достаточно надежным, по крайней мере в районах, где отсутствовали пропуски данных из-за наличия ледяного покрова, к которым относится океанский шельф Курильской островной гряды. Основной интерес представляли точки нисходящих треков (номера «старых» треков отмечены на рисунке 1, «новые» смещены на запад и имеют ту же нумерацию).

Это позволило более точно определить область существования суточных шельфовых волн в районе северных Курильских островов, а также решить аналогичную задачу для Южных Курил, где на шельфе о. Уруп по данным наблюдений за траекторией дрейфтера и численного моделирования было показано существование бароклинных шельфовых волн [5].

Вблизи этих островов шельф слишком короткий, и там могут существовать только бароклинные суточные шельфовые волны. В принципе, свойства бароклинных захваченных суточных волн приблизительно такие же, как и баротропных, они также являются причиной образования вихревых структур в прибрежной области, характеризующихся значительными скоростями течений.

Как отмечено выше, наиболее подходящими для настоящего исследования были нисходящие треки, которые пересекают южные Курильские острова практически под прямым углом, в то время как восходящие пересекали их под острым углом, и вариации амплитуд и фаз вдоль них были более сложными для выделения интересующих эффектов.

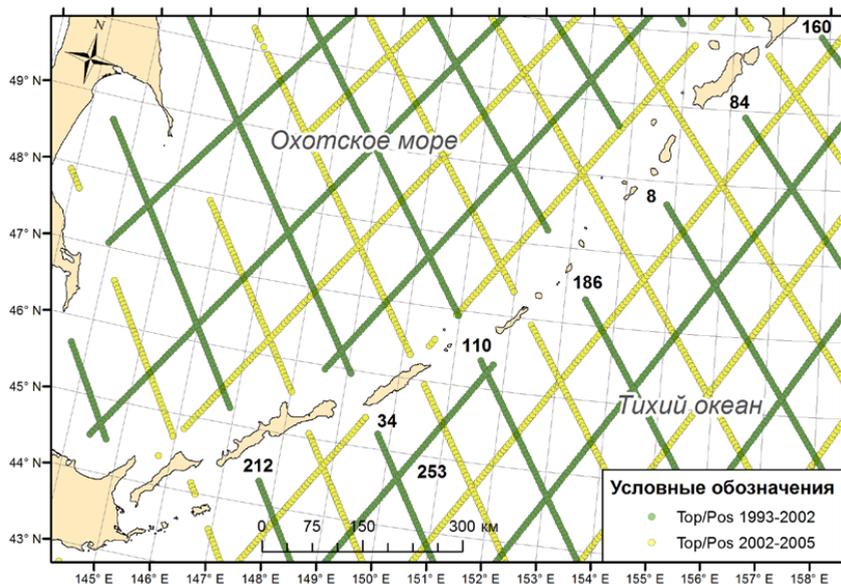


Рисунок 1 – Точки подспутниковых треков ИСЗ ТР, в которых были рассчитаны гармонические постоянные основных приливных волн. Зеленым цветом отмечены «старые» треки (орбиты в 1992-2002 гг.), желтым «новые» (2002 – 2005 гг.)

На рисунке 2 представлены пространственные распределения амплитуд главных суточных волн K1 и O1 в районе, прилегающем к северным Курильским островам. На нем отчетливо выделяются две области с более высокими и низкими значениями параметра в восточной и западной частях рассматриваемого района, граница между которыми проходит в центральной части гряды, в районе о. Матуа. На фоне высоких значений явно обособляется зона овальной формы в районе островов Харимкатан и Шиашкотан, отличающаяся более низкими значениями амплитуды, практически идентично для обеих суточных волн. Это согласуется с результатами работы [4], в которой о. Шиашкотан был определен как юго-западная граница существования суточных шельфовых волн (далее на юго-запад от него шельф резко сужается, и существование баротропных шельфовых волн невозможно).

В указанной работе предполагалось, что северо-восточная граница проходит по Первому Курильскому проливу, что именно дифракция на нем крупномасштабной приливной волны Кельвина и является механизмом генерации шельфовых волн на шельфе Северных Курил. Для главной суточной волны K1 это согласуется с более точными данными, полученными в настоящей работе – именно на «новом» треке 160, проходящем по этому проливу, видно уменьшение ее амплитуды.

Для другой важной суточной составляющей O1 подобного уменьшения на этом треке не отмечено, снижение амплитуды происходит (более слабо) только на «старом» треке 160.

Вероятно, северо-восточная граница существования шельфовой волны на данной частоте (период, а значит и длина волны, у O1 больше чем у K1) проходит в районе м. Желтый на юго-восточном побережье Камчатки, за которым начинается заметное сужение шельфа. Механизм генерации шельфовой волны в данном случае менее очевиден.

Отметим, что полученные результаты согласуются с вариациями гармонических постоянных на океанском побережье Северных Курил – согласно [6] вдоль берега о. Парамушир они сравнительно невелики – для волны K1 около 45 см на северо-восточном участке и 37 см на юго-западном, а на восточном берегу о. Шиащкотан 31 см.

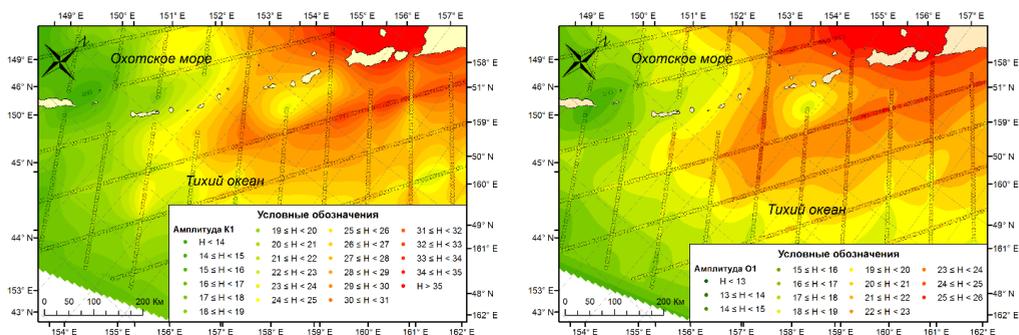


Рисунок 2 – Пространственное распределение амплитуд главных суточных волн K1 (в см, рисунок слева) и O1 (справа) в районе Северных Курил

Как отмечалось выше, в работе [5] на основе наблюдений за траекторией дрейфера были выявлены высокие скорости суточных течений на шельфе о. Уруп и методами численного моделирования были получены характеристики захваченных волн в районе южных Курильских островов (для существования баротропных шельфовых волн шельф здесь слишком узкий, и сильные течения связаны с бароклинными модами). Характеристики бароклинных шельфовых волн (пространственная структура в направлении вдоль и поперек берега) не так существенно отличаются от баротропных, однако длина волны заметно уменьшается при наличии постоянного течения, если оно направлено в сторону движения этих волн. Такое течение в районе островов Уруп и Итуруп существует, это холодное течение Ойясио. Вероятно, именно по этой причине на шельфе Южных Курил укладывается не одна, а две длины волны (на рисунке 2 можно видеть по два локальных минимума и максимума).

В распределении амплитуды K1 максимумы выражены более отчетливо, чем минимумы, возможно потому, что последние расположены практически в проливах Буссоль и Фриза. Зоны максимумов приурочены к юго-западным участкам островов Уруп и Итуруп, причем для последнего это хорошо согласуется с показателями вдольбереговой изменчивостью величины приливов. Так, амплитуды обеих суточных волн в районе м. Урумпет в юго-западной части острова в два раза больше чем в бухтах Медвежья и Утиная в северо-восточной [6]. Сильные суточные приливные течения (примерно вдвое превосходящие скорости полусуточных) были выявлены на станции «Ольга», установленной в районе юго-западной оконечности о. Итуруп [7], что также типично для зоны существования шельфовых волн.

В пространственном распределении амплитуды другой суточной волны O1 четко выделяются зоны минимумов у северо-восточных оконечностей островов Уруп и Итуруп, а также область максимумов на юго-западном участке шельфа о. Итуруп. Вторая область максимумов приходится на район пролива Фриза и выражена менее явно. Также, как и для волны K1, область минимума в районе о. Уруп начинается от маленького острова Чирпой в проливе Буссоль. Наиболее вероятной причиной генерации суточных шельфовых волн в

районе южных Курильских островов является дифракция крупномасштабной приливной волны на проливе, и резко выраженное поднятие в районе этого острова может служить дополнительным рассеивающим фактором. При этом благодаря большей длине волны влияние волны О1 сказывается в некоторой степени на шельфе Малой Курильской гряды. Это может быть причиной зарегистрированных на шельфе о. Шикотан аномально сильных течений на частоте этой гармонике, а также вариаций температуры воды на установленных на дне датчиках гидростатического давления [2].

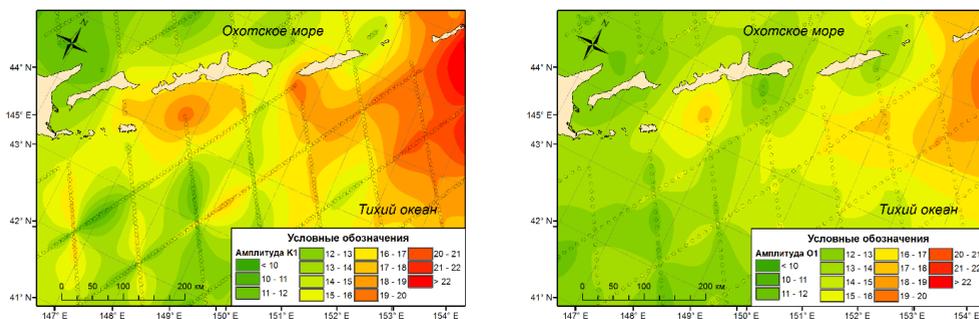


Рисунок 3 – Пространственное распределение амплитуд главных суточных волн K1 (в см, рисунок слева) и O1 (справа) в районе южных Курильских островов

Тот факт, что на шельфе Южных Курильских островов укладывается две длины суточных шельфовых волн является весьма необычным и не наблюдался в других районах существования этих волн в рассматриваемом регионе. Очевидно, это является следствием наличия интенсивного течения Ойясио, которое модифицирует свойства бароклинных захваченных волн.

Подводя итоги выполненного анализа, можно сказать, что расчет амплитуд и фаз главных суточных волн в точках подспутниковых треков ИСЗ ТР, как «старых» так и «новых», позволил достаточно точно определить области существования захваченных шельфовых волн в районе северных и южных Курильских островов. В северной части гряды эта область начинается от Первого Курильского пролива и заканчивается в районе о. Шиашкотан (для O1 несколько дальше на юго-запад). На южном фланге эта область начинается от о. Чирпой в проливе Буссоль и заканчивается в районе о. Шикотан (для O1 с его захватом). Отметим, что бароклинные суточные шельфовые волны, характеристики которых численными методами оценивались в работе [5], главным образом проявляются на океанском шельфе о. Итуруп, именно здесь следует ожидать наиболее интенсивных суточных течений, что согласуется с данными инструментальных измерений [7]. Влияние этих волн является причиной существенного возрастания амплитуд суточных волн на побережье о. Итуруп по сравнению с открытым океаном (более чем в 2 раза), а также их значительных вдольбереговых вариаций. В акватории, прилегающей к о. Уруп, их влияние более слабое, в особенности это относится к главной суточной волне K1. На шельфе о. Шикотан сказывается только влияние шельфовой волны на частоте O1. Бароклинные шельфовые волны являются также причиной суточных вариаций температуры морской воды на глубинах 50 м и более.

### Список литературы

1. Shevchenko G., Rabinovich A., and Thomson R. Sea-ice drift on the northeastern shelf of Sakhalin Island// Journal of Physical Oceanography. 2004. Vol. 34, No. 11. P. 2470 – 2491.
2. Ефимов В. В., Куликов Е. А., Рабинович А. Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. Л. : Гидрометеоздат, 1985. 280 с.

3. *Odadaki M.* Tides and tidal currents along the Okhotsk coast of Hokkaido // *J. Oceanogr.* 1994. Vol. 50. P. 265–279.
4. *Шевченко Г.В., Романов А.А.* Определение параметров приливных суточных шельфовых волн в районе северных Курильских островов по данным спутниковой альтиметрии // *Исследование Земли из космоса.* 2008. №3. С. 76–87.
5. *Rabinovich A.B., Thomson R.E.* Evidence of diurnal shelf waves in satellite-tracked drifter trajectories off the Kuril Islands // *Journal of physical oceanography.* 2001. Vol.31. P. 2650–2668.
6. Таблицы приливов. Воды азиатской части СССР и прилегающих зарубежных районов. Л.: Гидрометеиздат, 1960, 29 с.
7. *Shevchenko G., Kantakov G., and Chastikov V.* Current mooring observations in the area of the South Kuril Islands// *PICES Scientific Report.* 2009. Vol. 36. P. 128–133.

### **КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ПОВЕРХНОСТНОМ И ПРИДОННОМ СЛОЯХ ВОДЫ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ, ОСЕННИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ 2022 Г.**

Корнеева А. О.<sup>1,2</sup>, Ульянова М. О.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

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

*annkorneeva133@gmail.com*

*Аннотация.* Проведены измерения содержания метана в юго-восточной части Балтийского моря в поверхностном и придонном слоях воды в разные сезоны. Представлены результаты сезонной изменчивости концентраций метана, выявлены факторы влияющие на сезонное повышение содержания метана.

*Ключевые слова.* Гданьский бассейн, метан, сезонная изменчивость.

### **METHANE CONCENTRATIONS IN THE SURFACE AND BOTTOM WATER LAYERS IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE BALTIC SEA IN SUMMER, AUTUMN AND WINTER SESONS OF 2022**

Korneeva Anna Olegovna<sup>1,2</sup>, Ulyanova Marina Olegovna<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*Annotation.* Methane concentrations in the southeastern part of the Baltic Sea in the surface and bottom water layers were measured. The results of seasonal variability of methane concentrations are presented. There have been found factors influencing the seasonal increased concentrations of methane.

*Keywords.* Gdansk Basin, methane, seasonal variability.

В числе парниковых газов второе место после углекислого газа занимает метан. Метан является продуктом природных процессов. Он поступает в водную среду за счет микробиологического и биохимического распада органического вещества в донных отложениях, разложения газогидратов, выходов из морских угольных и нефтегазоносных структур. Будучи одним из парниковых газов, метан участвует в формировании климата.

В 2022 г. исследования проводились в 61 рейсе ПС «Академик Иоффе» в летний сезон (28 июня – 12 июля), 54 рейсе ПС «Академик Сергей Вавилов» в осенний сезон (5–11 ноября) и 91 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в зимний сезон (10–27 декабря). Отбор проб воды осуществлялся с помощью батометров Нискина, установленных на гидрологическом пробоотборном комплексе типа «Розетта». Газовые компоненты в пробах морской воды определяли на хроматографе «Кристалл-Люкс-4000 м» (Россия) методом фазоворавновесной дегазации [1].

В летний период значения растворенного метана в поверхностном слое моря изменялись незначительно в пределах 0–0,045 мкмоль/дм<sup>3</sup>. На двух прибрежных станциях обнаружены значения, превышающие 0,04 мкмоль/дм<sup>3</sup>, максимальное значение зафиксировано в районе г. Зеленоградска. В придонном слое воды значения метана изменялись в диапазоне от 0 до 0,195 мкмоль/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения приурочены к зоне покмарка. На пяти из восьми станций, расположенных над илистыми осадками в Гданьской впадине, концентрация метана была крайне мала, хотя закономерным было бы фиксировать тут максимальные значения вследствие потока из богатых органическим веществом донных осадков.

В осенний период пробы отбирались только в поверхностном слое. Полученные концентрации изменялись в пределах 0,021–0,188 мкмоль/дм<sup>3</sup>. Минимальное значение концентрации метана было зафиксировано вдоль границы Литвы – в северо-восточной части российского сектора, где дно сложено рыхлыми породами и слабо выражено влияние выноса органического вещества с речным стоком. Прибрежная зона также характеризовалась невысокими значениями. Большинство значений в среднем варьировалось от 0,02 до 0,04 мкмоль/дм<sup>3</sup>. Максимум метана 0,186–0,188 мкмоль/дм<sup>3</sup> обнаружен в Гданьской впадине и над Гданьско-Готландским порогом.

В зимний период концентрации растворенного метана в воде в поверхностном слое изменялись в пределах 0,026–0,155 мкмоль/дм<sup>3</sup>. Большинство значений варьируется от 0,03–0,05 мкмоль/дм<sup>3</sup>, что на порядок выше, чем осенью. Так же выделяется две станции со значениями более 0,1 мкмоль/дм<sup>3</sup> – в прибрежной зоне у г. Зеленоградска и над юго-восточным склоном Гданьской впадины. В придонном слое значения варьируются в пределах от 0,027 до 0,205, повышенные концентрации приурочены к открытой части моря к зоне распространения илов. Максимальное значение метана зафиксировано над покмарком.

Содержание метана в поверхностном слое воды было ниже в летний период по сравнению с осенне-зимним, летом в отличие от других сезонов не было зафиксировано ни одного выраженного максимума. Это, скорее всего, связано с выраженным летним термоклином и галоклином, которые препятствует поступлению метана из придонного слоя в поверхностный. Кроме того, на концентрации метана в значительной степени влияет биогеохимическая активность бактерий. В холодный сезон метан, поступающий из глубины, частично восполняет в экосистеме дефицит легкоусваиваемых продуктов фотосинтеза. В результате основная масса бактериопланктона сосредотачивается не в поверхностном слое, а в микроаэробных слоях водной толщи, где в этот период отмечаются интенсивные процессы метаноокисления [2].

Значения метана у дна были выше в декабре в открытой части моря, тогда как в июле прибрежная зона характеризовалась повышенными значениями (за исключением проб, отобранных над покмарком), что не характерно для дна, сложенного песчаными осадками. Основной причиной летнего повышения концентрации метана у дна в прибрежной зоне является обильное цветение фитопланктона, вследствие чего образуется значительное количество органического материала. Для его последующего разложения затрачивается достаточное количество кислорода, таким образом, быстро истощаются запасы кислорода в придонных водах, что, в свою очередь, приводит к усилению образования метана. Метаногенез происходит в бескислородных условиях в результате окисления органического вещества [3]. По многолетним данным пространственное распределение хлорофилла «а» (как показателя обилия фитопланктона) характеризуется повышенными величинами в прибрежном районе, особенно вдоль северного побережья Самбийского полуострова и Куршской косы, где наиболее благоприятные гидрологические и гидрохимические условия для развития фитопланктона, и снижением в открытом море [4]. Кроме обильного цветения синезелёных водорослей, летом в прибрежных областях моря формируется более тёплый с меньшей соленостью поверхностный слой воды, из-за чего отток метана с поверхности ослабевает.

Исследование в июне-июле выполнено в рамках проекта БФУ им. И. Канта «Обоснование конфигурации и разработка регионального модуля мониторинга климатически активных газов юго-восточной части Балтийского моря и апробация его элементов».

Исследования в ноябре и декабре выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2021-0012).

#### Список литературы

1. *Большаков А.М., Егоров А.В.* Об использовании методики фазоворавновесной дегазации при газометрических исследованиях // *Океанология*. – 1987. – Т. 27(5). – С. 861–862.
2. *Леин А.Ю., Иванов М.В.* Биогеохимический цикл метана в океане, 2009. 576 с.
3. *Мишукова Г.И.* Пространственная изменчивость распределения метана в морской среде и его потоков на границе вода-атмосфера в Западной части Охотского моря / Г. И. Мишукова, Р. Б. Шакиров // *Водные ресурсы*. – 2017. – Т. 44. – № 4. – С. 493–503.
4. *Кудрявцева Е.А., Александров С.В.* Гидролого-гидрохимические основы первичной продуктивности и районирование российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря // *Океанология*. – 2019. – Т. 59. – №1. – С. 56–71.

#### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ ВОДОЕМА И ЕГО ВОДОСБОРА И ОБОСНОВАНИЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Филатов Н.Н.<sup>1</sup>, Баклагин В.Н.<sup>1</sup>, Исаев А.В.<sup>2</sup>, Кондратьев С.А.<sup>3</sup>, Савчук О.П.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Институт водных проблем Севера, ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт озероведения ФИЦ СПб НЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

*nfilatov@rambler.ru*

*Аннотация.* Представлена разработка информационно-аналитической системы для оценки состояния и прогнозирования динамики системы озеро-водосбор. Система основана на трехмерной математической модели экосистемы, сопряженной с моделью стока с водосбора, информационной системой, которые дают возможность прогнозировать состояние экосистемы озера в условиях глобальных изменений климата, и активной эксплуатации ресурсов (водных, био, энергетических, рекреационных, транспортных). Модель экосистемы озера и водосбора объединены с базой данных и знаний в единую информационно-аналитическую систему (ИАС). Выполненные с помощью ИАС прогностические оценки динамики экосистемы озера для сезонных и многолетних изменений направлены для обоснования возможных экономических, социальных и культурных последствий региональных и глобальных изменений, необходимых для создания системы поддержки принятия управленческих решений.

*Ключевые слова.* информационно-аналитическая моделирование, система озеро-водосбор, управление водными ресурсами, климатические и антропогенные сценарии

#### BASIC RESEARCH OF WATER ECOSYSTEMS AND ITS WATER COLLECTION TO JUSTIFY MANAGEMENT DECISIONS

Filatov N.N.<sup>1</sup>, Baklagin V.N.<sup>1</sup>, Isaev A.V.<sup>2</sup>, Kondratyev S.A.<sup>3</sup>, Savchuk O.P.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology of RAS, St. Petersburg

<sup>3</sup> Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

*Annotation.* The development of an information-analytical system for assessing the state and for the dynamics of the lake-catchment system forecasting is presented. The system is based on a three-dimensional mathematical model of the ecosystem, coupled with a runoff model from the watershed, and an information system. These models make it possible to predict the state of the lake ecosystem in the context of global climate change, and the active exploitation of resources (water, bio, energy, recreational, transport). The

ecosystem model of the lake and watershed is combined with the database and knowledge into a single information-analytical system (IAS). The forecast assessments of the lake ecosystem dynamics for seasonal and long-term changes performed with the help of the IAS are aimed at substantiating the possible economic, social and cultural consequences of regional and global changes necessary to create a management decision support system.

*Keywords.* Information and analytical modeling, lake-catchment system, water resources management, climate and anthropogenic scenarios

Рациональное использование природных ресурсов внутренних водоемов (водных, биологических, рекреационных, водно-энергетических, транспортных и др.), сохранение высокого качества вод для питьевого и промышленного водоснабжения, являются важнейшими практическими целями исследований. Прогностические оценки изменений ресурсного потенциала водоемов, используемых многочисленными пользователями, необходимы для понимания экономических, социальных и культурных последствий региональных и глобальных изменений.

До сих пор состояние крупных озер Мира не только существенно не улучшается, а отмечается деградация их экосистем [1]. Продолжающееся ухудшение состояния крупных озер Мира вызвано активной эксплуатацией ресурсов многочисленными пользователями (промышленными и сельхоз предприятиями, водным транспортом, энергетикой, забором воды на орошение, рекреационной деятельностью, туризмом, аквахозяйствами), а также глобальными и региональными изменениями климата. Деградация крупных озер является результатом кумулятивных воздействий антропогенных и природных факторов в долгосрочном масштабе времени. Десятилетия ухудшения состояния, эвтрофикации крупных озер привели к серьезным проблемам сохранения и восстановления водоемов. Возможное продолжение в будущем деградации озер Мира из-за возрастания потребностей увеличивающегося населения Земли и потепления климата. Поэтому имеется острая необходимость незамедлительно уделить существенное большее внимание, чем сейчас, решению проблем управления и охраны ресурсов, экосистем крупных озер, развитию сети наблюдений, мониторинга, совершенствование законодательства в области охраны водных ресурсов.

Для крупнейших озер России отсутствуют количественные описания сложных экосистемных взаимодействий, которые позволили бы не только достоверно различать климатические и антропогенные социо-экономические причины изменений, но и прогнозировать возможную динамику экосистемы с указанием степени неопределенности прогнозов. В число таких прогнозов могут, например, входить прогноз изменений гидрологического режима, трофического статуса, а также проверка и обоснование локализации водозаборов и выпусков сточных вод, размещение аква-культурных хозяйств, что особенно актуально для Онежского и Ладожского озер. Для оценки непосредственного краткосрочного воздействия и отдаленных последствий этих и других форм природопользования, модифицированных процессами на водосборе и климатическими изменениями, необходимы как фундаментальные знания экосистемы, так и способность их количественного применения. При этом многолетние полевые, экспериментальные исследования, мониторинг не позволяет в полной мере оценить указанные выше причины и выполнить надежные прогностические оценки [2, 3]. Одна из актуальных проблем современной гидрологии – создание интегрированных систем управления водопользованием, обеспечивающих информационную поддержку органов принимающих практические решения. В нашей стране имеется определенный опыт разработки подобных систем, обеспечивающих информационную поддержку органов природоохраны, как это было сделано, например, для системы Финский залив-Ладожское озеро, а также для ряда других водных объектов [4]. Из-за отсутствия таких систем или недостаточной их разработанности, управленческие решения в РФ по использованию ресурсов, сохранению или восстановлению экосистем зачастую

принимаются без соответствующего научного обоснования, как это было сделано для озера Байкал.

Недостаточно разработаны методы и математические модели для оценки т.н. допустимой нагрузки на экосистему, ассимиляционного потенциала (АП), критической нагрузки по биогенным и загрязняющим веществам (ЗВ), обеспечения систем поддержки принятия управленческих решений. Такие системы были разработаны лишь для некоторых крупных озер и озерно-речных систем водоемов России [4]. Не решена проблема недостатка данных натуральных наблюдений для задач моделирования из-за несовершенства современной системы мониторинга озер в РФ, ограниченности возможностей постановки новых натуральных экспериментов для калибровки и верификации разрабатываемых моделей и систем [2]. Другим важным недостатком выполненных работ по моделированию экосистем озер было не воспроизведение динамики и взаимодействия с биогенными веществами донных отложений, которые служат «памятью» эволюции экосистемы озера и важным звеном, замыкающим биогеохимические циклы за счет реминерализации биогенных элементов [5, 6].

С 1992 г. по настоящее время отмечается медленное восстановление экосистем крупнейших озер Европы: Ладожского и Онежского при значительном уменьшении с 1992 г. поступления биогенов и загрязнений. Продолжается эвтрофирование ряда районов этих озер, ухудшение качества, браунификация вод при потеплении климата, в особенности заметное в заливах и литоральных зонах. Происходящие изменения экосистем Ладоги и Онего отражаются на ресурсах (водных, биологических, энергетических, рекреационных), сокращении ледяного покрова, ухудшении качества вод, обусловленное токсическими выбросами, микропластиком, наночастицами и др.

В последние 10 лет отмечается заметное влияние форелевых хозяйств и изменений климата на состояние Ладожского и Онежского озер. Доказано, что влияние изменений климата на водные экосистемы крупнейших озер Европы за последние 10 лет существенно возросло по сравнению с предыдущим десятилетием [7].

Роль влияния форелевых хозяйств на пресноводные озера для великих озер Европы исследована меньше, чем для других антропогенных стрессоров. Поэтому важно изучить это влияние, учесть мировой опыт эксплуатации форелевых хозяйств для того, что бы более корректно сформулировать цели и задачи разработки информационно-аналитической системы (ИАС) и выполнить системные исследования (натурные и модельные эксперименты) для того чтобы обоснованно управлять ресурсами озер, обеспечивая сохранение их экосистем.

Таким образом, для рационального использования ресурсов, сохранения экосистемы Онежского озера, важно оценить возможное влияние всего комплекса антропогенных и природных факторов с учетом дополнительной нагрузки от форелевых хозяйств и их совместного кумулятивного эффекта с другими факторами, как в сезонном, так и в многолетнем масштабе времени.

В качестве прототипа информационной системы для ИАС «Онежское озеро и водосбор» на первом этапе предполагается использование системы обработки и анализа данных для модели, разработанной в NEST [8].

Цель разрабатываемой информационной системы Онежского озера и водосбора – это хранение и оперативная обработка имеющихся и поступающих экспериментальных данных натуральных и спутниковых данных о гидрологических, гидробиологических и гидрохимических характеристиках озера и донных отложений, а также и многомерной информации о водосборе; реализация запросов к имеющемуся хранилищу данных; калибровка и верификация 3-D математической модели озера; представление результатов моделирования в удобном для принятия на их основе решений виде; установление закономерностей изменчивости характеристик экосистемы озера в разных временных масштабах (сезонном, многолетнем внутривековом) и межгодовой изменчивости рассматриваемых переменных, характеризующих состояние озера [9].

Заключение. Предполагается обосновать возможности использования разработанной высокоразрешающей модели экосистемы Онежского озера, как прототипа для других великих озер России (Ладожского, Байкал и др. крупных стратифицированных озер). ИАС будет реализована как основной инструмент для широкого круга прогнозов, от прикладных задач влияния размещения аквакультурных хозяйств, водозаборов и сбросов сточных вод, до изучения долгосрочной крупномасштабной эволюции экосистем при различных сценариях изменения климата и социально-экономическое развитие.

На основе полученных фундаментальных результатов проекта планируется получение практических рекомендаций, направленных на сохранение текущего трофического статуса озера в целом и его отдельных суббассейнов, а именно определение максимально допустимого уровня аквакультуры на акватории озера и его водосбора, диффузного и точечного поступления биогенных элементов в акваторию озера.

Работы выполнены по гранту РНФ № 22-17-00193.

### Список литературы

1. *Jenny J.-Ph., Anneville O., Arnaud F. et al.* Scientists' warning to humanity: Rapid degradation of the world's large lakes // *J. Great Lakes Res.* 2020. Vol. 46, iss. 4. P. 686–702. doi: 10.1016/j.jglr.2020.05.006
2. *Румянцев В.А., Филатов Н.Н., Кондратьев С.А.* Современное состояние и совершенствование системы мониторинга Ладожского озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера. 2021. С. 540–558.
3. *Филатов Н.Н.* (Ред.). Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России / Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 255 с.
4. *Менигуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н.* Моделирование экосистем пресноводных озер (обзор) 2. Модели экосистем // *Водные ресурсы.* 2014б. Т. 41, №. 1. С. 24–38. doi: 10.7868/S0321059614010088
5. *Isaev A.V., Savchuk O.P., Filatov N.N.* Three-Dimensional Hindcast of Nitrogen and Phosphorus Biogeochemical Dynamics in Lake Onego Ecosystem, 1985–2015. Part I: Long-Term Dynamics and Spatial Distribution. *Fundamental and Applied Hydrophysics.* 2022, 15, 2, 76–97. doi:10.48612/fpg/e1m2-63b5-rhvg
6. *Savchuk O.P., Isaev A.V., Filatov N.N.* Three-Dimensional Hindcast of Nitrogen and Phosphorus Biogeochemical Dynamics in Lake Onego Ecosystem, 1985–2015 Part II. Seasonal Dynamics and Spatial Features; Integral Fluxes. *Fundamental and Applied Hydrophysics.* 2022, 15, 2, 98–109. doi:10.48612/fpg/9mg5-run6-4zr8
7. *Filatov, N., Baklagin, V., Efremova, T., Nazarova, L., and Palshin, N.* Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data, *Inland Waters,* 9, 130–141, 2019. <https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1533355>
8. *Wulff F., Sokolov A., Savchuk O.P.* Nest – a decision support system for management of the Baltic Sea. A user manual // *Baltic Nest Institute, Stockholm University Baltic Sea Centre, Technical Report No. 10.* 2013.
9. *Филатов Н.Н., Баклагин В.Н., Исаев А.В., Кондратьев С.А., Савчук О.П.* Разработка информационно-аналитической системы «озеро – водосбор» как метода фундаментальных исследований и инструмента обоснования управленческих решений (на примере Онежского озера) // *Труды Карельского научного центра РАН. Лимнология & Океанология.* 2022. № 6. doi: 10.17076/lim1683

## ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ СТОКА РЕКИ АМУР

Цхай Ж.Р.<sup>1</sup>, Шевченко Г.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Южно-Сахалинск

[shevchenko\\_zhora@mail.ru](mailto:shevchenko_zhora@mail.ru)

*Аннотация.* На основе данных спутниковых наблюдений за 1998–2021 г., накопленных в Сахалинском филиале ВНИРО с помощью приемной станции TeraScan®, изучена пространственно-временная изменчивость температуры поверхности моря в зоне влияния стока реки Амур (Амурский лиман, Сахалинский залив, северная часть Татарского пролива). Выявлены особенности распространения речного стока, характеризующегося более высокими значениями температуры по сравнению с морской водой.

*Ключевые слова.* Спутниковые данные, речной сток, модифицированная вода, метод естественных ортогональных функций.

## FEATURES OF THE SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE INFLUENCE ZONE OF THE AMUR RIVER RUNOFF

Tshay Zh.R.<sup>1</sup>, Shevchenko G.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

<sup>2</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk

*Abstract.* Based on satellite observation data for 1998–2021, accumulated at the Sakhalin branch of VNIRO using the TeraScan® receiving station, the spatial and temporal variability of sea surface temperature in the zone of influence of the Amur River runoff (Amursky Liman, Sakhalin Bay, northern part of the Tatar Strait) was studied. The features of the distribution of river runoff, characterized by higher temperatures compared to sea water, are revealed.

*Keywords.* Satellite data, river runoff, modified water, empirical orthogonal functions.

Река Амур является крупнейшей рекой Дальнего Востока России (годовой объем стока около 400 км<sup>3</sup>), она оказывает влияние на гидрологические условия не только своего естественного эстуария – Амурского лимана, но и на прилегающие акватории, прежде всего на Сахалинский залив Охотского моря и северную часть Татарского пролива Японского моря. В эстуарии речная вода смешивается с морской и формируется распресненная модифицированная вода, которая прослеживается благодаря низким значениям солености вдоль восточного берега о. Сахалин до его юго-восточной оконечности (м. Анива), а также в северной части Татарского пролива [1–3]. Также эта вода четко идентифицируется по распределениям температуры поверхности моря (ТПМ) благодаря более высоким значениям этого параметра. Это обстоятельство использовалось в работах [4–7] для изучения распространения стока реки Амур, в том числе в период проведения морских экспедиций в Амурском лимане и Сахалинском заливе. Однако в указанных работах основное внимание было уделено анализу отдельных ситуаций, систематизации данных и оценки пространственно-временной изменчивости ТПМ в районах, подверженных влиянию модифицированной воды, не проводилось. В данной работе накопленный в Сахалинском филиале ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») массив спутниковых данных за 1998–2021 гг. использовался для изучения пространственно-временной изменчивости температурных условий и особенностей распространения модифицированной воды стока реки Амур в Амурском лимане и прилегающих акваториях.

На рисунке 1 показаны средние многолетние распределения температуры поверхности моря в изучаемом районе в различные месяцы года. Зимние условия не представляют большого интереса, так как длительное время (январь – апрель) значительная часть изучаемой акватории покрыта льдом. В зимний период сток Амура минимален, и никак не проявляется в распределении температуры поверхности моря.

Его влияние начинает сказываться только в мае, когда происходит взлом ледяного покрова в устье реки, и значительный объем воды, обусловленный весенним половодьем, начинает поступать в Амурский лиман. В его северо-западной части формируется область, в которой значения температуры поверхности моря (6–7°C) существенно выше, чем на остальной акватории (1,2–2°C). Близкие значения ТПМ характерны и для Сахалинского залива, где они изменяются от 0,6 °C на северо-западе до 2,3°C в центральной его части.

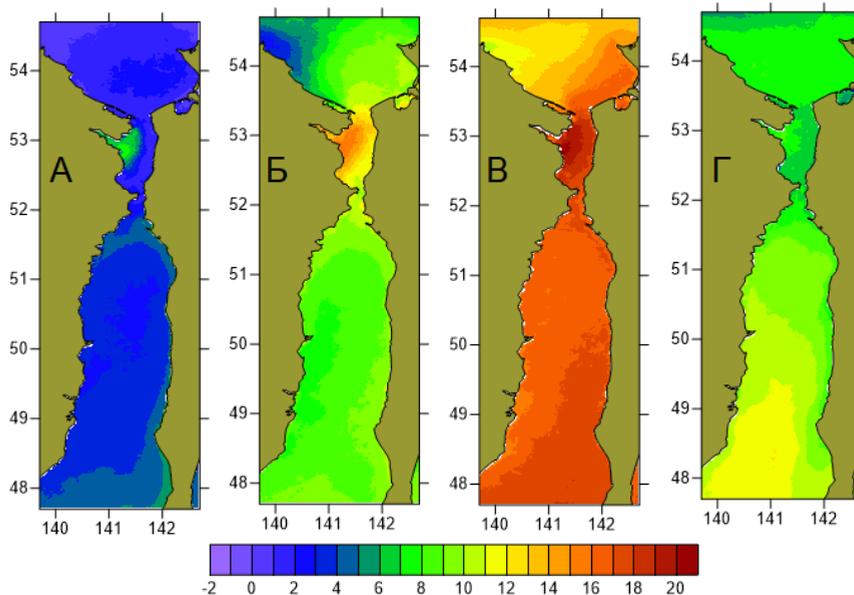


Рисунок 1 – Пространственные распределения средних многолетних значений ТПМ (в °C) в изучаемом районе весной (А – май, Б – июнь), летом (В – август) и осенью (Г – октябрь)

В июне вода речного половодья заполняет практически весь Амурский лиман, наиболее теплая вода (до 15°C) образует полосу, примыкающую к берегу между мысами Пронге и Джаоре и вытянутую в направлении Сахалинского залива. Удивительно, что непосредственно на участке устьевого взморья, к востоку от порта Николаевск на Амуре, значения ТПМ несколько ниже, около 13°C. Самые низкие температуры отмечены в юго-восточной части лимана вблизи берега о. Сахалин (11–12°C).

Значительные различия в значениях ТПМ наблюдаются в этот период в Сахалинском заливе. Модифицированная вода стока реки Амур образует стоковую линзу (11–12°C) вблизи пролива, соединяющего Амурский лиман с заливом, и распространяется на северо-восток вдоль западного берега полуострова Шмидта к северной оконечности о. Сахалин (10–11°C), при этом в его северо-западной части в районе мысов Литке и Александра, отмечена существенно более холодная вода (2,7–3,2°C). В рассматриваемой части Татарского пролива значения ТПМ сравнительно высокие – 8 – 9°C, они возрастают до 10 – 11°C у западного берега Сахалина и до 11–12°C в северной части пролива, примыкающей к проливу Невельского.

В августе (в период максимального прогрева вод) структура пространственного распределения ТПМ в целом сохраняется, только значения параметра заметно возрастают. В

северо-западной части Амурского лимана в области наиболее высоких температур они увеличиваются до 20°C, самые низкие величины в его юго-восточной части составляют около 17°C. В Сахалинском заливе четко прослеживается зона движения модифицированной воды стока Амура вдоль берега Сахалина на северо-восток, самая холодная вода (около 10°C) отмечена в районе м. Александра. В Татарском проливе четко выделяется зона влияния теплогo Цусимского течения, движущегося вдоль западного берега о. Сахалин.

Осенью в октябре происходят существенные изменения в пространственном распределении ТПМ, обусловленные как общим выхолаживанием поверхностного слоя воды в изучаемой области, так и перестройкой поля ветра от летнего муссона к зимнему, сопровождаемой сильными и устойчивыми ветрами северного и северо-западного румбов. Под их действием теплая вода оттесняется от берега Сахалина как в Амурском лимане, так и в Татарском проливе. На участке, прилегающем к устью реки Амур, отмечена теплая вода с температурой около 8°C, причем более сильный прогрев, в отличие от весны и лета, наблюдался непосредственно вблизи устья реки. На остальной части акватории лимана значения ТПМ несколько ниже – от 6 до 7°C. В ноябре в Амурском лимане значения ТПМ самые низкие во всем рассматриваемом районе, они колеблются от 0,8 до 1,5°C. Вероятно, быстрому выхолаживанию способствует мелководность данного бассейна. В декабре значительная его часть уже покрыта льдом. В Сахалинском заливе распределение температуры в поверхностном слое однородно, значения изменяются от 2,5 до 3,5°C. Самая теплая вода в центральной части Татарского пролива южнее 49 параллели (6–7°C).

На рисунке 2 представлен график вариаций ТПМ в изучаемом районе. В этих колебаниях явно доминирует годовой ход, также просматривается и межгодовая изменчивость, выраженная, главным образом, в низкочастотной модуляции летних максимумов. Наиболее ярко эта особенность выражена на начальном интервале наблюдений, до 2012 г. (выделяется период около 6 лет). Наиболее значимый максимум отмечен в августе 2006 г., холодными условиями характеризовалось лето 2002 и 2009 гг. После 2012 г. экстремумы были не такие выраженные, можно выделить только значимый минимум 2019 г. Отметим также начавшееся с 2012 г. усиление зимних минимумов, что согласуется с обнаруженной в работе [Ложкин, Шевченко, 2019] тенденцией к снижению температуры в холодный период года в замерзающих акваториях, к которым относится рассматриваемая область.

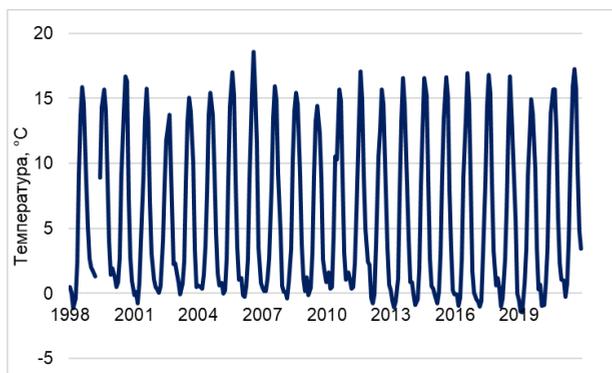


Рисунок 2 – Графики вариаций ТПМ (в °C), усредненных по изучаемой акватории

Усредненная кривая годового хода имела максимальное значение в августе (16°C) и минимальное в марте (-0,4°C), это единственное отрицательное значение. Она хорошо описывается комбинацией годовой (SA) и полугодовой (SSA) гармоник с амплитудами 8 и 2,3°C. Межгодовые вариации термических условий существенны, так, в августе разница между самым теплым 2006 и холодным 2002 гг. составила почти 6°C.

Для изучения пространственно-временной изменчивости ТПМ в Амурском лимане и прилегающих акваториях последовательность временных слоев с месячной дискретностью была разложена по методу естественных ортогональных функций (ЕОФ). Пространственное распределение двух основных мод (объясняют 91,5 и 1,6% дисперсии параметра соответственно, полагались безразмерными) и их временные функции (в °С) представлены на рисунке 3.

Первая мода отражает пространственную структуру вариаций температуры поверхности моря, которые происходят во всей области синфазно. Она не имеет узловых линий, все значения положительные, их величина отражает главным образом интенсивность летнего прогрева, рассмотренного выше, поэтому подробно останавливаться на особенностях пространственной функции не будем. Отметим только, что в Амурском лимане самые низкие значения выявлены непосредственно на приустьевом взморье (5,5–6), если не считать узкой прибрежной полосы, где, вероятно, сказываются ошибки в данных наблюдений.

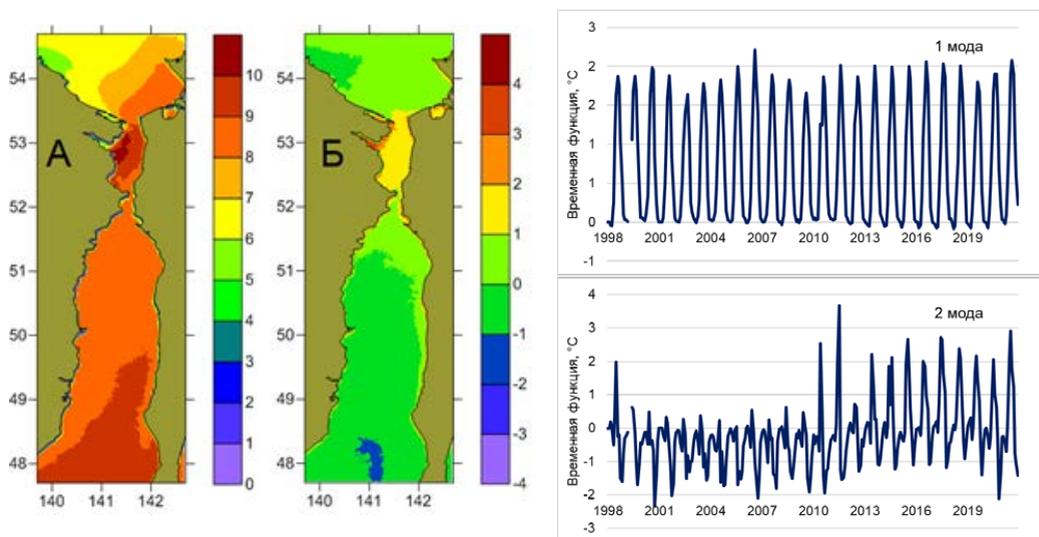


Рисунок 3 – Пространственные распределения первых двух мод (А и Б, безразмерные, рисунок слева) разложения поля ТПМ по ЕОФ и их временные функции (в °С, справа)

Временная функция первой моды идентична ходу осредненных значений ТПМ (коэффициент корреляции между рядами  $r=0,998$ ), поэтому анализировать ее также нет оснований. Остановимся подробнее на более высоких модах.

Пространственное распределение второй моды характеризуется наличием узловой линии, разделяющей области с положительными и отрицательными значениями. Пространственная функция положительна на акватории Амурского лимана и Сахалинского залива (за исключением небольшого участка, примыкающего к берегу между мысами Литке и Александра), а также в самой северной части Татарского пролива, примыкающей к проливу Невельского, и в сравнительно узкой полосе вдоль западного побережья о. Сахалин (примерно до г. Углегорск). Наибольшие значения эта функция имеет на акватории лимана, на большей его части от 1,2 до 1,5; около 2 в прибрежной полосе от устья Амура до о. Байдуков и до 3–3,5 на приустьевом взморье реки, в районе порта Николаевск. Максимальные по абсолютной величине отрицательные значения (около -1) отмечены в центральной части Татарского пролива, вблизи южной границы рассматриваемой области.

Временная функция этой моды резко различается, практически зеркально, в первой и второй половинах анализируемого интервала времени (1998–2009 и 2010–2021 гг.). Если

усредненные кривые в первом случае принимают преимущественно отрицательные значения (локальные минимумы в октябре  $-1,7$  и мае  $-0,55^{\circ}\text{C}$ , то на втором промежутке они все положительные, локальные максимумы в октябре  $1,2$  и мае  $1^{\circ}\text{C}$ ). Коэффициент корреляции между рядами составил  $r=-0,778$ , такая кардинальная перемена означает существенные изменения термических условий прежде всего на акватории Амурского лимана в целом и на устьевом взморье Амура в особенности. Так, отрицательная поправка в октябре к основному распределению ТПМ, описываемому первой модой, на первом промежутке времени составляла около  $2,5^{\circ}\text{C}$  и более  $5^{\circ}\text{C}$  в районе устья, то на втором она положительная и несколько меньше по величине (около  $1,6$  и  $3,3^{\circ}\text{C}$ ). В Сахалинском заливе и Татарском проливе эти вариации существенно меньше, но на акватории лимана они значимы, и могут рассматриваться как климатический сдвиг. Поскольку он наблюдается главным образом в эстуарии реки и слабо проявляется в прилегающих акваториях, вероятно, его причиной могут быть изменения в объеме стока, в частности, при весеннем половодье и осеннем паводке.

### Список литературы

1. Шевченко Г.В., Частиков В.Н. Сезонная изменчивость гидрологических характеристик на северо-восточном шельфе о. Сахалин // Океанологические исследования, 2019, Том 47, № 3, С. 246–263.
2. Шевченко Г.В., Частиков В.Н. Распространение вод Амура в восточной части залива Анива поздней осенью // Метеорология и гидрология. 2021. №1. С. 111–116.
3. Шевченко Г.В., Вилянская Е.А., Частиков В.Н. Сезонная изменчивость океанологических условий в северной части Татарского пролива // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 78–91.
4. Ростов И.Д., Жабин И.А. Гидрологические особенности приустьевой области р. Амур// Метеорология и гидрология. 1991. №7. С.94–99.
5. Жабин И.А., Дубина В.А., Некрасов Д.А., Дударев О.В. Структурные особенности зоны смещения речных и морских вод вблизи устья реки Амур по данным спутниковых и гидрологических наблюдений // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 5. С. 61–70.
6. Жабин И.А., Абросимова А.А., Дубина В.А., Некрасов Д.А. Влияние стока реки Амур на гидрологические условия Амурского лимана и Охотского моря // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 93–100.
7. Андреев А.Г. Распределение распресненных вод Амурского лимана в Охотском море по данным спутниковых наблюдений // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 89–96.

## СЕКЦИЯ № 6

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ

#### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ В АНТАРКТИДЕ**

Александров В.Я.<sup>1</sup>, Капустин А.В.<sup>2</sup>, Троицкий И.В.<sup>2</sup>, Харсов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военно-морской институт ВУНЦ ВМФ ВМА, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*kaps4000@mail.ru*

*Аннотация.* Показана важность использования авиации в условиях Антарктики. Вместе с тем существует проблематичность создания снежных аэродромов. В связи с этим существует ряд особенностей организации метеорологического обеспечения авиации ВМФ России.

*Ключевые слова.* Авиация, Антарктика, аэродром, вертолет, взлетно-посадочная полоса, лед, ледник, летное поле, метеорология, обеспечение, погодные условия, самолет, снежно-фирновый покров.

#### **SOME FEATURES OF METEOROLOGICAL SUPPORT OF AVIATION IN ANTARCTICA**

Alexandrov V.Ya.<sup>1</sup>, Kapustin A.V.<sup>2</sup>, Troitsky I.V.<sup>2</sup>, Kharsov A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Naval Institute of the VUNC of the Navy of the VMA, St. Petersburg

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

*Annotation.* The importance of using aviation in Antarctic conditions is shown. At the same time, there is a problem of creating snow airfields. In this regard, there are a number of features of the organization of meteorological support for aviation of the Russian Navy.

*Keywords.* Aviation, Antarctica, airfield, helicopter, runway, ice, glacier, airfield, meteorology, provision, weather conditions, aircraft, snow and fir cover.

Трудно переоценить значение авиации при выполнении исследований и освоении Антарктики. Огромные расстояния между населенными пунктами и полярными станциями в Арктике и еще более внушительные расстояния между научными станциями в Антарктиде (особенно значительная удаленность материковой части Российской Федерации от Антарктиды) диктуют необходимость использования авиации для снабжения всем необходимым и смены личного состава [1].

В Арктике взлетно-посадочные полосы (ВПП) часто строят на припайном льду в бухтах арктических морей. На дрейфующих станциях «Северный полюс» используются именно снежно-ледовые ВПП. В Антарктиде многие научные станции имеют снежно-ледовые ВПП, оборудованные на поверхности шельфовых и покровных ледников.

Научные исследования России в Антарктиде производятся под общим руководством Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, оперативная работа – Российской антарктической экспедицией (РАЭ). Транспортная логистика работы РАЭ весьма проблематична из-за предельной удаленности континента, крайне суровых климатических условий. Основное транспортное сообщение с Антарктидой осуществляется морскими судами. Недостатками этого вида транспорта являются медленная скорость и чрезвычайная трудоемкость преодоления морского ледового покрова вокруг Антарктиды. В результате этот путь из России в Антарктиду занимает 40-60 дней. Суда часто оказываются в ледовом плену, и последние 50-200 км приходится преодолевать на вертолетах. К берегам

Антарктиды суда могут приблизиться в конце летнего сезона (декабрь-январь), когда благоприятные погодные условия заканчиваются.

Поэтому оптимальным транспортом для связи с Антарктидой является воздушный. Но, в связи с отсутствием специальных самолетов дальней авиации на лыжном шасси необходимо было создать такие снежно-ледовые аэродромы, которые могли бы безопасно принимать серийные самолеты дальней авиации (сначала Ил-18, затем Ил-76ТД) с колесным шасси.

Характеристика снежно-фирнового покрова Антарктиды своеобразна, что определяет проблематичность создания снежных аэродромов. В прибрежных районах Антарктиды, на участках, приемлемых по рельефу для создания аэродромов, снежно-фирновый покров имеет толщину порядка десятков и сотен метров, и только ниже находится мощный ледовый покров материка, не влияющий на несущую способность снежно-фирнового покрытия. Именно подобный снежно-фирновый покров является основанием и единственным строительным материалом для создания высокопрочных аэродромов. При этом необходимо учесть распределение сжимающих напряжений в снежно-фирновом покрове по его глубине от воздействия на поверхность вертикальной нагрузки (шасси самолета). Это необходимо для определения глубины и величины воздействия нагрузки, расчета необходимой толщины и прочности снежно-фирнового покрова по глубине.

После проведения в течение нескольких лет подобного рода исследований был создан первый в мире классифицированный высокопрочный аэродром на глубоком снежно-фирновом покрове в районе станции Молодежная. На этом аэродроме осуществлялись посадки и взлеты самолетов Ил-18Д и Ил-76ТД. С 2001 г. такие полеты проводятся со снежно-ледового аэродрома в районе станции Новолазаревская (рисунок 1).

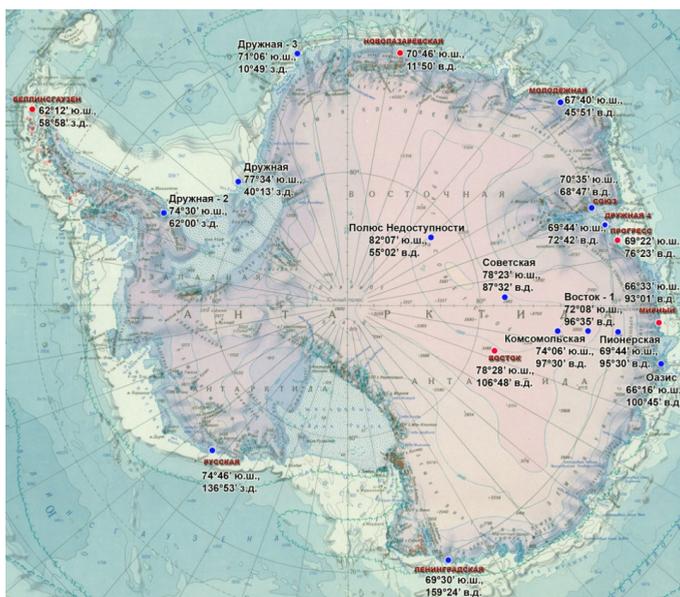


Рисунок 1 – Расположение российских антарктических станций

Основными факторами, влияющими на состояние снежно-ледовых аэродромов, являются:

- продолжительность холодного периода года;
- температуры воздуха и снега;
- продолжительность периодов с сильными ветрами и метелями;
- наличие полярного дня и полярной ночи;

- высокие значения солнечной радиации.

Во избежание проталин под воздействием солнечной радиации не допускается загрязнение снежного покрытия на летном поле и оставление на льду посторонних предметов.

Работу снежно-ледовых аэродромов сильно осложняют метели, ухудшающие видимость и способствующие образованию снежных заносов. Наиболее легко перемещается свежевывапавший снег. Обычно снег начинает переноситься при скорости приземного ветра около 3 м/с. Метелевый перенос снежных частиц начинается при скорости ветра 5 – 8 м/с.

В настоящее время три российские антарктические станции – «Восток», «Прогресс» и «Новолазаревская» имеют снежно-ледовые аэродромы, но только аэродром станции «Новолазаревская» способен принимать тяжелые самолеты на колесном шасси.

Внутриконтинентальная антарктическая станция «Восток» открыта в 1959 г. Высота расположения станции 3488 м над у.м. Координаты: 78° 27' 51'' ю.ш., 106° 50' 14'' в.д.

Станция «Восток» находится в центральной части антарктического материка, в зоне сухого снега. Максимальная температура поверхности снежного покрова, как правило, не превышает – 25 °С. Холодный снег плохо поддается искусственному уплотнению, что является основной проблемой при строительстве ВПП в таких районах.

Из года в год возрастающий поток грузов и специалистов через эту станцию вызывает необходимость использования имеющегося снежного аэродрома для посадки тяжелых самолетов на колесном шасси, например, таких, как Ил-76ТД (на сегодняшний день на ВПП станции «Восток» садятся и взлетают только самолеты с лыжным шасси – легкие и средние самолеты «Twin Otter» и «ТурбоБаслер» и тяжелые самолеты С-130 «Геркулес»).

Станция «Прогресс» расположена на восточном берегу залива Прюде (море Содружества). Открыта в 1989 г. Координаты: 69° 23' 00'' ю.ш., 76° 23' 00'' в.д. Имеющаяся на станции Прогресс взлётно-посадочная полоса на сегодняшний момент пригодна для эксплуатации только самолетов на лыжном шасси.

Станция открыта в 1961 г. Высота 102 м над у.м. Координаты: 70° 46' 04'' ю.ш., 11° 49' 54'' в.д.

Станция расположена на крайней юго-восточной оконечности оазиса Ширмахера, примерно в 80 км от берега моря Лазарева. К северу от станции простирается шельфовый ледник, с юга подходит склон материкового ледникового щита. В 100 км располагается горная система Вольгат с отдельными вершинами до 2900 м.

Аэродром расположен к юго-западу от станции на ледниковом склоне, на расстоянии 15 км. Контрольная точка аэродрома (КТА) расположена на высоте 554 м над у.м. Номер часового пояса – UTC + 1. Магнитное склонение - 27°.

Аэродром состоит из взлетно-посадочной полосы размерами 2600x42 м. Посадочный курс - 106° 44'. Продольный профиль ВПП нисходящий в восточном направлении.

Снежно-ледовый аэродром «Новолазаревская» относится к аэродромам дневного действия и предназначен для полетов воздушных судов (ВС) всех классов на колесном и лыжном шасси. Аэродром находится в хозяйственном ведении и оперативном управлении Российской антарктической экспедиции ААНИИ. Базирующихся авиационных подразделений на аэродроме нет.

Летное поле прямоугольной формы, вытянуто с запада на восток, размером 4000x600 м. На летном поле расположена летная полоса, на которой маркируется одна ВПП размером 2980x60 м, со свободной зоной по 400 м у обоих порогов и спланированной части летного поля по 75 м от оси по всей длине ВПП. Рулежная дорожка (РД) шириной 200 м, перрон размером 200x200 м.

ВПП имеет следующие параметры:

- снежно-ледовое покрытие на куполе ледника, толщина снегольда 0,15-0,20 м с прочностью 900 кПа (9 кгс/см<sup>2</sup>), толщина льда 2000 м с прочностью более 1200 кПа (12 кгс/см<sup>2</sup>).

- магнитные курсы (МК) посадки 134° и 314°;

- высоты порогов 551 и 528 м, пороги совпадают с торцами ВПП;  
 - профиль ВПП с продольным уклоном с запада на восток – 0,9%, поперечного уклона ВПП не имеет;

ВПП и РД имеют стандартную дневную маркировку.

Метеорологические минимумы для взлета и посадки ВС по Правилам производства полетов (ПВП) установлены (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Метеорологические минимумы МК пос. 134°

Тип ВС	Правила полетов	В з л е т		П о с а д к а	
		День (Ннго/вид.)	Ночь (Ннго/вид.)	День (Ннго/вид.)	Ночь (Ннго/вид.)
ВС с V<550 км/ч	ПВП	б/о х 2000 м		1500 х 4000 м	

Таблица 2 – Метеорологические минимумы МК пос. 314

Тип ВС	Правила полетов	В з л е т		П о с а д к а	
		День (Ннго/вид.)	Ночь (Ннго/вид.)	День (Ннго/вид.)	Ночь (Ннго/вид.)
ВС с V<550 км/ч	ПВП	б/о х 2000 м		1500 х 4000 м	

Район аэродрома установлен в радиусе 20 км от КТА до абсолютной высоты 1500 м включительно.

Подходы к ВПП открытые с обоих направлений.

В районе аэродрома находится станция РАЭ «Новолазаревская».

В районе аэродрома посадочных площадок, площадок десантирования (приземления), пунктов запуска аэростатов (шаров-зондов) нет.

Для вынужденной посадки в районе аэродрома аэродромов и посадочных площадок не имеется. Запасным аэродромом для ВС является аэродром Кейптаун (с рубежа возврата).

В пределах района аэродрома установлена зона ожидания для полетов по ПВП. В качестве зоны ожидания используется установленный круг полетов над аэродромом с высотой полета по кругу 900 м.

Полеты в воздушном пространстве аэродрома по правилам полетов по приборам (ППП) – запрещены.

Снежно-ледовый аэродром «Новолазаревская» является единственным сертифицированным аэродромом на российских антарктических станциях.

Технология подготовки снежно-ледового покрытия аэродрома «Новолазаревская»:

1. Рыхление (борона на бульдозере Т-100)
2. Планировка (планировщик Д-712 на тракторе К-701)
3. Уплотнение средним катком (каток ДУ-39А на тракторе К-701)
4. Уплотнение тяжелым катком (каток ДУ-39А на тракторе К-701)

Своей метеорологической группы не имеется, поступление метеорологической информации для организации полетов обеспечивает диспетчер АДП аэродрома (на аэродроме установлена автоматическая метеорологическая станция (АМС) MILOS 500 производства финской фирмы WAISALA). Авиационными прогнозами погоды обеспечивает синоптик аэропорта Кейптаун.

Наиболее благоприятные погодные условия для полетов в высоких широтах Южного полушария наблюдаются весной и летом - с начала ноября до начала марта (иногда с перерывом в январе).

### Список литературы

- 1 Жильчук И.А. Военно-специальная подготовка для офицеров запаса. Особенности

метеорологического обеспечения полетов в различных географических районах: учебное пособие. / И.А. Жильчук, А.В. Капустин, В.Я. Александров, А.А. Харсов, П.А. Прохоренко – СПб.: РГГМУ, 2020. – 48 с.

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА**

Александров В.Я.<sup>1</sup>, Капустин А.В.<sup>2</sup>, Троицкий И.В.<sup>2</sup>, Харсов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Военно-морской институт ВУНЦ ВМФ ВМА, Санкт-Петербург

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

*kaps4000@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются актуальные вопросы воздействия неблагоприятных погодных условий на деятельность человека.

*Ключевые слова.* Деятельность в Арктике и Антарктике, индексы здоровья, индексы суровости погоды.

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL AND GEOPHYSICAL FACTORS OF THE POLAR REGIONS ON HUMANS.**

Alexandrov V.Ya.<sup>1</sup>, Kapustin A.V.<sup>2</sup>, Troitsky I.V.<sup>2</sup>, Kharsov A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Naval Institute of the VUNC of the Navy of the VMA, St. Petersburg

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

*Annotation.* Topical issues of the impact of adverse weather conditions on human activity are considered.

*Keywords.* Activity in the Arctic and Antarctic, health indices, weather severity indices.

В соответствии с планом деятельности Вооружённые Силы России будут наращивать свою группировку в Арктике. Все виды деятельности в Арктике нуждаются в гидрометеорологическом обеспечении. На всех арктических аэродромах, пунктах базирования флота, развернуты и круглосуточно выполняют задачи метеорологические подразделения.

В начале 2000-х годов многие гарнизоны и их взлетно-посадочные полосы (ВВП) в отдаленных арктической зоне были выведены из эксплуатации. При сокращении авиационных частей расформировывались и метеорологические службы. Только на Европейском севере прекратились регулярные метеорологические наблюдения на восьми аэродромах: Килп-Явр, Североморск-2, Луастари, Африканда, Алакуртти, Кемь, Летнеозёрский и Саватия (Котлас-9).

При проведении работ по восстановлению и реконструкции аэродромов реконструкцией аэродромов, расположенных в арктической зоне, восстанавливается сеть военных метеорологических станций. Проекты реконструкции подразумевают, возведение совершенно новых взлетно-посадочных полос, размещение на аэродромах метеорологических подразделений и оснащение их современными средствами наблюдений, выполненных с учётом суровых климатических условий.

В соответствии с планом деятельности в Арктике модернизируются уже существующие аэродромы и строятся новые с учетом возможности обеспечения полетов дальней и транспортной авиации.

В связи с вышесказанным, повышенный интерес вызывает вопрос влияния современного климата полярных областей на здоровье человека.

В реальной жизни мы сталкиваемся с многочисленными комбинациями природных факторов. Но ни один из космогеофизических и атмосферных процессов не обладает строго периодическими изменениями, а их влияние на процессы в биосфере проявляются одновременно, накладываясь друг на друга.

Многочисленные исследования ученых посвящены изучению влияния **температуры** наружного воздуха на человека. Однако, благодаря средствам защиты, значение холодого фактора как ведущего в условиях Заполярья применительно к человеку скомпенсировано. Но для контингента, работающего на открытом воздухе в зимний период, фактор низких температур сохраняет свое ведущее значение.

Функциональное состояние организма тесно связано с относительной влажностью воздуха, особенно в сочетании с температурой. Сочетание низких температур с высокой влажностью ведет к усилению теплоотдачи и возникновению ощущения озноба.

Обезвоживание – это процесс, возникающий не только при высоких температурах, когда организм, борясь с перегревом, вынужден расходовать много тепла. При отрицательных температурах водопотеря бывает столь значительна, что создает серьезную угрозу организму. Причины этого могут быть различны: усиленное потоотделение, вызванное тяжелой физической работой в теплой, стесняющей движение одежде, низкая температура и сухость воздуха, поступающего в легкие, который там, нагреваясь, поглощает значительное количество влаги и некоторые другие причины [1].

Установлено, что низкая температура воздуха, действуя на открытые участки тела, способствует повышению артериального давления.

Все эти явления особенно выражены в Антарктиде, где относительная влажность воздуха ниже, чем в азиатских пустынях. Отмечено неблагоприятное воздействие низкой влажности воздуха в сочетании как с низкой температурой наружного воздуха, так и с теплым воздухом помещений, поскольку при этом происходит высыхание слизистых дыхательных путей (это приводит к различным повреждениям последних и вызывает постоянную жажду).

Для береговой Антарктиды характерными являются стоковые ветры, достигающие 40-50 м/с, а в порывах до 60 м/с и выше. Сочетание низких температур и сильных ветров характерно и для климата Арктики.

Ветер существенно затрудняет дыхание и увеличивает физические нагрузки при передвижении. Кроме того, непрерывный звуковой эффект, сопровождающий ветер, способствует появлению отрицательных эмоций – повышение возбудимости нервной системы, головные боли, ощущение тревоги, тоски и т.п.

Ветер усиливает охлаждающее воздействие отрицательных температур и поэтому учитывается в большинстве формул, характеризующих жесткость погоды.

Арктика и Антарктида с медико-географической точки зрения представляют собой сложную комбинацию природных и микросоциальных (возникших в результате экспедиционной деятельности) факторов, выступающих в роли источников расстройств у человека. Но значение влияния этих факторов на личный состав неравноценно: например, такие параметры климатических условий, как низкие температуры и сильные ветры на береговых станциях, в силу накопленного опыта зимовок и использования современных защитных средств в некоторой степени потеряли ведущее значение в причинах заболеваний и расстройств [5].

Другие природные явления, свойственные высоким широтам – полярная ночь и полярный день, повышенная магнитная активность, влажность воздуха (повышенная в Арктике и пониженная в Антарктиде) продолжают оказывать влияние на жизнедеятельность человека и его биологические ритмы.

Доказано, что метеорологические и геофизические факторы оказывают влияние на организм, как больного, так и здорового человека. На организм влияют не только температура и влажность наружного воздуха, ветер (действующие на тепловое состояние

человека), но и атмосферное давление, весовое содержание кислорода в воздухе, электрические метеорологические процессы в атмосфере.

Полярные области Земли являются наиболее специфическими по воздействию комплекса метеорологических и геофизических факторов на организм человека. Адаптация пришлого населения (участники экспедиций) к условиям полярных районов сопровождается развитием синдрома полярного напряжения. Может развиваться метеоневроз. Течение адаптации в зимний период в условиях Крайнего Севера (Антарктиды) у определенной группы личного состава сопровождается патологическими проявлениями неврозов [2].

Установлено, что характер адаптационных перестроек проявляется в деятельности сердечно-сосудистой системы, динамике артериального давления, частоты сердечных сокращений и других показателей на протяжении всей зимовки и зависит от индивидуальных возможностей организма.

Особенности жизнедеятельности личного состава и его заболеваемость подробно изложены в отчетах врачей. В них подробно описывается роль холодового фактора в возникновении и течении заболеваний, влияние погодных условий, связанных с изменениями характера атмосферной циркуляции и геомагнитной активности.

Болезни сердечно-сосудистой системы и неврозы значительно чаще встречаются в Антарктиде, чем в северных районах и на дрейфующих станциях «Северный полюс» (СП). В то же время на СП намного чаще встречаются более легкие формы нарушений (расцениваемые врачами как предневротические состояния - нарушение сна и др.).

Первый пик заболеваемости приходится на время отхода последних судов из Антарктиды (это является чрезвычайно психотравмирующим фактором, так как означает практически полную изоляцию от внешнего мира, которая в меньшей степени ощущается на станциях СП, связанных с Большой землей авиацией [4].

Второй пик заболеваний в Антарктиде приходится на период полярной ночи. Полярный день также является раздражающим фактором для личного состава, особенно на СП, где таяние льдины приводит к перебазированию лагеря, затрудняет передвижение, хранение продуктов и т.д.

Условия Антарктиды вызывают более заметные перестройки организма и личности, чем зимовки в Арктике. При сравнении условий проживания в Арктике и Антарктиде основное внимание уделяется суровости климата (самые суровые условия на высокогорном антарктическом плато, где расположена станция «Восток» - высота около 4000 м, остальные станции расположены на побережье).

Береговые антарктические станции имеют существенные отличия от арктических по всему спектру метеорологических параметров. Особенности метеорологических процессов (низкое атмосферное давление и относительная влажность воздуха, ураганные ветры и т.д.) оказывают еще более стрессовые воздействия на организм человека, чем в Арктике. Дополнительными стрессовыми факторами являются фазовые перестройки времен года, светового и ультрафиолетового режимов, а также практически полная изоляция от внешнего мира. Таким образом, складывается совокупность природно-климатических, геофизических и социальных факторов, которые отличаются в Антарктиде еще большей экстремальностью, чем в Арктике. У полярников Антарктиды наслаиваются сразу несколько неблагоприятных факторов на один период, когда все нарушения выступают наиболее отчетливо: полярная ночь, середина зимовки, противоположный сезон года, экстремальность метеорологических и геофизических явлений [3].

Для определения охлаждающей силы внешней среды в холодный период года используется ряд индексов. Наиболее распространенным и широко используемым является индекс суровости погоды Бодмана, рассчитываемый по номограмме или формуле.

По степени суровости погоды (в баллах) морозные погоды типизированы как:

- мягкая — суровость менее 1 балла,
- мало суровая — 1-2 балла,
- умеренно суровая — 4,1-5 баллов,

- жестко суровая — более 5 баллов.

Комплексное влияние метеорологических факторов на организм человека, учитываемое приведенными выше интегральными показателями, не исключает возможности преимущественного воздействия одного из них, проявляющегося большей частью при экстремальных значениях метеорологических элементов или при их резких колебаниях. При рассмотрении температурного режима следует обращать внимание на резкие колебания температуры воздуха от суток к суткам, а также на возможность перегревания или охлаждения организма.

При определении типов погоды для медико-метеорологического прогнозирования ежедневно анализируется суточный ход температуры воздуха и других метеорологических элементов. Их среднее отклонение от средних многолетних величин рассчитывается для каждого конкретного климатогеографического региона.

Тепловое состояние человека в холодный период года в основном определяется низкой температурой воздуха и скоростью ветра, которые влияют и на охлаждение незащищенных частей тела, и на органы дыхания. В приморских районах дополнительную холодовую нагрузку может вызывать относительная влажность воздуха.

Метод Бодмана позволяет определять в баллах степень суровости погоды по формуле:

$$S = (1 - 0.04 \cdot t) \cdot (1 + 0.27 \cdot v) \quad (1)$$

где  $S$  – индекс суровости, баллы;  $t$  – температура воздуха, °C;  $v$  – скорость ветра, м/с.

Согласно шкале Бодмана, при  $S < 1$  погода несуровая, мягкая; 1–2 – погода малосуровая; 2–3 – умеренно суровая; 3–4 – суровая; 5–6 – жестко суровая; 6 – крайне суровая [1].

Скорость ветра в м/с	Температура воздуха (°C)														
	-3	-5	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-27	-29	-31
3	-9	-11	-13	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-27	-29	-31	-33	-35	-37
5	-13	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-27	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-41
7	-17	-19	-21	-23	-25	-27	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-41	-43	-45
9	-21	-23	-25	-27	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49
11	-25	-27	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49	-51	-53
13	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49	-51	-53	-55	-57
15	-33	-35	-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49	-51	-53	-55	-57	-59	-61
17	-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49	-51	-53	-55	-57	-59	-61	-63	-65
19	-41	-43	-45	-47	-49	-51	-53	-55	-57	-59	-61	-63	-65	-67	-69
21	-45	-47	-49	-51	-53	-55	-57	-59	-61	-63	-65	-67	-69	-71	-73
23	-49	-51	-53	-55	-57	-59	-61	-63	-65	-67	-69	-71	-73	-75	-77
25	-53	-55	-57	-59	-61	-63	-65	-67	-69	-71	-73	-75	-77	-79	-81
27	-57	-59	-61	-63	-65	-67	-69	-71	-73	-75	-77	-79	-81	-83	-85

очень холодно  
жестко холодно

Рисунок 1 – Таблица для определения суровости погодных условий

Так же, для оценки влияния метеорологических факторов, используют индекс холодового стресса.

Тепловое состояние человека в холодный период года в основном определяется низкой температурой воздуха и скоростью ветра, которые особенно влияют на охлаждение

незащищенных одеждой частей тела и органы дыхания. В таблице представлен один из методов определения суровости погодных условий (рис.1).

Использование существующих методик оценки суровости погоды позволит своевременно подготовиться к воздействию неблагоприятных факторов погоды на личный состав арктических подразделений, что позволит эффективно выполнять поставленные задачи.

#### Список литературы

1. В.Н. Шаповальников, С.И. Сороко. Метеочувствительность человека. Бишкек, изд. «Илим», 1992 г., - 248 с.
2. В.А. Матюхин, А.Н. Разумов. Экологическая физиология человека и восстановительная медицина. М.:ГЭОТАР МЕДИЦИНА, 1999 г., - 336 с.
3. В.Я. Александров, А.И. Угрюмов. Климат Антарктического полуострова и его изменения. Монография. СПб.: РГГМУ. 2014 г., - 102 с.
4. <http://www.aari.ru>
5. <http://www.raexp.ru>

### ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗОВ СКОРОСТИ ВЕТРА ДЛЯ ПОРТА МУРМАНСКА

Винокурова Е.В.<sup>1</sup>, Дробжева Я.В.<sup>1</sup>, Иванова Е.П.<sup>1</sup>, Ламерт Н.Н.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБУ «Мурманское УГМС», ГМС «Никель», Мурманск  
[ydrobzheva@mail.ru](mailto:ydrobzheva@mail.ru), [nata.lamert@mail.ru](mailto:nata.lamert@mail.ru)

*Аннотация.* Вопросам гидрометеорологического обеспечения безопасности и эффективности функционирования морских портов, тем более в таких сложных по погодным условиям регионах, как зона ответственности Мурманского УГМС. Для максимального снижения воздействий гидрометеорологических условий необходима оптимальная адаптация к ожидаемым условиям погоды, необходима экономически эффективное использование гидрометеорологической информации, особенно, прогностической. В данной статье представлены оценка успешности метеорологических прогнозов штормовой скорости ветра для порта Мурманска.

*Ключевые слова.* Успешность прогнозов, критерии успешности прогнозов, скорость ветра

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ERRORS OF DIRECTION FINDING INFORMATION ON THE ACCURACY OF WIND SOUNDING USING RADIOSONDES

Vinokurova E.V.<sup>1</sup>, Drobzheva Ya.V.<sup>1</sup>, Ivanova E.P.<sup>1</sup>, Lamert N.N.<sup>2</sup>

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

The Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring in Murmansk,  
Murmansk

*Annotation.* Issues of hydrometeorological safety and efficiency of the functioning of seaports, especially in such difficult weather regions as the area of responsibility of the Murmansk UGMS. To minimize the impact of hydrometeorological conditions, optimal adaptation to the expected weather conditions is necessary, and cost-effective use of hydrometeorological information, especially forecast information, is necessary. This article presents an assessment of the success of meteorological forecasts of storm wind speed for the port of Murmansk.

*Keywords.* Success of forecasts, criteria for success of forecasts, wind speed

На основе сформированной базы экспериментальных и прогностических данных скорости ветра для порта Мурманск (суточных прогнозов) за январь-март и ноябрь-декабрь (с 2011 по 2015гг.), всего 911 значений, были разработаны матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов скорости ветра. В качестве мер успешности прогнозов использованы критерии, позволяющие дать количественную оценку схождения прогностических и фактических значений и тем самым установить метеорологическую результативность прогнозирования.

Для примера в таблице 1 представлены прогностические и экспериментальные данные по скорости ветра за январь-март и ноябрь-декабрь 2011 года. В таблице приведены максимальные значения скорости ветра, взятые из соответствующих градаций. Фактические значения скорости ветра рассматриваются как преобладающие - максимальные. В качестве штормового значения скорости ветра принимается скорость 12 м/с и более.

Таблица 1– Суточные прогнозы скорости ветра за период январь-март и октябрь-декабрь 2011г. по г. Мурманску ( $V_{шт} \geq 12$  м/с)

Месяц	Январь		Февраль		Март		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
1	9	11	10	7	17	17	15	22	11	10	20	21
2	10	10	9	8	20	18	11	13	17	16	17	20
3	7	7	7	8	27	23	9	10	10	12	14	16
4	7	12	9	6	20	24	9	10	17	5	14	14
5	8	13	10	14	20	18	4	7	17	16	8	12
6	12	10	8	9	18	14	17	7	18	16	9	11
7	10	8	13	13	18	17	20	16	18	13	9	11
8	9	9	11	12	18	16	16	21	16	16	10	11
9	12	9	14	7	22	23	16	14	12	14	11	11
10	11	5	11	9	15	18	14	18	13	9	11	9
11	11	10	11	13	11	14	16	12	15	9	12	9
12	9	13	8	9	15	11	15	9	15	10	13	9
13	5	6	14	9	8	11	14	16	22	17	17	12
14	6	7	10	8	10	10	14	13	30	21	14	16
15	18	11	5	8	15	15	14	13	17	28	15	14
16	20	21	9	5	18	17	14	13	17	13	13	10
17	11	21	5	9	18	18	11	9	11	11	11	12
18	10	14	9	9	16	17	19	9	16	10	10	5
19	8	10	14	11	15	15	20	20	16	14	9	6
20	17	9	13	11	17	17	14	18	15	19	10	9
21	17	13	15	14	20	16	14	14	13	16	10	10
22	14	16	17	23	23	28	10	11	14	12	17	9
23	8	13	17	16	15	19	13	9	17	15	18	21
24	10	11	24	14	17	18	15	12	18	18	18	19
25	13	14	24	24	20	23	13	14	17	14	18	16
26	18	13	18	21	14	16	8	9	18	16	17	16
27	17	18	20	17	10	16	10	9	17	14	16	14
28	12	22	17	17	10	11	11	9	15	11	15	17
29	15	10			15	9	12	9	18	13	12	17
30	14	15			9	10	15	11	20	20	16	9
31	13	13			14	13	14	10			10	12
$n_{01}n_{10}$	14	15	13	12	25	25	22	16	27	22	19	17
$n_{02}n_{20}$	17	16	15	16	6	6	9	15	3	8	12	14
Результат	$n_{01}=120, n_{02}=62, n_{10}=107, n_{20}=75, N=182$											

В нижней результирующей строке по каждому месяцу указаны числа случаев:  $n_{01}$  – число текстов прогноза П, когда скорость ветра прогнозировалась;  $n_{02}$  – число текстов

прогнозов  $\bar{\Pi}$ , когда скорость ветра не прогнозировалась;  $n_{10}$  – число случаев, когда скорость ветра фактически наблюдалась  $\Phi$ ;  $n_{20}$  – число случаев, когда скорость ветра фактически не наблюдалась ( $\bar{\Phi}$ ).

Для оценки успешности прогнозирования были построены матрицы сопряженности альтернативных методического, инерционного и случайного прогнозов за весь период с 2011 по 2015гг. (таблицы 2, 3, 4) [2].

Таблица 2 – Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011-2015 г.

	$\Pi$	$\bar{\Pi}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
$\Phi$	407	73	480
$\bar{\Phi}$	179	252	431
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	586	325	911

Таблица 3 – Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011-2015 г.

	$\Pi$	$\bar{\Pi}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
$\Phi$	351	129	480
$\bar{\Phi}$	129	302	431
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	480	431	911

Таблица 4 – Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011-2015 г.

	$\Pi$	$\bar{\Pi}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
$\Phi$	311	169	480
$\bar{\Phi}$	275	156	431
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	586	325	911

В качестве критериев успешности использовались критерии [1], рассчитанные как для методических, так и для инерционных прогнозов погоды за весь период: Оправдываемость прогноза факта наличия штормовой скорости ветра

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} 100\% , \quad (1)$$

Общая оправдываемость – отношение числа оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов.

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где  $n_{11}$  и  $n_{22}$  – число случаев оправдавшихся прогнозов при сочетании  $\Pi \sim \Phi$  и  $\bar{\Pi} \sim \bar{\Phi}$ .

Критерий надежности прогнозов, предложенный Н.А. Багровым характеризует относительное приращение общей оправдываемости оцениваемых прогнозов (по сравнению со случайными) к максимально возможному.

$$H = \frac{p-p_{сл}}{1-p_{сл}} \quad (3)$$

Критерий  $H$  лишен недостатков, присущих критерию «общая оправдываемость». Значения  $H$  меняются в пределах от 0 (прогнозы на уровне случайных) до 1 (прогнозы на уровне идеальных).

Критерий точности прогнозов  $Q$ , предложенный М.А. Обуховым, рассчитывается по формуле

$$Q = 1 - \left( \frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right). \quad (4)$$

Показатель  $Q$  выражает долю точных, успешных прогнозов при известной повторяемости фаз явлений.

Количество прогностической информации  $I$  представляет собой снижение природной энтропии  $H(\Phi)$  на величину  $H(\Pi)$ :

$$I = H(\Phi) - H(\Pi) \quad (5)$$

Безусловная энтропия определяется на основании известных вероятностей фаз данного явления или состояния погоды ( $p(\Phi_i) = p_{i0} = \frac{n_{i0}}{N}$ ):

$$H(\Phi) = - \sum_{i=1}^n p(\Phi_i) \lg p(\Phi_i), \quad (6)$$

где  $p(\Phi_i) = n_{i0}/N$ . Индекс  $n$  над знаком суммы означает число фаз, градаций выбранной метеорологической величины или явления погоды, индекс  $i$  - номер строки в матрице сопряженности прогнозов. Для альтернативного прогноза  $n=2$ .

Полная условная энтропия  $H(\Pi)$  осуществления прогноза погоды:

$$H(\Pi) = - \sum_{j=1}^m p(\Pi_j) H(\Pi_j/\Phi_i), \quad \text{где} \quad (7)$$

где  $p(\Pi_j) = n_{0j}/N$ ,

$H(\Pi_j/\Phi_i)$  - условная энтропия системы  $\Phi$  при условии, что система  $\Pi$  находится в состоянии  $\Pi_j$ .

$$H(\Pi_j/\Phi_i) = \sum_{i=1}^n p(\Pi_j/\Phi_i) \lg p(\Pi_j/\Phi_i). \quad (8)$$

Выражение  $p(\Pi_j/\Phi_i)$  означает условную вероятность 1 типа  $q_{ij} = p_{ij}/p_{0j}$  или  $q_{ij} = n_{ij}/n_{0j}$ , где  $i$  - номер строки, а  $j$  - номер столбца в матрице сопряженности прогнозов.

Критерий информационное отношение  $v$ .

$$v = \frac{H(\Phi) - H(\Pi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)} \quad (9)$$

Величина  $v$  показывает, какая часть неопределенности климатологических прогнозов (природной неопределенности осуществления явления) устраняется с помощью методических прогнозов.

Меры Гутмана. Рассматриваются два признака  $\Pi$  и  $\Phi$ .

$$1. \lambda(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{j \max} - n_{i0 \max}}{N - n_{i0 \max}}, \quad (10)$$

где  $n_{j \max}$  – максимальное значение частоты в  $j$ -м столбце,  $n_{i0 \max}$  – максимальное значение частоты в столбце сумм, определяющих повторяемость фаз явления или условия погоды.

$$2. \lambda(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{0j \max}}{N - n_{0j \max}}, \quad (11)$$

где  $n_{i \max}$  – максимальное значение частоты в  $i$ -й строке,  $n_{0j \max}$  – максимальное значение частоты в строке сумм, определяющих повторяемость текстов прогнозов.

3. Для оценки общей связности признаков  $\Pi$  и  $\Phi$  используется обобщенная мера

$$\lambda = \frac{\left( \sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{0j \max} \right) + \left( \sum_{j=1}^m n_{j \max} - n_{i0 \max} \right)}{2N - n_{i0 \max} - n_{0j \max}} \quad (12)$$

Формулы в определенной степени являются аналогами условной вероятности.

Меры Гутмана  $\lambda(\Pi/\Phi)$ ,  $\lambda(\Phi/\Pi)$  и  $\lambda$  характеризуют относительный прирост успешности прогноза выбранного признака в частных или общем случаях.

Результаты расчетов критериев успешности прогноза скорости ветра представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета критериев успешности прогнозов скорости ветра за январь-март и октябрь-ноябрь месяцы 2011-2015года. ( $V_{\text{шт}} \geq 12$  м/с)

Критерии успешности	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
p	70%	70%
U	85%	70%
H	0,4	0,4
Q	0,4	0,4
I	0,0	0,0
v	0,0	0,0
$\lambda(\Pi/\Phi)$	0,4	0,4
$\lambda(\Phi/\Pi)$	0,2	0,4
$\lambda$	0,3	0,4

Также данные критерии были рассчитаны отдельно для каждого года, для примера, изменение значений критериев H, Q для методических и инерционных прогнозов скорости ветра в зависимости от года представлены на рисунке 1.

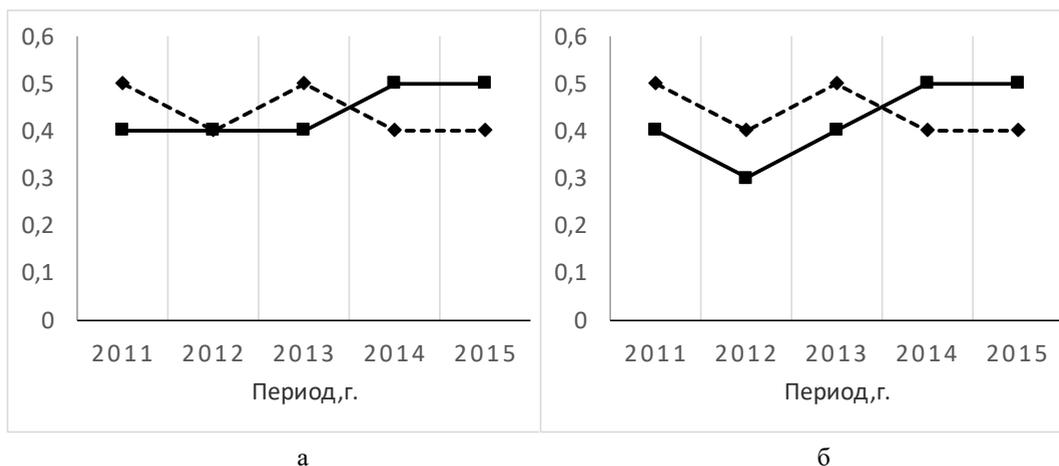


Рисунок 1 – Изменение значения критерия успешности в зависимости от года для методических и инерционных прогнозов: а) критерий надежности по Н.А. Багрову (Н)-ромбы, б) критерий точности по М.А. Обухову - квадраты

Представленные результаты показывают, что успешность прогноза методических прогнозов скорости ветра для порта Мурманска, в целом, недостаточно хорошая – успешность на уровне инерционных прогнозов. Однако, для функционирования порта главную роль играет эффективность прогноза штормовой скорости ветра, а успешность прогноза штормовой скорости ветра составила 85%, что является удовлетворительным результатом.

При этом, значения критериев Н и Q для методических прогнозов скорости ветра превышают значения, полученные для инерционных, для 2014 и 2015 гг., однако, в любом случае, сами значения не достигают порогового, равного 0,6, превышение которого является свидетельством надежности и точности прогнозов, соответственно.

#### Список литературы

1. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология [Текст]: учебник/ Л.А. Хандожко. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 339с. – URL: <http://elibr.shu.ru>.
2. Дробжева Я.В., Волобуева О.В. Метеорологические прогнозы и их экономическая полезность [Текст]: учебное пособие/Я.В. Дробжева, О.В. Волобуева. – СПб.: Адмирал, 2016. – 116 с.

### ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЗОВОЙ ПАТРУЛЬНОЙ АВИАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Капустин А.В., Троицкий И.В., Харсов А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
[kaps4000@mail.ru](mailto:kaps4000@mail.ru)

*Аннотация.* Показана специфика и особенности организации гидрометеорологического обеспечения решения задач поражения подводных лодок противника самолетами базовой патрульной авиации ВМФ России.

*Ключевые слова.* Авиационное противолодочное оружие, базовая патрульная авиация, гидрометеорология, гидрологические условия, обеспечение, подводная лодка, самолет, система.

## FEATURES OF HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF BASIC PATROL AVIATION IN SOLVING SPECIAL TASKS

Kapustin A.V., Troitsky I.V., Kharsov A.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The specifics and features of the organization of hydrometeorological support for solving the tasks of defeating enemy submarines by aircraft of the basic patrol aviation of the Russian Navy are shown.

*Keywords.* Aviation anti-submarine weapons, basic patrol aviation, hydrometeorology, hydrological conditions, support, submarine, aircraft, system.

Сегодня, в период проведения Специальной военной операции, возрастает напряженность в отношениях России с США и странами НАТО и появляется тенденция к переходу на новый уровень противостояния. Об этом свидетельствуют проведение ряда учений ядерных сил североатлантического блока, в том числе проведенные в 2022 году учения Steadfast noon («Непоколебимый полдень»). В ответ на активизацию ядерных сил США и стран НАТО, Россия провела учения собственных ядерных сил «Гром», а также разрабатывает комплекс ответных мер для нейтрализации возрастающих угроз собственной безопасности.

Одним из основных компонентом стратегической ядерной триады США являются атомные подводные лодки с баллистическими ракетами подводного пуска (пл), которые предназначены для уничтожения военно-промышленных объектов, административно-политических центров, командных пунктов, пунктов управления, крупных узлов связи, пусковых установок ракет, элементов ПВО, военно-морских баз, арсеналов ракетного оружия, аэродромов ВВС, крупных портов, судостроительных центров. Из 14 действующих пл ВМС США, 8 патрулируют в Тихом и 6 в Атлантическом океанах.

В этих условиях повышается значимость сил и средств борьбы с пл ВМС США и стран НАТО. Важное место в системе противолодочной борьбы отводится базовой патрульной авиации (БПА) ВМФ, обладающей высокой мобильностью, маневренностью и значительным поражающим потенциалом. Именно эти боевые свойства позволяют БПА ВМФ:

- действовать по вызову в ближней и дальней морских районах нахождения пл США и стран НАТО;
- сохранить свою значимость в противолодочной борьбе с современными и перспективными пл противника.

«Борьбу против пл, постоянно патрулирующих в океане (море), силы БПА ведут с целью срыва их ракетно-ядерных ударов с началом войны. Достижение этой цели возможно только при условии, если силы БПА окажутся на любой случайный момент внезапного нападения в надежном контакте с патрулирующими пл ВМФ и будут способны немедленно совершить перелет в назначенный район Мирового океана, найти пл и применять прицельно по ним авиационное противолодочное оружие (АПЛОр)» [1, 2].

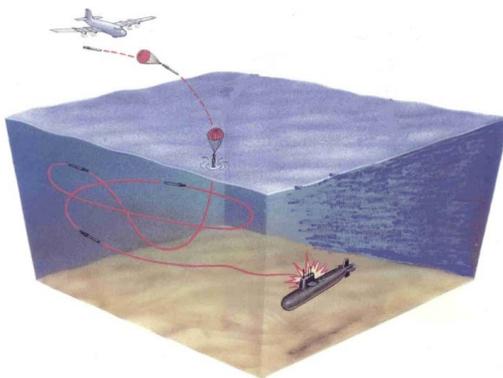
Основными самолётами базовой патрульной авиации, которые решают задачи поиска и уничтожения пл в заданных районах на океанских и морских театрах военных действий являются Бе-12, Ил-38, Ту-142 (таблица 1).

Таблица 1 - Основные тактические характеристики самолетов БПА

Тип	Максимальная скорость, км/ч	Практический потолок, км	Дальность полета, км	Площадь поиска пл, км <sup>2</sup>	Максимальное время полета, ч
Бе-12	530	8000	3300	6000	3
Ил-38	510	8000	7000	12000	6
Ту-142	875	12300	12000	16000	8

Учитывая большие дальности перелета и значительное время функционирования самолетов БПА в районах применения, вопрос исследования особенностей ГМО действий БПА в современных условиях являются актуальным. Следует отметить, что этот вопрос является одним из составных элементов перечня учебных вопросов и научно-исследовательских направлений военно-учебного центра (ВУЦ) Российского государственного гидрометеорологического университета. Исследования особенностей ГМО действий БПА выполнены с помощью комплексного методического подхода [3, 4].

Необходимость исследования особенностей ГМО полетов БПА над морем обусловлена, прежде всего, тактикой ее применения. Самолёты базовой патрульной авиации действуют на значительном удалении от материковой части РФ как самостоятельно, так и во взаимодействии с другими противолодочными силами ВМФ [5]. Выход в район поиска и поражения пл самолетов БПА связан с перелетом на значительные расстояния. Для действий по предназначению самолеты БПА используют гидроакустические средства поиска и поражения. Применяя пассивные радиогидроакустические буи (РГБ), самолет БПА обследует район поиска пл. Максимальные размеры района, где самолет БПА осуществляет поиск пл представлены в табл. После обнаружения пл, применяются активные РГБ для определения элементов движения цели (ЭДЦ). На основе информации о гидрологических условиях (ГЛУ) моря и ЭДЦ на борту самолета определяется наиболее эффективная тактическая схема применения АПЛОР, начальная глубина поиска и траектория поиска пл. Схема применения АПЛОР с гидроакустической системой самонаведения (ССН) представлена на рисунке 1.



*Рисунок 1 - Схема применения с носителя одиночного АПЛОР и траектория поиска пл на заданной глубине*

При решении задач по предназначению базовый патрульный самолёт ВМФ последовательно выполняет следующие этапы: обнаружение цели, её классификация, слежение за пл, уточнение ЭДЦ, выбор схемы применения в зависимости от ГЛУ моря, применение АПЛОР и уничтожение пл. Иными словами, в целом тактика действия самолетов БПА подразумевает формирование двух основных элементов ГМО:

- оценка и прогноз метеорологических условия (ГМУ) для совершения перелета и полета в районе поиска и поражения пл;
- оценка и прогноз ГЛУ водной среды в заданном районе для формирования параметров эффективного применения гидроакустических средств поиска и поражения

Особенность ГМО полетов БПА в район поиска и поражения пл заключается в специфике сбора гидрометеорологической информации с акваторий морей и океанов, а также высокой степенью изменчивостью процессов в атмосфере над водными пространствами большой протяженности в течение продолжительного полета (табл.). Это проявляется, прежде всего, в:

- трудностях получения достоверной и своевременной информации о текущей обстановке в районе поиска и поражения пл;
- отсутствии ориентиров для визуального определения дальности видимости и высоты нижней границы облаков;
- отсутствии сети штормового оповещения и предупреждения;
- отсутствии запасных аэродромов;
- отсутствии прогноза ветра;
- наличии волнения поверхности моря.

В настоящее время гидрометеорологическое обеспечение военной деятельности возложено на гидрометеорологические службы объединенных стратегических командований Северный флот и Восточный военный округ, метеорологические службы дальней и военно-транспортной авиации в соответствии с установленными зонами ответственности. Непосредственное гидрометеорологическое обеспечение осуществляется гидрометеорологическими центрами Северного и Тихоокеанского флота, гидрометеорологическими (метеорологическими) подразделениями объединений, соединений и частей, базирующихся в Арктической зоне.

Задачи обеспечения военными метеорологами выполняются в тесном взаимодействии с управлениями и организациями Росгидромета, с использованием данных метеорологических, геофизических и аэрологических наблюдений. Гидрометеорологические службы флотов предоставляют подразделениям БПА:

- предупреждения и оповещения об опасных явлениях;
- долгосрочные и суточные прогнозы ГМУ;
- информацию о фактических ГМУ по районам океанов и морей, где выполняется задача поиска и поражения пл;
- климатические и прогностические значения ГЛУ, влияющих на дальность действия средств обнаружения пл, а также ССН авиационного противолодочного оружия на этапах поиска и поражения пл;
- обзоры и консультации о ледовой обстановке;
- результаты температурно-ветрового зондирования по данным аэрологических станций флота;
- справки о гидрометеорологическом режиме места базирования и действия БПА.

В настоящее время функционируют и передают информацию в автоматические станции погоды Росгидромета 52 полярные станции Мурманского, Северного, Якутского и Чукотского управлений гидрометеорологической службы, на которых проводятся стандартные метеорологические (52 полярные станции), морские гидрологические (44 полярные станции), актинометрические (10 полярных станций), аэрологические (7 полярных станций) наблюдения. 32 полярные станции являются труднодоступными, 27 — реперными, 23 — корреспондентами Всемирной метеорологической организации.

В работе сети существуют проблемы. Расстояние между метеорологическими пунктами в 2–2,5 раза, а между аэрологическими — в 3–4 раза превышают допустимые пределы, и ведомственные нормативы плотности не выдерживаются. Из-за отсутствия наблюдений в высокоширотных районах архипелагов, Северная Земля, островах Анжу, Де-Лонга — конфигурация сети неблагоприятна. С точки зрения критериев климатического мониторинга и долгосрочного прогноза погоды не достигается даже уровень минимальной достаточности, который в результате специальных исследований определен в 63–68 полярных станций.

В начале 2000-х годов многие гарнизоны и их взлетно-посадочные полосы (ВВП) в отдаленных арктической зоне были выведены из эксплуатации. При сокращении авиационных частей расформировывались и метеорологические службы. Только на Европейском севере прекратились регулярные метеорологические наблюдения на восьми аэродромах: Килп-Явр, Североморск-2, Луастари, Африканда, Алакуртти, Кемь, Летнеозёрский и Саватия (Котлас-9).

При проведении работ по восстановлению и реконструкции аэродромов реконструкцией аэродромов, расположенных в арктической зоне, восстанавливается сеть военных метеорологических станций. Проекты реконструкции подразумевают, возведение совершенно новых взлетно-посадочных полос, размещение на аэродромах метеорологических подразделений и оснащение их современными средствами наблюдений, выполненных с учётом суровых климатических условий.

В соответствии с планом деятельности в Арктике модернизируются уже существующие аэродромы и строятся новые с учетом возможности обеспечения полетов морской авиации.

В соответствии с планом деятельности Вооружённые Силы России будут наращивать свою группировку в Арктике. Все виды деятельности в Арктике нуждаются в гидрометеорологическом обеспечении. На всех арктических аэродромах развернуты и круглосуточно выполняют задачи метеорологические подразделения.

Таким образом, исследованиями установлено, что для эффективного действия БПА при решении задач поражения пл противника в заданных районах и акваториях Мирового океана целесообразно осуществлять комплексное ГМО, основные особенности, которого определяются:

- тактикой применения БПА при решении задач поиска и поражения пл;
- спецификой сбора информации о ГМУ и ГЛУ акваторий морей и океанов районов действия БПА по предназначению;
- большой изменчивостью процессов в атмосфере над водными пространствами и в них.

#### Список литературы

1. Авиация Российского флота / Н.М. Лаврентьев, С.М. Гуляев, В.И. Минаков, А.П. Шульженко и др. Под. Ред. В.Г. Дейнеки. - СПб: «Судостроение», 1996. – 288 с.
2. Авиация Российского флота / Н.М. Лаврентьев, А.А. Артамонов, А.П. Шульженко и др. Под. Ред. И.Д. Федина. - СПб: «Судостроение», 2001. – 256 с.
3. Комплексный методический подход к обучению студентов ВУЦ РГГМУ. Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени Первого президента России Б.Н. Ельцина. 2022. – 409 с.
4. Жильчук И.А. Военно-специальная подготовка для офицеров запаса. Основы авиационной техники: учебное пособие. Часть II. / И.А. Жильчук, И.И. Палкин, И.В. Троицкий, В.В. Гордеев. – СПб.: РГГМУ, 2021. – 176 с.
5. Жильчук И.А. Основы тактико-специальной подготовки для офицеров запаса. Тактика Военно-воздушных сил: учебное пособие. / И.А. Жильчук, А.В. Капустин, И.И. Палкин, Н.В. Фатеев. – СПб.: РГГМУ, 2019. – 172 с.

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИНОПТИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Киселева Е.М.<sup>1</sup>, Волобуева О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*lizakiseleva01@mail.ru, ovvolobueva@rshu.ru*<sup>1</sup>

*Аннотация.* Данная работа посвящена методике восстановления синоптической обстановки в период недостатка данных. Был рассмотрен синоптический метод восстановления барического поля на так называемых «обрезанных» картах погоды, который включает в себя несколько этапов восстановления синоптической обстановки при помощи высотных и приземных карт погоды. После восстановления

производится уточнение восстановленной синоптической обстановки с учетом климатических особенностей исследуемого района, а также с использованием спутниковой информации.

*Ключевые слов.* Синоптическая обстановка, карты погоды, методы восстановления, прогноз погоды.

## RESTORATION OF THE SYNOPTIC POSITION IN CONDITIONS OF LACK OF METEOROLOGICAL INFORMATION

Kiseleva E.M. , Volobueva O.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* This work is devoted to the method of restoring the synoptic situation during a period of data shortage. The synoptic method of restoring the baric field on the so-called "cropped" weather maps was considered, which includes several stages of restoring the synoptic situation using high-altitude and ground-level weather maps. After the restoration, the restored synoptic situation is clarified taking into account the climatic features of the studied area, as well as using satellite information.

*Keywords:* synoptic situation, weather maps, recovery methods, weather forecast.

Введение. Основной задачей метеорологической службы является обеспечение пользователей всеми видами необходимой для них информацией для полноценной работы служб. Особое значение принимает эта задача в условиях, когда метеорологические данные недостаточно полные или вовсе отсутствуют на какой-либо значимой для понимания синоптических процессов территории.

В связи с отсутствием постоянной сети гидрометеорологических станций и регулярной информации о погоде с отдельных территории, специалисты метеорологической службы вынуждены работать по так называемым «обрезанным картам». Недостаток метеорологической информации в значительной степени затрудняет ее обработку и понижает оперативность составления прогнозов погоды [1].

Разработка краткосрочных прогнозов погоды в таких условиях имеет определенные особенности, при этом формулировка прогноза должна оставаться четкой, лаконичной и не допускать двойного толкования. При составлении прогнозов неизменной остается терминология и градации значений метеорологических элементов и параметров атмосферы, но при отсутствии или ограниченном количестве данных, градации могут быть увеличены.

В настоящее время известны три группы методов восстановления метеорологических полей: численные, синоптические и с использованием спутниковой информации [2].

Методика восстановления и оценки метеорологической обстановки при недостатке информации. В оперативной работе при восстановлении синоптической обстановки над территорией с редкой сетью метеорологических станций зачастую применяется синоптический метод, который основан на общих закономерностях развития атмосферных процессов. Рассматриваемый метод имеет ряд правил и рекомендаций для восстановления барического поля и положения атмосферных фронтов.

Рассмотрим первые этапы восстановления: определение положение осей ложбин, гребней и центров барических образований и определение конфигураций изогипс.

Первое с чего стоит начинать восстановление — это определение барического поля за границей восстановления, начиная с определения поля абсолютного геопотенциала (АТ-500). Стоит рассматривать именно такую высоту, т.к. перестройка барического поля на данных высотах происходит медленнее и скорости смещения гораздо меньше, чем у барического поля на поверхности земли. Также стоит рассматривать карту АТ-500 и из-за того, что мелкие барические образования будут не видны на ней и она будет представлять собой поле геопотенциала, представленное чередованием ложбин и гребней значительных размеров для анализа и последующего восстановления.

Предполагаемое местонахождение осей ложбины и гребней на уровне 500 гПа можно определить, если при нахождении расстояний между осями ложбины и гребней, оно

окажется приближенным к средним значениям. В этом случае восстановление поля геопотенциала стоит вести по следующему алгоритму:

Во-первых, в исследуемом районе необходимо найти оси гребня и ложбин, так чтобы они были близлежащие к полю, подлежащему восстановлению и на широтах  $45^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $65^\circ$  измеряются расстояния между ними (в градусах долготы). Полученные расстояния при измерении откладываются от ближайшей к границе оси вдоль широты в сторону района восстановления. Далее следует соединить точки прямой линией, которая станет осью для будущего гребня или ложбины (рисунок 1-а). Далее от предполагаемой оси необходимо отложить тоже расстояние — это будет положение следующей оси и так далее по всей площади исследуемой территории.

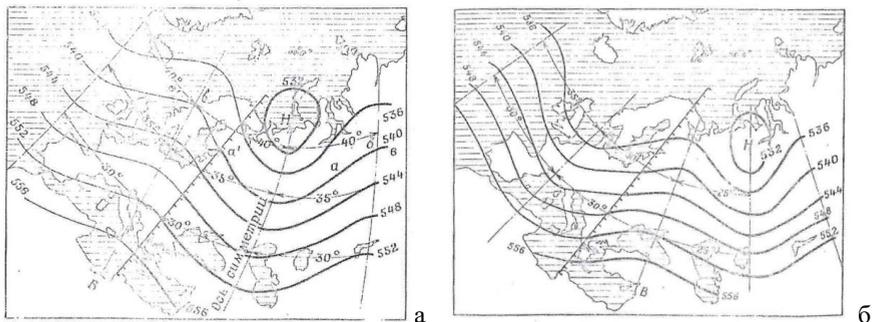


Рисунок 1 – Восстановление положения осей гребня (ложбины) на карте АТ-500, где:  
 а - когда расстояние между осями в районе исходного положения близки к их средним значениям, б - когда расстояние между осями в районе исходного положения отличаются от средних значений

Если разница между средними значениями и расчетными расстояниями не превышает более чем  $5^\circ$  долготы, то при восстановлении следует учитывать, что при переходе на район восстановления, расстояние между осями смежных ложбин и гребней со временем начнет приближаться к средним значениям. Тогда применяется метод последовательного увеличения (уменьшения) измеренного расстояния на  $5^\circ$  (рисунок 1-б).

После того как положение осей ложбин и гребней восстановлено, проводятся изогипсы, при этом можно учесть свойство симметричности изогипс по отношению к осям ложбин и гребней (метод зеркального отображения).

Как провести изогипсы методом зеркального отображения?

1. Проводится ось, ближайшая к границе восстановления гребня (ложбины), которая будет являться осью симметрии (рисунок 1-а);
2. Необходимо продолжить изогипсы так, чтобы они были симметричны полю по другую сторону от оси (рисунок 1-а, *абв симметрично а'б'в'*).

Необходимо учесть, что изогипсы проводятся так, чтобы скорость градиентного ветра не превышала 100-120 км/ч.

При наличии хорошо выраженной высотной фронтальной зоны (ВФЗ), изогипсы продлевают в район восстановления при условии, если она проходит по центральной части ВФЗ (если в этой зоне нет резких изменений). Изогипсы проводим таким образом, чтобы вблизи ВФЗ густота изогипс на осях ложбины была больше, чем на осях гребней.

Также при восстановлении геопотенциала на карте АТ-500 стоит учитывать несколько особенностей:

1. Высотное барическое поле часто имеет шахматную структуру, представленное двумя антициклонами и двумя циклонами. Таким образом, при наличии на исходном поле трех элементов высотного поля симметрично отображается недостающий элемент с такой же мощностью и знаком (рисунок 2-а).

\*При наличии только двух элементов порядок действия тот же, что был описан ранее для трех элементов, но с учетом интенсивности (рисунок 2-б).

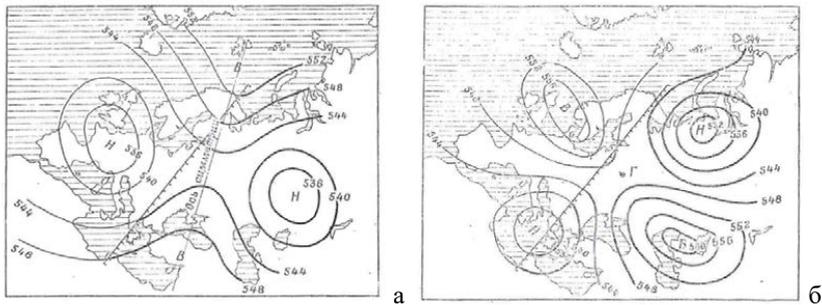


Рисунок 2 – Восстановленное положение циклона на карте АТ-500, а - с тремя известными элементами, б - с двумя известными элементами

- Правило взаимного расположения циклонов и антициклонов и мощности градиентов: если холодный циклон располагается севернее теплого антициклона, то контраст температур, барических градиентов и скорости ветра во фронтальной зоне и зоне между ними, будут значительнее, чем при расположении циклона южнее антициклона.

Прежде чем начинать восстановление приземного поля, необходимо проанализировать синоптические процессы в исследуемом регионе. Для анализа используют комплект синоптических карт за предыдущие сроки. Также необходимо обратить особое внимание на синоптические процессы (положение циклонов/антициклонов, фронтов, их скорость, эволюцию и мощность) на границе исследуемой-известной части карты и восстанавливаемой.

После чего производится восстановление приземных циклонов и антициклонов по принципу зеркального отображения недостающих элементов барического поля (рис.2 а, б).

При восстановлении приземного барического поля также существует ряд правил:

Первое правило можно назвать «Правило серии циклонов»: если в исследуемом районе имеется два циклона принадлежащих к одной циклонической серии, то найдется по крайней мере еще один циклон, принадлежащий этой серии, который будет относиться к восстановленному полю. Предполагается, что все циклоны равноудалены друг от друга и находятся на одной прямой линии (рисунок 3).

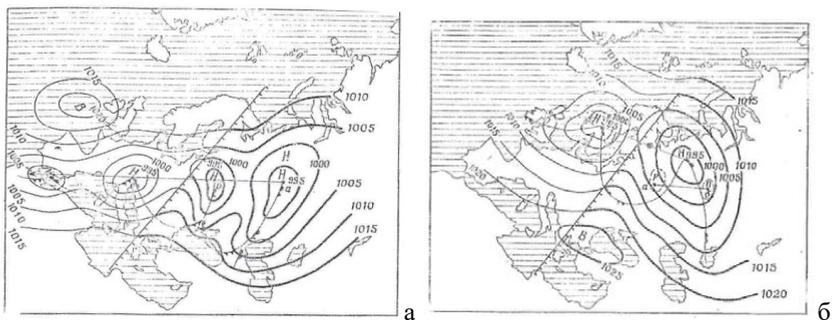


Рисунок 3 – Восстановленное положение фронтов на приземной карте методом а-серии циклонов (а-г- циклоническая ось, где  $аб=бв=вг$ ), б- восстановление положения циклона, следующего за подвижным циклоном

Если циклоническая ось представлена серией циклонов, состоящей из более чем двух циклонов и эти циклоны, являются подвижными, то в таком случае рассматриваются последние два циклона.

Второму правилу можно дать название «Правило серии одного циклона»: если в исследуемом районе имеется один циклон, то велика вероятность обнаружить по крайней мере еще один следующий за ним циклона образующий серию циклонов, расположенную за границей восстановления (рисунок 3-б).

Необходимо учесть, что центр восстановленного циклона должен располагаться близко к продолжению прямой, соединяющей точки, в которых центры циклонов находятся во временном интервале 12 часов. Для уточнения расположения центра необходимо отложить от известного циклона 1.5 отрезка *ab* (рисунок 3-б).

Третье «Правило оси повышенного давления»: если вблизи границы восстановления и исследуемой карты имеется широтно-ориентированной полоса повышенного давления, то ее можно смело переносить на восстанавливаемую карту на расстояние до 1000 км, при этом сохраняя существующее направление (рисунок 4).

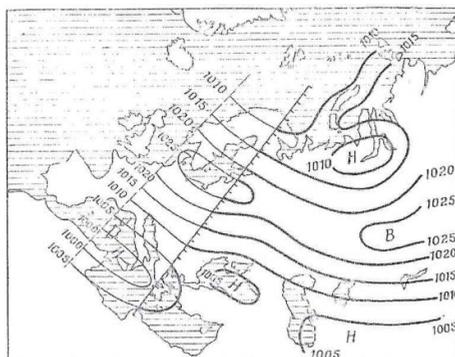


Рисунок 4- Восстановление приземного барического поля при наличии оси повышенного давления

Аэрография также влияет на вид будущего барического поля. Переваливаясь через хребет, циклон претерпевает изменения, степень изменений зависит от высоты хребта, крутизны склона и направления движения относительно горной системы (максимальное изменение давления, если перемещение перпендикулярно горному массиву и при угле не более  $30^\circ$ ).

Существует несколько признаков, говорящих о наличии фронтов: во-первых- обширные до сотен километров, поля плотной слоистообразной облачности; во-вторых- вытянутые в виде цепочки вершины кучево-дождевых облаков [3].

Основными дешифровочными признаками на спутниковых снимках являются тон (яркость) изображения, структура поля облачности (рисунок 5). Облачность имеет более светлый тон, чем подстилающая поверхность. Темные участки, как правило, соответствуют участкам тумана, низкой облачности под инверсией и безоблачной погоде. Светлые участки характерны для материкового льда и плотной облачности большой мощности, серые участки соответствуют тонким облакам слоистых форм и кучевым облакам с просветами.

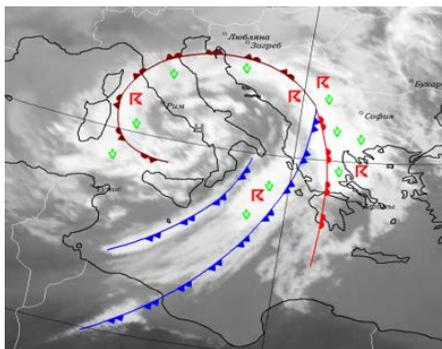


Рисунок 5 – Пример спутникового снимка для выявления положения атмосферных фронтов

Когда имеются данные нескольких последовательных снимков одной и той же территории, можно определить направление и скорость перемещения фронтальных разделов. Для этого на карту наносятся границы облачных зон, зафиксированные на каждом спутниковом снимке. Направление и скорость перемещения этих границ могут быть приняты за направление и скорость перемещения фронта [4].

**Заключение.** Приведенные в данной работе рекомендации могут помочь синоптику при восстановлении синоптической обстановки в районе с редкой сетью метеорологических данных с целью анализа синоптической ситуации при составлении прогнозов различной заблаговременности. Данная работа будет продолжена, предполагается разработать лабораторную работу для студентов ВУЗов, обучающихся по профильным направлениям.

#### Список литературы

1. Наставление по метеорологической службе авиации Вооруженных Сил (НАМС-2014). Введено в действие приказом главнокомандующего ВКС от 29.11.2014 г. № 434дсп.
2. Методы восстановления синоптического положения и условий погоды. Учебное пособие. М.: Воениздат, 1983. — 128 с.
3. Практические рекомендации по прогнозу погоды в районе восстановления. Методические указания. СПб, 2006. — 10 с.
4. Киселева Е.М., Волобуева О.В. Восстановление синоптического положения для прогнозов погоды. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Иркутск, 23-25 ноября 2022 г. С. 147-155.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНОПТИКОМ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ЧИСЛЕННЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Кулюшина А.В., Кириченко О.Г.

ООО «МикроСтеп-МИС», Санкт-Петербург  
[alla.kulyushina@microstep-mis.com](mailto:alla.kulyushina@microstep-mis.com)

**Аннотация.** В работе верифицировались данные численных прогнозов погоды с целью определения статистических ошибок в прогнозе температуры и осадков. Использование выявленных закономерностей повысило качество прогноза, выпускаемого синоптиком.

**Ключевые слова.** Прогноз погоды, численные модели атмосферы, верификация, статистическая интерпретация прогнозов, прогноз температуры воздуха, прогноз осадков.

# USE OF THE METHOD OF STATISTICAL INTERPRETATION OF THE OUTPUT DATA OF NUMERICAL WEATHER FORECASTS TO IMPROVE THE QUALITY OF FORECASTING

Kulyushina A.V., Kirichenko O.G.  
MicroStep-MIS LLC, St. Petersburg

*Annotation.* The work verified the data of numerical weather forecasts in order to identify statistical errors in the forecast of temperature and precipitation. The use of the identified patterns improved the quality of the forecast issued by the forecaster.

*Keywords.* Weather forecast, numerical models of the atmosphere, verification, statistical interpretation of forecasts, air temperature forecast, precipitation forecast.

Современный прогноз погоды основан на численных моделях атмосферы, которые позволяют предвычислять метеорологические переменные на период 5–7 суток с точностью, достаточной для большинства потребителей. Синоптик, имея в своем распоряжении продукцию численных моделей, знает, что она может содержать ошибки, обусловленные особенностями модели, точностью начальных данных, грубым учетом процессов, происходящих в пограничном слое атмосферы, рельефом земной поверхности и др. Он учитывает характеристики модели, ее слабые и сильные стороны для данной территории и для различных синоптических ситуаций, систематические ошибки модели. Таким образом, основная задача синоптика сегодня состоит в фильтрации численных прогнозов и отделении от них шумовых эффектов, обусловленных несовершенством той или иной модели, устранении этих шумовых эффектов с целью уточнения выходных данных прогностических моделей [1]. Остальные методы прогнозирования – синоптическая интерпретация развития атмосферных процессов, физико-статистические методы прогноза погоды, концептуальные модели – являются для прогнозиста дополнительными.

Опыт показывает, что прогноз с участием синоптика на основе численного моделирования – наиболее качественный. Одним из примеров такой совместной работы является проект компании МикроСтеп-МИС по предоставлению прогностических данных для интернет-портала Словакии. Прогноз предоставляется в виде временного ряда иконок погоды и основан на данных глобальной гидродинамической модели GFS [2] с пространственным шагом 0,25°. Прогноз на первые 5 дней с дискретностью 1 час и прогноз с 6-го по 10-й день с дискретностью 3 часа включают статистическую постобработку, выполняемую компанией МикроСтеп-МИС. С целью повышения качества прогноза специалистами компании производится ручная коррекция прогностических данных модели GFS по 7 метеорологическим параметрам: облачность, осадки, температура воздуха, скорость ветра, фаза осадков (жидкая, смешанная, твердая), наличие конвекции и грозы. Коррекции подлежат 7 пунктов на территории Словацкой Республики. Методы Varens, Kriging, IDW и др. позволяют распространить результаты ручной коррекции прогноза для 7-и пунктов на оставшуюся территорию страны.

С целью коррекции прогноза специалисты используют комплексный анализ фактической и прогностической синоптической информации, ряда прогностических моделей и ансамблевых методов, данные дистанционного зондирования и веб-камер на территории Словакии. Дополнительно синоптик использует результаты прогнозов численных моделей ECMWF [3], ALADIN [4], ICON-D2 на первые сутки прогноза и ICON-EU на 4 суток [5].

Для определения показателей успешности прогнозов и контроля качества предоставляемой в проекте продукции, специалистами верифицируются прогнозы численной модели GFS, используемой для прогноза, прогнозов самих синоптиков, а также используемых для уточнения прогностической ситуации моделей ECMWF, ALADIN, ICON из открытых источников. Оцениваются минимальная температура воздуха за ночь, максимальная температура воздуха за день, факт наличия или отсутствия осадков на первые

и четвертые сутки прогностического периода. Четвертые сутки выбраны из соображений, что прогноз на данный период, как правило, имеет меньшую оправдываемость, чем прогноз на 1-3 сутки.

Верификация проводится для городов Братислава, находящемся в предгорьях Малых Карпат на высоте 140 метров над уровнем моря, и Попрад, расположенном у подножья Высоких Татр на высоте 672 метра над уровнем моря. В качестве фактической информации используются данные метеостанций Братислава и Попрад по результатам расшифровки кода SYNOP из открытых источников.

Оценка осадков производится по факту наличия или отсутствия явления: «прогноз оправдался (оправдываемость прогноза 100 %)» или «прогноз не оправдался (оправдываемость прогноза 0 %)» [6]. Для оценки температуры воздуха учитывается допуск  $\pm 2$  °C для первых суток и  $\pm 3$  °C для четвертых суток.

В таблице 1 представлены результаты сравнительной верификации, проведенной в 2021-2022 годах.

Таблица 1 – Сравнительная верификация температуры воздуха и факта осадков (2021/2022,%)

	Пункт	Элемент	Прогнозисты	GFS	ECMWF	ICON	ALADIN
Первые сутки	Братислава	температура	<b>91/94</b>	80/81	75/77	81/81	<b>85/83</b>
		осадки	<b>86/90</b>	79/79	81/81	<b>83/83</b>	82/81
	Попрад	температура	<b>80/89</b>	67/69	59/59	<b>75/68</b>	<b>73/68</b>
		осадки	<b>85/91</b>	<b>79/80</b>	78/78	<b>79/81</b>	78/79
Четвертые сутки	Братислава	температура	<b>91/95</b>	83/82	81/82	<b>85/85</b>	-
		осадки	<b>79/83</b>	<b>76/73</b>	<b>76/75</b>	71/74	-
	Попрад	температура	<b>83/88</b>	67/63	68/68	<b>79/75</b>	-
		осадки	<b>75/86</b>	<b>67/76</b>	69/71	<b>71/75</b>	-

*\*полужирным шрифтом выделены наиболее высокие показатели оправдываемости у синоптиков и моделей*

В целом, прогнозы для долинной части Словакии и города Братислава успешнее прогнозов для горного Попрада. Это объясняется влиянием местных сложнопрогнозируемых горно-долинных условий на температурный режим и характер осадков.

У группы прогнозистов показатели успешности во всех случаях выше, чем у численных прогнозов погоды без участия синоптика, что оправдывает участие человека в данном проекте.

Среди численных моделей прогноз температуры воздуха точнее у локальной спектральной модели ALADIN (на первые сутки) и локальной модели ICON(-D2). Чаще всего ошибки наблюдаются в антициклонических формах циркуляции в виде занижения моделями максимальной температуры воздуха днем и завышения минимальной температуры ночью. Прогноз температуры в моделях GFS, ICON и ALADIN качественнее в теплый период года, в модели ECMWF – наоборот, в холодный.

Для учета систематической ошибки прогноза температуры воздуха в зависимости от облачного покрова, отделом прогнозов был проведен сравнительный анализ зависимости количества фактической облачности и прогностической максимальной/минимальной температуры воздуха в пункте прогноза. Фактический облачный покров по данным метеостанций, наблюдавшийся над Братиславой и Попрадом, был разделен на 3 категории по 10-бальной шкале: ясно (0-3 балла), переменная облачность (4-7 баллов) и облачно (8-10 баллов). Прогнозы температуры были разделены по данным категориям в зависимости от фактической облачности.

Для каждого месяца получены систематические ошибки прогноза максимальной и минимальной температур воздуха в зависимости от количества облачности; пример для минимальной температуры воздуха за январь 2021 года в Попраде приведен на рисунке 1.

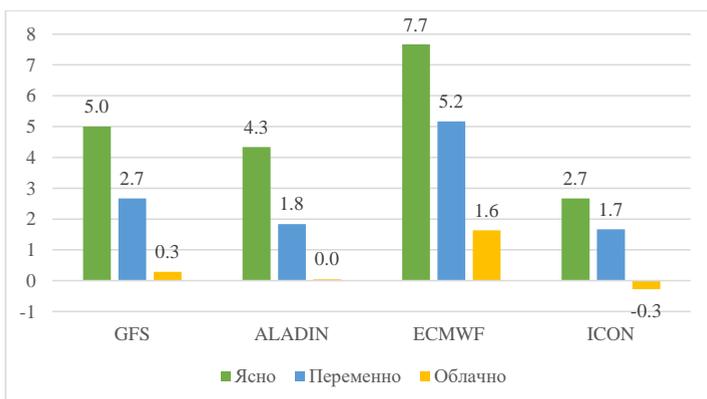


Рисунок 1 – Систематическая ошибка прогноза минимальной температуры воздуха на первые сутки в январе 2021 года в Попраде

В данном случае, ночью при малооблачной и ясной погоде модели значительно завышают минимальную температуру воздуха, до 7,7 °C у модели ECMWF. При переменной облачности значения прогностической минимальной температуры также завышаются, но ошибка меньше (от 2,7 °C у модели ICON до 5,2 °C у модели ECMWF). При облачной погоде все модели кроме ECMWF (ошибка 1,6 °C) прогнозируют близкое к факту значение температуры.

Лидера в прогнозе факта осадков среди моделей не выявляется. Также сложно выявить сезонную закономерность изменения качества прогноза. Чаще всего модели ошибаются в прогнозе осадков при циклонических формах циркуляции. В Попраде это в основном «ложные тревоги»: модели дают осадки чаще, чем они есть. В Братиславе это ошибки «пропуска»: модели часто не дают осадки, а они выпадают.

При сравнении оправдываемости двух последовательных лет оказалось, что успешность прогнозов среди моделей практически не изменилась, а у специалистов повысилась: в Братиславе на 3-4 %, в Попраде на 7-8 %. Улучшение качества прогнозов мы связываем с использованием синоптиками результатов статистической интерпретации прогностических данных численных моделей о температуре воздуха по итогам 2021 года.

Выявленные систематические ошибки позволили синоптикам учесть их в своей работе и повысить оправдываемость прогноза температуры воздуха и осадков.

### Список литературы

1. Васильев А.А. Вильфанд Р.М. О роли синоптика в технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды. Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2019 г. № 4 (374). – С. 144-148.
2. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast> (дата обращения: 01. 03. 2023)
3. URL: <https://www.ecmwf.int/> (дата обращения: 01. 03. 2023)
4. URL: <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article125&lang=fr> (дата обращения: 01. 03. 2023)
5. URL: [https://www.dwd.de/EN/research/weatherforecasting/num\\_modelling/01\\_num\\_weather\\_prediction\\_modells/icon\\_description.html](https://www.dwd.de/EN/research/weatherforecasting/num_modelling/01_num_weather_prediction_modells/icon_description.html) (дата обращения: 01. 03. 2023)
6. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения Москва ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019 г. – 72 с.

# **ПРИЗЕМНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И ВЫСОТНЫЕ АЭРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГРОЗ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА НА ПРИМЕРЕ АЭРОДРОМА МИНСК-2**

Лукша М.В.

Белорусский государственный университет, Минск

*maril2010@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются приземные метеорологические и высотные аэрологические условия для прогноза зимних гроз на примере аэродрома Минск-2.

*Ключевые слова.* Авиационные прогнозы, зимние грозы, синоптические условия, аэрологические условия, аэродром Минск-2.

## **SURFACE METEOROLOGICAL AND HIGH-ALTITUDE AEROLOGICAL CONDITIONS OF THUNDERSTORMS FORMATION IN THE COLD SEASON OF THE YEAR ON THE EXAMPLE OF THE MINSK-2 AIRFIELD**

Luksha M.V.

Belarusian State University, Minsk

*Annotation.* Surface meteorological and high-altitude aerological conditions for the forecast of winter thunderstorms are considered on the example of the Minsk-2 airfield.

*Keywords.* Aviation forecasts, winter thunderstorms, synoptic conditions, aerological conditions, Minsk-2 airfield.

Зимние грозы – достаточно редкое и опасное явление погоды, благоприятные условия для образования которого на территории Беларуси, как правило, складываются в теплый период года (с апреля по сентябрь), когда отмечается до 99 % от их количества. В холодный период (с октября по март) грозы регистрируют очень редко – 1 раз в 5–10 лет [1].

Прогноз конвективных явлений холодного периода года является типичной проблемой, с которой сталкиваются не только гражданские, но и авиационные синоптики в процессе своей оперативной деятельности. В условиях изменяющегося климата в сторону потепления на территории Беларуси отмечается тенденция к увеличению количества гроз в холодный период года, часто сопровождающимися ливневыми осадками не твердом, а в жидком виде [2].

В настоящее время на аэродроме Минск-2 и других аэродромах Беларуси не существует разработанных методик прогнозирования зимних гроз, а лишь применяются устаревшие расчетные методы прогноза гроз по Решетову, Славину и Вайтингу, которые имеют более высокую оправдываемость в теплый период года [3,4,5].

Этот факт, а также недостаточная освещенность вопроса в научной литературе подтверждает актуальность исследования, в частности в области качественного метеорологического обеспечения авиации, от которого зависит безопасность, регулярность и эффективность полетов.

Целью данного исследования является выявить приземные метеорологические условия и высотные аэрологические условия образования зимних гроз на примере аэродрома Минск-2. Для достижения цели осуществлена статистическая обработка данных числа случаев наблюдавшихся гроз и явлений их сопровождающих (ливневых осадков и шквалистого ветра) на аэродроме Минск-2 с октября по март за период круглосуточных наблюдений с 1989 по 2020 год и определены связи с аэросиноптическими условиями их формирования.

Выбор 1989 года за начало выборки обусловлен тем, что именно с этого года в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений на протяжении последних 130 лет [6,7].

На основании анализа исходной информации было выявлено, что за последние 32 года (1989-2020 гг.) на аэродроме Минск-2 было отмечено 17 случаев с зимними грозами, формирование которых было связано с прохождением активных и глубоких циклонов с давлением в центре 945-1005 гПа различных траекторий: западных (8 случаев), южных (3 случая) и ныряющих (6 случаев) [8].

Все западные циклоны, с которыми были связаны зимние грозы над аэродромом Минск-2 имели глубокие ложбины, вытянутые с севера на юг, и проходили в стадии молодого циклона или максимального развития с давлением в центре 966-1003 гПа.

В результате прохождения холодных фронтов или фронтов окклюзии по типу холодного, связанных с ложбинами данных циклонов наблюдались осадки жидкого характера (поступление теплого и влажного воздуха с Атлантики). При этом не наблюдалось значительного ухудшения видимости в осадках (1700-3800 м) [8].

Южные циклоны, при выходе которых отмечались грозы в холодный период над аэродромом Минск-2, имели ложбины, ориентированные с юго-запада на север или северо-восток. При этом давление в центре циклонов данного типа было выше (997-1004 гПа), чем в западных.

С ложбинами южных циклонов были связаны преимущественно фронты окклюзии, на которых происходило формирование зимних гроз. Повышенное давление в центре и наличие фронтов окклюзии говорит о том, что южные циклоны проходили через район аэродрома в стадии максимального развития или заполнения.

Стоит отметить, что формирование опасных конвективных явлений, вызванное обострением атмосферных фронтов, связанных с прохождением южных циклонов отмечалось лишь в октябре, когда отмечался вынос теплого и влажного воздуха с юга Европы. При этом прохождении фронтальных разделов сопровождалось слабым ухудшением видимости в ливневом дожде (2300-2500 м) и слабым ветром (3-6 м/с) [8].

Ныряющие циклоны в исследуемый период времени над аэродромом Минск-2 имели глубокие ложбины, вытянутые с севера на юг. При этом в центре циклонов отмечалось более низкое давление (945-982 гПа, исключение случай 15.03.2005 – 1002 гПа) по сравнению с западными и южными циклонами. Циклоны данного типа проходили через районы аэродрома в стадии молодого циклона или максимального развития.

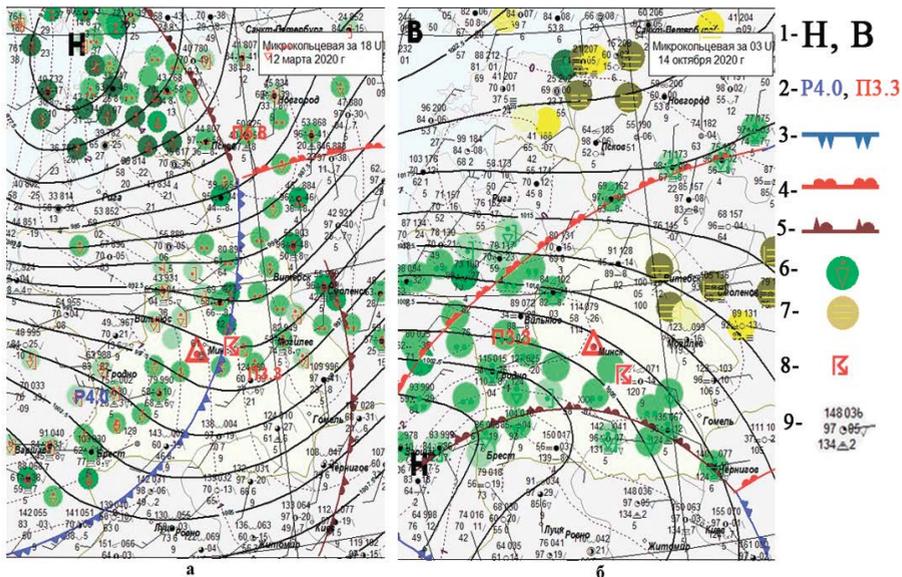
С ложбинами ныряющих циклонов были связаны преимущественно основные и вторичные холодные фронты, при прохождении которых наблюдались наиболее значительное ухудшение видимости в осадках (до 100 м) и усиление ветра (до 24 м/с). Сильное ухудшение видимости в осадках было связано с преобладанием твердой фазы осадков, а усиление ветра с быстрым смещением циклонов, что отражается в плотных барических градиентах [8].

Зимние грозы над аэродромом Минск-2 в рассматриваемый период носили фронтальный характер и развивались при прохождении атмосферных фронтов, связанных с ложбинами западных, южных и ныряющих циклонов: холодного фронта с волнами (7 случаев), основного холодного фронта (1 случай), вторичного холодного фронта (1 случай), фронта окклюзии по типу теплого (5 случаев), фронта окклюзии по типу холодного (3 случая) [8].

Грозы на холодных фронтах отмечались в послеобеденные часы (5 случаев) или в вечерние часы (3 случая), в первую половину дня (1 случай), а на фронтах окклюзии – в вечернее время (2 случая), в ночные и утренние часы (4 случая), в первую половину дня (1 случай), в послеполуденные часы (1 случай) [8].

При этом, как правило, грозы в холодный период года отмечались вблизи вершин волновых возмущений на холодных фронтах с волнами и вблизи точки окклюзии на фронтах окклюзии [9].

На рисунке 1 показаны фактические приземные синоптические ситуации, при которых наблюдались грозы холодного периода года 2020 года, связанные с холодным фронтом и фронтом окклюзии по типу теплого.



Условные обозначения: 1 – центры низкого и высокого давления, 2 – барическая тенденция роста и падения давления, 3 – холодный фронт, 4 – теплый фронт, 5 – фронт окклюзии, 6 – ливневые осадки, 7 – туманы, 8-грозы, 9 – приземная наноска в коде КН-01.  
 Рисунок 1 – Приземные синоптические ситуации, с которыми связаны зимние грозы: а – холодный фронт; б – фронт окклюзии по типу теплого [8]

Анализ высотных аэрологических условий показал, что процесс формирования зимних гроз на аэродроме Минск-2 в исследуемый период времени был связан с наличием конвективной неустойчивости атмосферы (вертикальные градиенты температуры больше влажноадиабатических), которые способствовали развитию кучево-дождевой облачности мощностью до 8 км (нижняя граница порядка 300-900 м, верхняя граница около 2000-8700 м (таблица 1).

На уровне АТ-850 практически во всех случаях зимних гроз наблюдался гребень тепло и влажного воздуха, который затем менялся ложбиной холода. Диапазон температур на данном изобарическом уровне составил от  $-7,7$  до  $+10,7^{\circ}\text{C}$  в зависимости от господствующей воздушной массы, а диапазон дефицитов точки росы – от 0 до  $5^{\circ}\text{C}$  (таблица 1)

Согласно анализу уровней АТ-700, во время зимних гроз на данной изобарической поверхности наблюдалось усиление южного и юго-западного ветра до критериев струйного течения ( $100\text{км/ч}$  и более) (таблица 1). Анализ данного уровня показывает наибольшие вертикальные скорости, т.е. наибольший подъем частицы воздуха в сложившейся ситуации. Также отмечалось наличие барической ложбины, заток воздушных масс с юга и юго-запада в средней тропосфере и развитие приземных барических образований до данной изобарической поверхности (приземные и высотные центры циклонов практически совпадают).

На уровне АТ-500 во время гроз в холодное полугодие в большинстве случаев также отмечались ветры южного, юго-западного направления со скоростями более  $100\text{км/ч}$  (таблица 1), что говорит о наличии струйных течений. Анализ данного уровня также показал наличие барической ложбины, плотного барического градиента и развитие приземных барических образований до данной изобарической поверхности.

На уровне АТ-300, за исключением 19.10.2006, отмечались струйные течения юго-западного направления со скоростями от 100 до 240км/ч (таблица 1). Струйные потоки и дивергенция, которые наблюдаются на данном уровне, усиливают шторм и создают сдвиг, так что вершины грозового облака иногда будут пролетать над слоисто-кучевыми облаками [10].

Таблица 1 – Аэрологические условия формирования зимних гроз на аэродроме Минск-2 за период с 1989 по 2020 годы [8]

Дата, День/месяц /год	Время, UTC	Мощность конвективного облака		АТ-850		АТ-700, направление и скорость ветра	АТ-500, направление и скорость ветра	АТ-300, направле ние и скорость ветра
		уровень конденсации, м	уровень конвекции, м	температура, °С	дефицит, °С			
26.01.1990	17.36- 17.55	700	3500	-0,3	2,0	240° 80км/ч	240° 160км/ч	280° 180км/ч
27.02.1990	19.46- 20.42	600	2600	-3,3	1,4	250° 80км/ч	240° 120км/ч	240° 130км/ч
07.03.1990	13.17- 13.39	600	4600	-7,7	4,5	320° 80км/ч	330° 220км/ч	330° 220км/ч
19.10.1996	19.40- 21.00	700	5300	+5,0	1,3	160° 40км/ч	160° 50км/ч	200° 60км/ч
27.02.2002	16.51- 18.00	700	5100	-0,2	0,0	240° 100км/ч	240° 110км/ч	240° 150км/ч
03.10.2003	08.08- 08.30	300	5300	+4,8	1,1	220° 25км/ч	160° 60км/ч	200° 160км/ч
31.10.2004	00.30- 01.00	600	5500	+9,7	2,5	240° 80км/ч	240° 120км/ч	240° 170км/ч
15.03.2005	15.13- 15.23	300	2000	-7,0	2,0	270° 80км/ч	280° 90км/ч	270° 140км/ч
03.10.2006.	01.10- 02.42	500	5900	+6,7	5	260° 70км/ч	260° 80км/ч	260° 150км/ч
23.02.2008	01.03- 01.41	700	2600	+0,5	0,0	270° 120км/ч	260° 180км/ч	260° 240км/ч
12.03.2008	15.31- 15.39	500	2400	+0,2	0,5	250° 80км/ч	240° 120км/ч	250° 110км/ч
08.10.2009	18.06- 18.38	300	8700	+10,7	0,3	250° 90км/ч	250° 120км/ч	250° 160км/ч
10.11.2010	08.50- 09.06	400	3800	+6,5	2,7	200° 60км/ч	200° 70км/ч	220° 120км/ч
07.10.2011	18.14- 18.54	800	2800	+5,1	0,2	220° 80км/ч	230° 100км/ч	220° 130км/ч
06.10.2012	18.31- 19.30	800	5400	+5,5	0,0	250° 110км/ч	260° 120км/ч	250° 190км/ч
12.03.2020	16.54- 17.28	700	3100	+3,3	0,4	260° 120км/ч	260° 120км/ч	270° 200км/ч
14.10.2020	03.45- 04.07	900	4300	+9,8	2,0	150° 70км/ч	160° 80км/ч	210° 110км/ч

При этом на изобарической поверхности АТ-300 отмечались несовпадения приземного и высотного центров барических образований. Этот факт говорит, о том, что циклоны достаточно были подвижны и не достигли стадии заполнения и их пространственная ось была наклонена в сторону холодного воздуха.

Практическая значимость исследования заключается в том, что вышеперечисленные факторы формирования зимних гроз позволят определить наличие аэросиноптических условий, благоприятных для формирования зимних гроз на начальном этапе прогноза опасных конвективных явлений с помощью анализа карт приземного анализа, карт барической топографии, аэрологических диаграмм.

Если в результате анализа аэросиноптического материала определены условия, благоприятные для формирования зимних гроз, то дополнительно необходимо использовать расчетные методы прогноза конвективных явлений, построенные для рассматриваемого города или аэродрома.

Также стоит отметить то, что поскольку гроза – это локальное мезомасштабное явление, поэтому для целей наукастинга в сочетании с численными моделями прогноза погоды (например, модель WRF с современными технологиями трехмерного вариационного усвоения 3D-Var) стоит применять оперативные метеорологические и радиолокационные данные.

### Список литературы

1. Государственное учреждение «Белгидромет» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belgidromet.by/ru/news-ru/view/opasnye-javlenija-pogody-v-teplyj-period-goda-grozy-livni-shkvaly-grad-3201>. – Дата доступа: 15.09.2022.
2. Мельник В.И., Бужков И.В., Чернышов В.Д. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата / Природопользование, 2019, № 2. – С. 44-52.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
4. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 704 с.
5. Руководство по использованию автоматизированных расчетных методов явлений погоды на аэродромах Республики Беларусь. – Минск: Белгидромет, 2021. – 82 с.
6. Логинов В.Ф., Бровка Ю.А., Микуцкий В.С. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / Природопользование, 2013, № 24. – С. 5-11.
7. Подгорная Е.В. Особенности изменения климата Республики Беларусь за последние десятилетия. – Минск : Белгидромет, 2015. – 120 с.
8. Лукаша М.В. Научное обоснование прогноза конвективных явлений холодного периода на примере аэродрома Минск-2. – Минск: БГУ, 2022. – 60 с.
9. Мальчик М.К. Рекомендации по прогнозу гроз в осенне-зимний период. – Минск: САМО РАМЦ, 2006. – 41 с.
10. *Thundersnow!* [Electronic resource] / Ed. S. Shwartz. The Ultimate Weather Education Website, 2006. – Mode of access: <http://www.theweatherprediction.com/weatherpapers/043/index>. – Date of access: 10.10.2022.

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ДЛЯ АВИАЦИИ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА ПО АНАЛОГОВЫМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Расторгуев И.П.<sup>1</sup>, Жабборов К.Х.<sup>1,2</sup>, Охунжонов Г.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военно-воздушная академия, Воронеж

<sup>2</sup>Войска противовоздушной обороны и Военно-воздушные силы Узбекистана, Ташкент  
[iprastor@yandex.ru](mailto:iprastor@yandex.ru)

*Аннотация.* На примере аэропорта Фергана показана возможность прогноза сильных ветров, влияющих на безопасность полётов, по данным аналоговых спутниковых снимков. В основу предложенной методики положена зависимость ветровых потоков у поверхности земли от особенностей местного горного рельефа и специфическая пространственная структура облачности в синоптических ситуациях, благоприятных для формирования сильных местных ветров.

*Ключевые слова.* Прогноз ветра, метеорологические космические аппараты, аналоговые спутниковые снимки, горный рельеф, синоптические процессы, физико-географические особенности местности.

## **METHODOLOGY FOR FORECASTING WIND SPEEDS DANGEROUS FOR AVIATION BASED ON ANALOG SATELLITE IMAGES BASED ON LOCAL PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL FEATURES**

Rastorguev I.P.<sup>1</sup>, Zhabborov K.H.<sup>1,2</sup>, Okhunzhonov G.R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Air Force Academy, Voronezh

<sup>2</sup> Air Defense Forces and Air Force of Uzbekistan, Tashkent

*Annotation.* Using the example of the Ferghana airport, the possibility of forecasting strong winds affecting flight safety is shown, according to satellite images. The proposed methodology is based on the dependence of wind flows at the earth's surface on the features of the local mountain relief and the specific spatial structure of clouds in synoptic situations favourable for the formation of strong local winds.

*Keywords.* Wind forecast, meteorological spacecraft, satellite images, mountain relief, synoptic processes, physical and geographical features of the terrain.

Ветер оказывает существенное влияние на безопасность и эффективность применения авиации. Особенно это влияние проявляется в приземном слое. В условиях сложного рельефа прогноз направления и скорости ветра является одним из наиболее сложных задач в оперативной работе инженера-синоптика. Особенно ярко выражена данная проблема в районах (пунктах) с недостаточной освещенностью метеорологическими данными.

Из вышеизложенного вытекает актуальность дальнейшего совершенствования подходов к прогнозу характеристик ветра и в особенности его экстремальных значений.

Одним из перспективных направлений повышения информативности исходных данных для разработки прогнозов погоды является использование метеорологических данных со специализированных космических аппаратов [1 и другие].

Одним из районов со сложным рельефом местности, определяющим специфический и обособленный режим ветра, является Ферганская долина [2, 3]. В частности, аэродром Ферганы в определенных синоптических условиях подвержен сильным ветрам западного направления.

Исходя из изложенного, целью данной работы было определено разработка способа прогноза опасных для авиации скоростей ветра в районе аэродром Фергана на основе данных метеорологических космических аппаратов (КА).

Использование спутниковой информации достаточно распространённый подход при прогнозировании параметров ветра. Различные методы прогноза направления и скорости ветра по спутниковым данным представлены, в частности, в работах [4, 5].

Физико-географические особенности и ветровой режим Ферганской долины и аэропорта Ферганы были детально рассмотрены в работах [6, 7]. Основные выводы по особенностям данной территории сводятся к следующему.

Ветровой режим Ферганской долины не только отличается от окружающих территорий, но и значительно неоднороден в пределах самой долины.

В целом закономерности пространственно-временного распределения параметров ветра по аэродрому Ферганы за исследуемый период соответствуют режиму ветра середины прошлого столетия. Повторяемость сильных ветров ( $\geq 15\text{ м/с}$ ) по аэродрому Фергана

составляет 0,33%, ветра  $\geq 10$  м/с – 1,33%, что незначительно отличается от данных по режиму ветра за 1936–1977 годы (0,55% и 1,20% соответственно).

В отличие от предшествующего периода, в настоящее время, кроме весеннего максимума повторяемости сильных ветров, ярко выражен осенний максимум (в ноябре). Значительно увеличилась повторяемость пороговых значений скорости ветра  $\geq 18$ ,  $\geq 23$ ,  $\geq 26$  м/с.

Несмотря на незначительную повторяемость ветров со скоростью  $\geq 10$  м/с, они существенно ограничивают взлеты-посадки воздушных судов, поскольку направлены перпендикулярно ВПП (превышают предельную боковую составляющую).

Повторяемость направления сильных ветров (250–270°) существенно отличается от общей повторяемости направления ветра (где максимумы в северо-западном и юго-восточном румбах).

В ходе проведения исследования была также проведена оценка синоптических ситуаций возникновения сильных ветров. Были установлены определенные закономерности отображения синоптических ситуаций с сильным ветром на снимках специализированных КА.

Для разработки методов прогноза сильных ветров (15 м/с и более) по району аэродрома Фергана был собран архивный материал за период с 2012 по 2021 год. В архивную выборку включались случаи с наличием ветра от 7 м/с и более. Учитывая ранее выявленные закономерности, подбирались случаи, когда ветровой поток в приземном слое совпадал с направлением узкого горного ущелья (Ходжантские ворота)  $255 \pm 50^\circ$ .

Учитывались только те случаи, когда такая ситуация складывалась в области циклонических циркуляций (более 65% от общего числа случаев). Это обусловлено возможностью наблюдения сопутствующих облачных систем со специализированных космических аппаратов. По характерной конфигурации и яркости изображения облачной системы на спутниковых снимках, можно судить о наличии условий формирования сильных ветров обусловленными местными физико-географическими особенностями «входа» в Ферганскую долину.

Пример типичной синоптической ситуации формирования кокандского ветра показаны на рисунке 1.

В основе определения максимальной скорости приземного ветра положена следующая цепь взаимосвязанных факторов:

1) более, чем в 2/3 случаев, сильный западно-юго-западный ветер наблюдается в области хорошо выраженной циклонической циркуляции, как правило, в передней или тыловой части ложбины (в зависимости от направления выхода циклона);

2) в области циклона (ложбины) наблюдаются восходящие упорядоченные движения воздуха;

3) восходящие упорядоченные движения воздуха приводят к образованию системы фронтальных облаков As-Ns, при развитии конвекции – с замаскированными кучево-дождевыми облаками Сб;

4) яркость облаков на спутниковых снимках зависит от высоты верхней границы (вертикальной мощности) облачности.

Таким образом, если опустить промежуточные звенья, можно сделать вывод, о том, что яркостное отображение на спутниковом снимке связано с барическими градиентами, а значит и со скоростью ветра в приземном слое.

Для определения максимальной скорости ветра были разработаны прогностические правила с использованием линейный пошаговый регрессии. На предварительном этапе была составлена архивная выборка и рассчитаны одномерные статистические характеристики элементов архивной выборки. Помимо максимального ветра ( $F_{\max}$ ) исследовались сопутствующие значения метеорологических величин в пункте прогноза:

- температура приземного воздуха (Т),
- атмосферное давление (Р),

- относительный влажность ( $R$ ),
- отклонение ветра от направления ущелья (Ходжантинских ворот) ( $\Delta d$ ),
- максимальная яркость изображение облачности ( $I$ ).

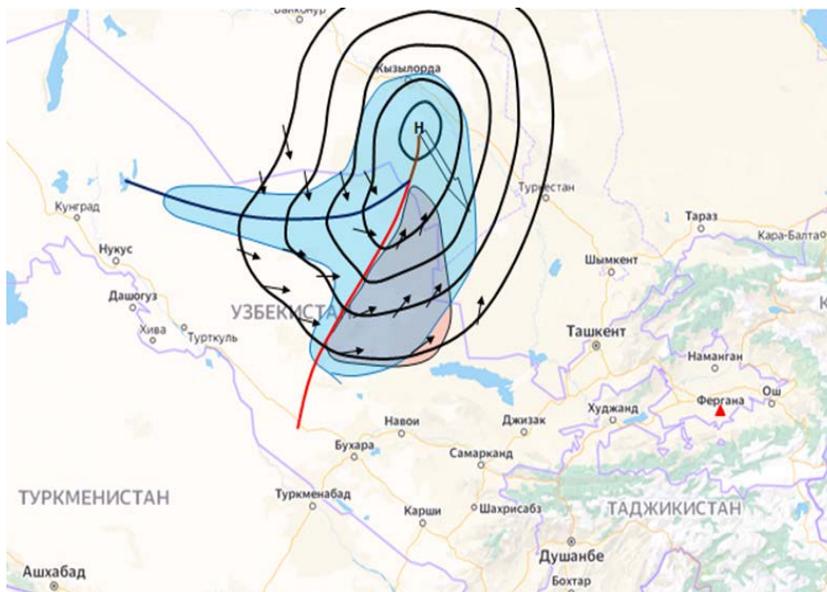


Рисунок 1 – Образование сильного ветра при северо-западном циклоне

Максимальная яркость определялась с помощью пошагового изменения яркости на спутниковых снимках с точностью до 1%. Для этого яркость выводилось на минимальное значение (0%). Далее добавлялось яркость через 1% до появления изображения и опознавания облаков в интересующем районе. Рассчитывалась разница полученного значения с полной (100%) яркостью. Данное значение и принималось за искомое значение яркости.

$\Delta d$  определялось как отклонение направление ветра от направление Ходжантинских ворот (по модулю). Случаи с отклонением более  $50^\circ$  не рассматривались, так как по определению они не являются Кокандским ветрам и составляют менее 5% от общего количество сильных ветров. Направление потоков определялось с помощью типичных схем взаимосвязи, поля облачности ветра и приземного барического поля.

Далее по обучающей выборке (более 120 случаев) определялись одномерные статистические характеристики.

Из полученных статистических данных следует вывод: выборкой охвачено практически все возможные значение генеральной совокупности данных наблюдаемых при возникновение сильных ветров.

Необходимо заметить, что исходя из характеристик распределения расследуемых величин (асимметрия и эксцентриситет) можно сделать вывод, что исследуемые величины имеют отклонение от нормального распределения, что необходимо учитывать при анализе невязок расчетов.

На следующем шаге определялось теснота взаимосвязи между исследуемыми величинами путем расчета парных коэффициентов корреляции Пирсона.

Результаты приведены на таблице 1.

Из приведенных данных следует, что наибольшее значение коэффициентов корреляции максимальное значение скорости ветра имеет с максимальной яркостью

изображение на спутниковых снимках и отклонением направления ветра от направления ущелья.

Таблица 1 – Значение парных коэффициентов корреляции

	T	P	R	Fmax	Δd	I
T	1,00	-0,69	-0,39	-0,11	0,38	-0,08
P	-0,69	1,00	-0,05	0,07	-0,29	0,06
R	-0,39	-0,05	1,00	-0,04	-0,12	-0,05
Fmax	-0,11	0,07	-0,04	1,00	-0,29	0,92
Δd	0,38	-0,29	-0,12	-0,29	1,00	-0,22
I	-0,08	0,06	-0,05	0,92	-0,22	1,00

На следующем этапе методом пошаговой линейной регрессии было построено уравнение для прогноза максимальной скорости ветра:

$$F_{max} = 0.72I - 0.052\Delta d - 45.583 \quad (1)$$

Критерии успешности разработанного прогностического правила представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры и показатели пошаговой линейной регрессии

	БЕТА	Стд.Ош. БЕТА	B	Стд.Ош. B	t(397)	p-уров.
Св.член			-45,5833	0,576454	-82,5447	0,000000
I	0,965426	0,009106	0,7204	0,006796	106,0155	0,000000
Δd	-0,072482	0,009106	-0,0523	0,002799	-7,9594	0,000000

Скорректированное значение коэффициентов детерминации  $R^2_{кор}$  равняется 0,89, абсолютная ошибка прогноза ветра по обучающей выборке составляет 0,88 м, по контрольной выборке 1,45 м. Значение средней абсолютной ошибки менее одной прогностической градации и может быть рекомендовано для практического использования.

Необходимо сделать следующие замечания:

1. Точность расчетов во многом зависит от квалификации (опыта) прогнозиста по определению максимальной яркости и направления приземного воздушного потока.

2. На точность определения исходных данных влияет также используемая программа редактор изображений (программа «просмотрщик»).

Поэтому целесообразно:

- уточнить критериальное значение яркости для конкретной программы-просмотрщика;

- определение исходных параметров проводить методом экспертных оценок двумя-тремя синоптиками;

- дальнейшее совершенствование метода направить на автоматизированную обработку исходных данных – повышение объективности процесса прогнозирования.

В ходе проделанного исследования были решены следующие задачи и получены результаты.

1. Обобщены теоретические сведения о физико-географических особенностях и климате Узбекистана и обособленного региона Ферганской долины;

2. Исследованы факторы и механизмы возникновения сильных ветров в Ферганской долине и конкретно в районе аэродрома Фергана;

3. Изучены возможности использования данных группировки метеорологических космических аппаратов в целях анализа и прогноза параметров ветра на территории Узбекистана;

4. Составлена архивная выборка по данным наземных метеорологических и аэрологических наблюдений, приземным картам и картам барической топографии, аналоговым спутниковым снимкам;

5. Рассчитаны и проанализированы одномерные статистические характеристики элементов архивной выборки;

6. Проведен детальный анализ характеристик ветрового режима Ферганы за 2012-2021 годы и их динамики по сравнению с периодом 1936-1977 гг.;

7. Определены типовые синоптические условия возникновения сильного местного ветра «Жокандец» и, соответствующие им, изображения облачных систем на спутниковых снимках;

8. Разработан способ прогноза опасных для авиации скоростей ветра по аналоговым спутниковым снимкам;

9. Проведена проверка разработанных прогностических правил на независимом материале.

Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности ведомственных метеорологических подразделений.

#### Список литературы

1. Применение спутниковой информации для решения задач в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. // Под ред. В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. М.: НИЦ «Планета». 2019. 55 с.

2. *Айзеништат Б. А., Бабиченко В. Н. Леухина Г. Н.* Климат Ферганы. Л.: Гидрометиздат. 1983. С. 4-58.

3. *Глазырин Г.Е., Чернышева С.Г., Чуб В.Е.* Краткий очерк климата Узбекистана. Ташкент: САРМИГМИ. 1999. 40 с.

4. *Ветлова И. П. Вельтищева Н. Ф.* Руководства по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды. Л.: Гидрометиздат, 1982.

5. *Герман М. А.* Космические методы исследования в метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1985. С. 330-335.

6. *Расторгуев И.П., Охунжонов Г. Р.* Исследование режима ветра аэродрома Фергана в целях обеспечения безопасности полетов. // Сб. статей VI Междунар. науч. - практ. конф. Комплексные проблемы техносферной безопасности, 21-22 декабря 2020. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Ч. 1. 2021. С. 299-304.

7. *Расторгуев И.П., Охунжонов Г. Р.* Оценка условий возникновения сильных ветров по спутниковым данным с учетом местных физико-географических особенностей местности. // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2021 С. 192.

#### МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГРОЗ ДЛЯ РАЙОНА КОСМОДРОМА ПЛЕСЕЦК

Темников Д.А, Ефременко А.Н, Андрейченко М.И.

Военно-космическая академия им.А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург

*daaaaaaanil\_1998@mail.ru*

*Аннотация.* В работе приведены методы прогнозирования опасных явлений погоды (ОЯП) на примере гроз путем применения основных положений дискриминантного анализа для района космодрома Плесецк. Рассматриваются метод «ближайшего соседа», основанный на расчете расстояний двух ближайших выборок и дискриминантной функции для определения классов явлений

погоды, и метод с использованием линейного непараметрического дискриминантного анализа Фишера.

*Ключевые слова.* Гидрометеорологическое обеспечение, опасные явления погоды, дискриминантный анализ, классификатор.

## **METHODS OF THUNDERSTORM PREDICTION FOR THE PLESETSK COSMODROME AREA**

Temnikov D.A, Efremenko A.N, Andreichenko M.I.

<sup>1</sup>Budgetary Military Educational Institution of Higher Education «Mozhaisky Military Aerospace Academy» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Sankt-Petersburg

*Annotation.* The paper presents methods for forecasting hazardous weather phenomena (HWP) on the example of thunderstorm by applying the main provisions of discriminant analysis for the area of the Plesetsk cosmodrome. The "nearest neighbor" method, based on the calculation of the distances of two nearest samples and a discriminant function for determining the classes of weather phenome.

*Keywords.* Hydrometeorological support, hazardous weather phenomena, discriminant analysis, classifier.

Введение. Основным предназначением космодрома «Плесецк» является выполнение задач по запуску космических аппаратов (КА) и пускам меж баллистических ракет (МБР). Выполнение этих задач осуществляется в условиях влияния окружающей природной среды на вооружение, военную и специальную технику (ВВСТ), поэтому осуществление мероприятий гидрометеорологического обеспечения (ГМО) является неотъемлемой частью при подготовке к проведению мероприятий запусков КА и пусков МБР.

Задачами ГМО являются:

своевременное выявление опасных метеорологических и гидрометеорологических процессов;

доведение до органов управления сведений о фактической и ожидаемой гидрометеорологической обстановки;

предупреждение об опасных явлениях погоды.

Как следует из задач прогнозирования опасных явлений погоды (ОЯП) является наиболее важным элементом при разработке прогноза гидрометеорологических условий.

Данная статья посвящена рассмотрению вопроса применения дискриминантного анализа (ДА) для прогнозирования гроз в районе космодрома «Плесецк».

Основные положения дискриминантного анализа. При гидрометеорологическом обеспечении деятельности войск (сил) гидрометеоролог решает задачу отнесения состояния геосферы, в которой осуществляется обеспечиваемая деятельность, к различным классам.

На рисунке 1 каждый объект наблюдения представлен точкой, в двумерном пространстве признаков. В общем случае размерность пространства определяется числом наблюдаемых признаков. Каждое наблюдение, представляющее собой вектор в признаковом пространстве, попадает в один из введенных классов.

Сгущение точек в определенной области пространства, называемой кластером, объясняется тем, что они получены из разных генеральных совокупностей, имеющих разные законы распределения. В результате проведения кластерного анализа формируется набор классов состояния геосферы.

Далее на основе математического классификатора (рисунок 1), который представляет собой дискриминантную функцию, по значению которой принимают решение о том, к какому классу отнести зарегистрированное состояние атмосферы (например, дождь, без дождя).

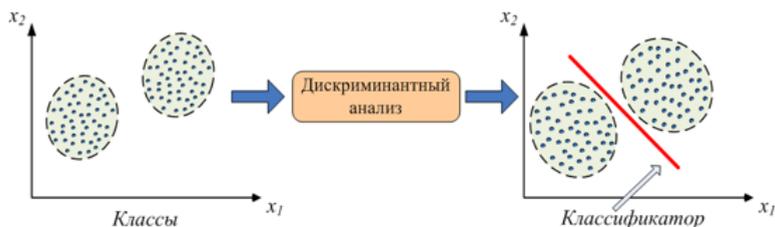


Рисунок 1 – Графическая интерпретация работы классификатора в дискриминантном анализе

Исходя из этого, сущность непараметрического дискриминантного анализа заключается в получении по обучающей выборке классификатора, который позволяет на основании вновь поступающих наблюдений классифицировать состояние атмосферы.

Задачи, связанные с отнесением состояния объекта к одному из возможных классов рассматриваются в математической теории классификации, являющейся разделом многомерного статистического анализа. Термин «классификация» в статистике – это систематизированное распределение явлений и объектов на определенные секции, группы, классы, позиции, виды на основании их сходства и различия. Пример геометрической интерпретации работы линейного непараметрического дискриминантного анализа (Фишера) представлен на (рисунок 2).

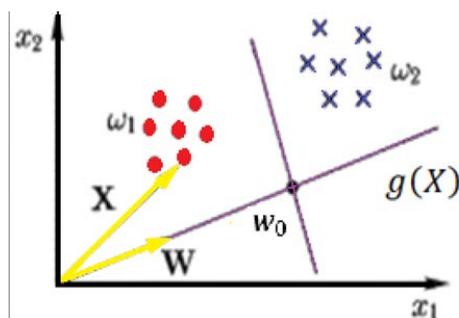


Рисунок 2 – Геометрический смысл линейного непараметрического дискриминантного анализа на основе двух классов

Вид дискриминантной функции:

$$g(X) = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_px_p \quad (1)$$

Непараметрические методы дискриминации не требуют знаний о точном функциональном виде распределений и позволяют решать задачи дискриминации на основе незначительной априорной информации о совокупностях, что особенно ценно для практических применений.

Прогнозирование ситуаций с туманом и без тумана на основе применения непараметрического дискриминантного анализа методом «ближайшего соседа». Одним из методов прогнозирования туманов в математической статистике при использовании непараметрического дискриминантного анализа является метод «ближайшего соседа».

Расстояние «ближайшего соседа» (рисунок 3) равно расстоянию между ближайшими объектами классов (рисунок 3).

$$\rho = (S_l, S_m) = d(\bar{X}(l), \bar{X}(m)). \quad (2)$$

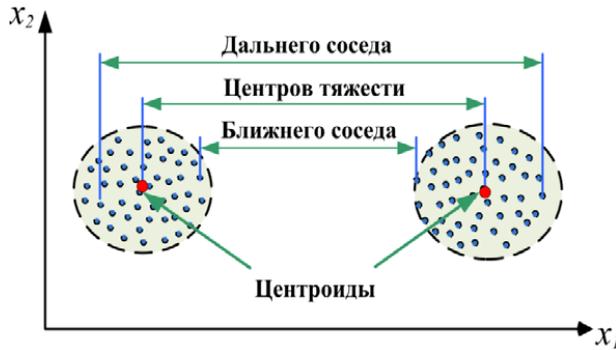


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация расстояний «ближайшего соседа», «дальнего соседа» и «центров тяжести» в случае двух классов

Порядок применения метода состоит в следующем:

1. Первым шагом для определения тумана необходимо составить обучающую выборку, где в качестве исходных данных используется выборка наблюдений за семью гидрометеорологическими параметрами с сайта *Rp5.ru.* (Все значения  $x_1, \dots, x_7$  относятся к 00 ч текущего дня наблюдения) районе станции космодром Плесецк для двух классов (с туманом; без тумана), а именно:

- $x_1$ - исходная температура воздуха в 18 ч;
- $x_2$ - исходный дефицит точки росы в 18 ч;
- $x_3$ - скорость ветра у поверхности земли в 18 ч;
- $x_4$ - скорость ветра на высоте 100 м в 18 ч;
- $x_5$ - прогноз бальности облаков нижнего яруса на ночь;
- $x_6$ - прогноз минимальной температуры воздуха на ночь;
- $x_7$ - прогностический лапласиан приземного давления [Гпа/(300 км)] на ночь.

2. На втором этапе в сформированной рабочей части выборки необходимо произвести вычисление средних значений предикторов  $(M_k)_i$  для каждого из  $i$  ( $j = 1, 2$ ) классов (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Среднее значение предикторов  $(M_k)_i$  для состояния погоды с опасным явлением «туман»

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$(M_k)_i$	-0,21	3,02	0,89	3,71	1,26	-6,49	-0,63

Таблица 2 – Среднее значение предикторов  $(M_k)_i$  для состояния погоды без опасного явления «туман»

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$(M_k)_i$	2,52	5,21	1,97	4,69	2,03	-4,00	-0,66

Эти средние значения  $(M_k)_i$  – называются эталонами классов.

3. Следующим этапом для исследуемого вектора  $X^*$  из контрольной части выборки вычисляется в признаковом пространстве расстояние  $\rho(X^*, M_i)$  между значениями предикторов вектора  $X^*$  и эталонами  $(M_k)_i$  по формуле:

$$\rho(X^*, M_i) = \sqrt{\sum [x_k - (M_k)_i]^2} \quad i=1,2. \quad (3)$$

Таблица 3 – Расстояние  $\rho(X^*, M_i)$  между значениями предикторов вектора  $X^*$  и эталонами  $(M_k)_i$  для состояния погоды с опасным явлением «туман»

$\rho$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
1	180,63	9,50	0,01	0,51	1,58	12,35	4,98
2	16,48	1,91	1,24	7,37	1,58	271,78	15,46
3	1,54	0,00	0,01	0,08	0,55	131,92	0,00
4	1,80	4,07	0,78	0,51	0,55	89,98	2,66
5	25,40	4,48	1,24	0,08	3,04	30,09	18,76
6	1983,81	0,00	0,78	0,08	0,07	1123,21	13,19
7	28,73	5,37	0,01	0,08	1,58	341,72	10,44
8	47,57	5,35	2,21	3,04	3,24	45,20	9,55

Смысл величины  $\rho$  заключается в том, что оно показывает отношение среднего различия между классами к средней плотности наблюдений внутри классов. Набор признаков  $X(p)$ , обеспечивающих максимум величины  $\rho$ , образует пространство  $R_p$ , в котором среднее расстояние между классами максимально, при этом признаки внутри классов расположены наиболее компактно.

Таблица 4 – Расстояние  $\rho(X^*, M_i)$  между значениями предикторов вектора  $X^*$  и эталонами  $(M_k)_i$  для состояния погоды без опасного явления «туман» в районе станции космодром Плесецк

$\rho$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
1	183,33	2,20	1,24	1,65	1,58	12,35	0,00
2	59,91	4,34	1,24	0,51	0,07	6,18	0,87
3	53,88	8,90	0,01	2,94	0,07	6,18	0,07
4	18,15	12,13	4,47	1,65	3,04	209,84	0,87
5	39,19	1,73	1,24	0,08	3,04	341,72	74,50
6	12,67	10,78	1,24	1,65	0,55	271,78	0,40
7	1349,83	0,38	9,70	5,22	7,52	600,95	11,77
8	46,25	6,45	4,52	6,45	4,35	39,01	9,58

4. Следующим этапом является расчет дискриминантной функции  $U(X)$ , которая для метода «ближайшего соседа» имеет вид (3):

$$U(X) = \rho(X^*, M_1) - \rho(X^*, M_2) \quad (4)$$

И является линейной.

Если  $U(X) < 0$ , то  $X^* \in$  классу  $A_1$

Если  $U(X) > 0$ , то  $X^* \in$  классу  $A_2$

Это функция также является классификатором для решения данной задачи.

5. Результат классификации опасных явлений погоды в районе станции космодром Плесецк (таблица 5).

Таблица 5 – Результат классификации опасных явлений погоды в районе станции космодром Плесецк

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
без тумана	с туманом	с туманом	с туманом	с туманом	без тумана	с туманом

Таким образом, с помощью данного метода дискриминантного анализа, мы определили, к какому классу состояния погоды относятся исследуемые вектора, тем самым выявили возможность появления опасного явления погоды - «туман».

5. Для того, чтобы уверенно говорить о правильности прогноза необходимо рассчитать вероятность появления ошибки. Для этого в нашей работе можно выполнить оценку успешности прогноза используя критерий А.М.Обухова (4):

$$Q = 1 - (\alpha + \beta), \quad (5)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{n_{12}}{n_{10}}, \beta = \frac{n_{21}}{n_{20}}.$$

Для идеальных прогнозов  $n_{12} = n_{21} = 0$ ,  $Q = 1$ , следовательно для случайных прогнозов  $Q = 0$ .

В нашем случае критерий  $Q = 0,88$  – этого говорит нам о правильности нашего прогноза.

Заключение. Рассмотренные методы дискриминантного позволили на основании наблюдений погоды в районе космодрома Плесецк получить дискриминантные функции для прогноза тумана и грозы.

Таким образом, использование дискриминантного анализа для прогноза опасных явлений погоды дает возможность оперативного получения информации о состоянии прогнозируемой метеорологической обстановки, что способствует своевременному принятию решения.

При этом оперативность достигается за счет автоматизации классификаторов, и получения мгновенных результатов прогноза после получения данных о состоянии погоды.

Для улучшения качества классификации опасных явлений погоды необходимо дополнять базу наблюдений, добавляя их в дискриминантный анализ.

#### Список литературы

1. *Шемелов В.А.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации : учебное пособие [Текст] / В.А. Шемелов.– СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2019. – Ч.2. – 140 с.
2. *Воробьев В.И.* Руководство к лабораторным работам по синоптической метеорологии и атас учебных синоптических материалов: практикум по синоптической метеорологии [Текст] / В.И. Воробьев, 2006. – СПб. : Гидрометиздат. – С. 148–149.
3. *Казакевич Д.И.* Основы теории случайных функций в задачах гидрометеорологии : учебник [Текст] / Д.И. Казакевич, - Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 220 с.
4. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации : учебник [Текст] / В.Н. Малинин. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.

# СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ УЗБЕКИСТАНА**

Акбаров Х.Б., Кашлева Л.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*akbaroffxasan@gail.com*

*Аннотация.* Рассматривается оценка возможности применения ветровой энергии в Узбекистане для обеспечения энергетической безопасности в областях и в отдалённых населенных пунктах.

*Ключевые слова.* Узбекистан, возобновляемые источники, ветроэнергетика, энергетическая безопасность.

### **RESEARCHES OF WIND REGIAM FOR WIND ENERGY IN UZBEKISTAN**

Acbaroff H.B., Kashleva L.V.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

*Annotation.* The assessment of the possibility of using wind energy in Uzbekistan to ensure energy security in the regions and in remote settlements is being considered.

*Keywords.* Uzbekistan, renewable sources, wind energy, energy security.

Введение. Вся современная экономика находится в зависимости от богатств, недр: нефти, газа, угля и иных видов ископаемого топлива, а запасы органического топлива на нашей планете быстро сокращаются. По оценкам специалистов при нынешних объемах добычи угля хватит на 400-500 лет, а нефти и газа – максимум на 100 лет. Кроме того, опустошение земных недр и сжигание органического топлива ведет к засорению окружающей среды: так, эмиссия диоксида углерода ведет к глобальному потеплению, а диоксид серы вызывает кислотные дожди. Поэтому человечество вынуждено осваивать нетрадиционные, т.е. возобновляемые источники энергии [1].

Для решения этих проблем целесообразно переходить на экологически чистые и возобновляемые источники энергии.

Внедрение возобновляемого источника энергии наиболее привлекательно, так как оно никак не нарушает природного равновесия энергии, получаемой нашей планетой.

Как известно, географическое положение Узбекистана дает ей огромный пласт возможностей в реализации разного вида возобновляемых источников энергии, как: солнечная энергетика, ветроэнергетика, Гидрологические электростанции и прочее.

Анализ особенностей ветрового режима Узбекистана. В рамках данной статьи были рассмотрены возможности использования ветроэнергетических ресурсов Узбекистана. Для этого были взяты два пункта наблюдения расположенных в пустынных (Тамды) и предгорных (Шерабад) территориях Узбекистана.

В качестве исходной информации были использованы среднемесячные данные повторяемости различных скоростей ветра по градациям, за 1936-1963 гг. на метеостанциях

Тамды и Шерабад. Данные взяты из климатического справочника, так как проводилась климатическая оценка ресурсов региона. Наблюдения за ветром на станции проводились по Анеометру М – 63 на высоте 10 метров.

На начальном этапе рассчитаем интегральные функции распределения скорости ветра по градациям  $F(u)$ , показывающие вероятность скорости ветра выше определенного значения.

По результатам расчета построим графики для выбранных станций. На рисунках 1 и 2 представлены интегральные распределения скоростей ветра для станций Тамды и Шерабад.

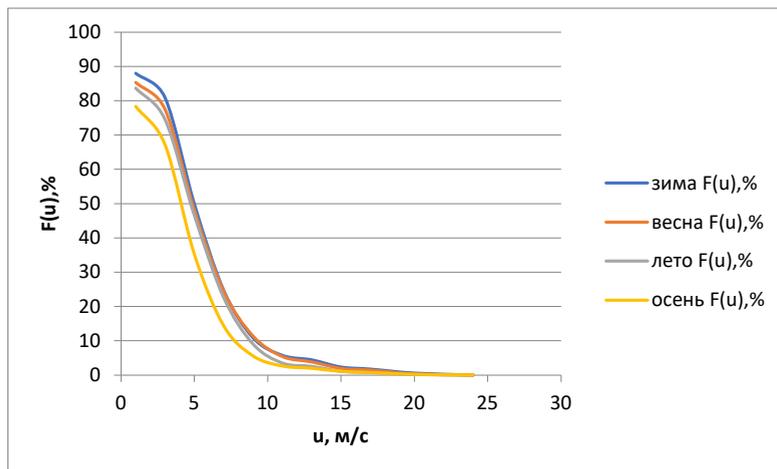


Рисунок 1 – Интегральные кривые распределения скорости ветра на станции Тамды

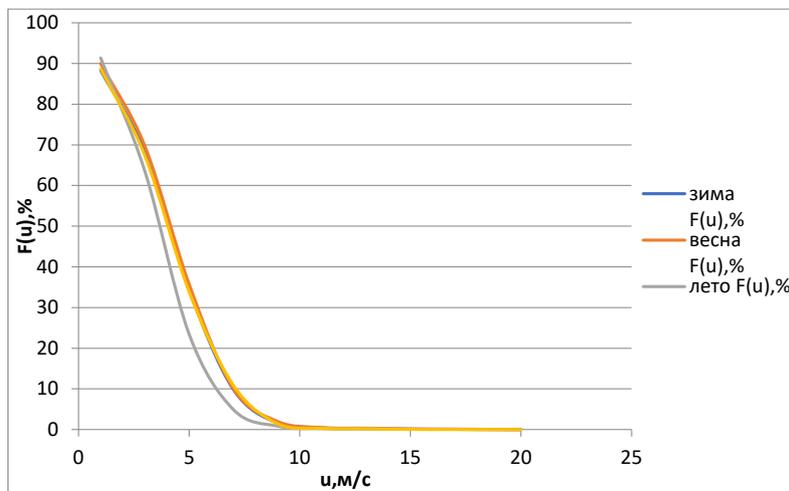


Рисунок 2 – Интегральные кривые распределения скорости ветра на станции Шерабад

Проанализировав графики можно отметить, что вероятность скорости выше 5 м/с, а именно с этой скорости ВЭУ начинает вырабатывать энергию, составляет:

Для станции Тамды зимой – 50%, весной – 48%, летом – 47%, осенью – 35%

Для станции Ширабад зимой – 34%, весной – 36%, летом – 23%, осенью – 24%

Анализ ветроэнергетических ресурсов станций Тамды Шерабад. Следующий этап работы заключается в экстраполяции значений скорости ветра различной вероятности (обеспеченности). С этой целью распределение скорости ветра экстраполируем в сторону редко наблюдаемых скоростей ветра. Для этого выбираем аппроксимирующую функцию и затем предполагаем, что закон изменения скорости ветра в дальнейшем не меняется. На основании начального этапа аппроксимации интегральные функции распределения, в качестве функции приведем видоизмененную формулу Вейбула – Гудрича,

По результатам расчётов (таблица 1), можно сделать следующие выводы:

В данных районах ВЭУ может работать достаточно эффективно. Наибольшее значение удельной мощности для станции Тамды приходится на зимний период, а для станции Шерабад на весенний. Максимальное значение ветроэнергетического потенциала приходится на зимний период в обеих станциях.

Наиболее эффективным в ветроэнергетическом отношении является станция Тамды, это объясняется наименьшими энергетическими затишьями и наибольшими выработками Ветроэнергетическими установками ветроэнергии. Средняя производительность ветроагрегата в зимние месяцы значительно превышает значения, полученные в другие месяцы на обеих станциях.

В процессе расчета получены значения общей энергии и общей мощности суммарной энергии, также были получены значения средней производительности ветроагрегата.

*Таблица 1 – Значение общей энергии и общей мощности суммарного ветрового потока и средней производительности ветроагрегата*

Сезон	Станция Тамды			Станция Ширабад		
	$N_n, Вт$	$\bar{Q}_n, кВт$	$\bar{A}, кВт/ч$	$N_n, Вт$	$\bar{Q}_n, кВт$	$\bar{A}, кВт/ч$
Зима	9548	20624	2239	3041	6569	244
Весна	8866	19577	1974	3379	7460	223
Лето	7017	15118	1194	1915	4126	105
Осень	4127	9014	351	3041	6642	163
Год	7017	61472	13065	2727	23887	1947

#### Заклучение

1. В процессе выполнения представленной работы был выполнен анализ ветрового режима станций Узбекистана Показано, что вероятность возникновения ветра, скорость которого выше уровня начала работы ветроэнергетических агрегатов составляют для станции Тамды: зимой – 50%, весной – 48%, летом – 47%, осенью – 35%; Для станции Ширабад зимой – 34%, весной – 36%, летом – 23%, осенью – 24%.

2. Анализ ветроэнергетических ресурсов станций Тамды Шерабад показал, что в анализируемых районах Ветроэнергетические установки могут работать достаточно эффективно. Наибольшее значение удельной мощности для станции Тамды приходится на зимний период, а для станции Шерабад на весенний. Максимальное значение ветроэнергетического потенциала приходится на зимний период в обеих станциях.

Наиболее эффективным в ветроэнергетическом отношении является станция Тамды,

3. В целом, пустынные (Тамды) и предгорные (Шерабад районы Узбекистана можно рассматривать как перспективные для целей ветроэнергетики.

### Список литературы

1. Шинкевич А.И. Зарайченко И.А. Повышение инновационной активности в энерго- и ресурсосбережения на основе концепции «Технологических окон возможностей». 2010г.
2. "Метеорология и гидрология" 1978 №7 – 129с.
3. Научно – прикладной справочник по климату Узбекистана "Ветер", выпуск 19. Ленинград Гидрометиздат 1989г.
4. Энциклопедия климатических ресурсов РФ [текст] / ред.: Кобышева Н.В., Хайрулин К.Ш. – СПб.: Гидрометиздат, 2005. – 39с.
5. Определение непрерывной продолжительности метеорологических явлений по нерегулярным наблюдениям / Бирман Б.А., Пертик В.Г. – Труды ВНИИГМИ, выпуск 40, 1978г.
6. Энергия ишлаб чикаришининг бугунги куни ва келажаги (Настоящее и будущее производства энергии) / Т.Юнусов. – Узбекистан, 2012 год

### АНАЛИЗ ВЛИЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ НАД САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ

Алексеева Н.Ю., Радченко В.Н.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*alekseeva\_n\_00@mail.ru valerie.radchenko@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматривается повторяемость барических образований, формирующих разную степень воздействия состояния атмосферы на организм человека в весеннее и летнее время года. Для оценки этого воздействия использован биометеорологический параметр - индекс патогенности по В.Г. Бокша.

*Ключевые слова.* Биометеорология, барические образования, индекс патогенности.

### ANALYSIS OF THE BARIC FORMATIONS AFFECTING THE HUMAN BODY ABOVE ST. PETERSBURG

Alexeeva N.Yu., Radchenko V.N.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The article considers the repeatability of baric formations that form a different degree of influence of the state of the atmosphere on the human body in the spring and summer seasons. To assess this impact, a biometeorological parameter was used - the pathogenicity index according to V.G. Boksha.

*Keywords.* Biometeorology, baric formations, pathogenicity index.

В настоящее время известно, что на все составляющие биосферы влияют земная и космическая погода. Поэтому сейчас стала широко распространяться такая наука, как биометеорология. Ее конечной задачей является оценка возможности специализированного прогноза погоды, в том числе для медицинских целей.

В основе прогноза погоды для медицинских целей является оценка метеорологических и гелиофизических факторов влияющих на организм человека и исследование циркуляции атмосферы, формирующей те или иные характеристики земной погоды. Такими исследованиями занимается биометеорология, используя статистический анализ так называемых биометеорологических параметров при одновременной изменчивости параметров земной и космической погоды и характеристик организма человека. Основы жизни человека — постоянство температуры его тела (М. В. Ломоносов), поэтому наиболее широко используются биометеорологические параметры характеризующие тепловое воздействие атмосферного воздуха на человека. Эти параметры включают различные

метеорологические величины, основными из которых является температура, влажность воздуха и скорость ветра (это ощущаемые или эффективные температуры воздуха). Кроме того в России используется биометеорологический параметр — индекс патогенности (по В.Г. Бокша), оценивающий влияние на человека не только метеорологических величин, но и их временной изменчивости.

Индекс патогенности по В.Г. Бокша – это параметр, используемый при определении степени раздражающего действия факторов погоды. Он рассчитывается по следующей формуле:

$$J = 10 \frac{f-70}{20} + 0.2 * v^2 + 0.06 * n^2 + 0.06 * (\Delta p)^2 + 0.3(\Delta t)^2 + i(t)$$

где

f - Относительная влажность, %

v - Скорость ветра, м/с

n - Облачность, балл

$\Delta p$  - Межсуточная изменчивость атмосферного давления, гПа/сут

$\Delta t$  - Межсуточная изменчивость температуры воздуха, °C/сут

t - Среднесуточные значения температуры, °C

Таблица 1 Классификация степени воздействия погоды на организм человека

J	Степень воздействия
0-9,9	Оптимально/комфортно
10-16,0	Слабо раздражающие
16,1-18	Умерено раздражающие
18,1-24	Сильно раздражающие
более 24	Острые

В работе рассчитаны ежедневные значения индекса патогенности за весенний и летний сезон с 2016 по 2020 год для состояния атмосферы Санкт-Петербурга. Учитывая изменчивость состояния атмосферы в Северо-Западном регионе России, мы анализировали ежедневный индекс патогенности и его составляющие для каждого месяца по отдельности.

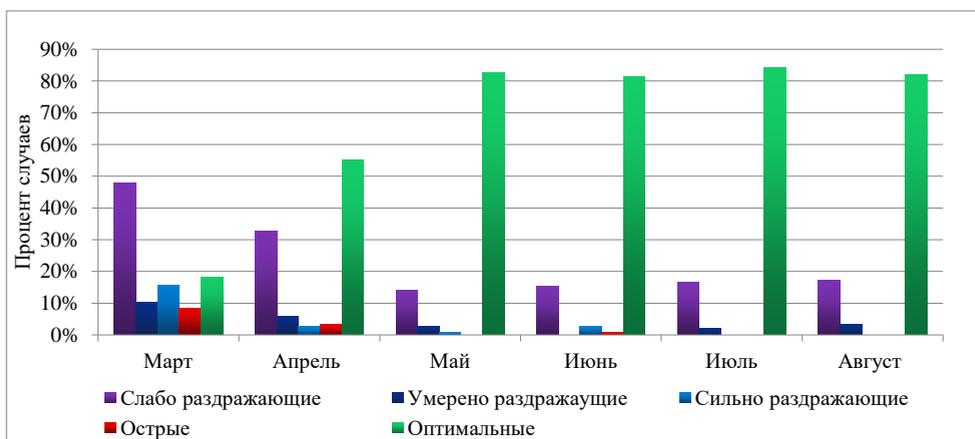


Рисунок 1 - Повторяемость классов погодных условий по индексу патогенности за весенний и летний период с 2016 по 2020 год

Видно, что в исследуемый период, как и стоило ожидать, оптимальные условия наблюдаются в мае. По данным диаграммы (Рисунок 1) видно, что оптимальные для

организма человека погодные условия больше всего наблюдаются в мае - 83% случаев, меньше в марте; в свою очередь острые погодные условия преимущественно наблюдаются в марте - 48% случаев. Стоит отметить, что в марте наблюдалась наибольшая вариативность типов погоды по индексу патогенности.

Летом отмечается преобладание оптимальных погодных условий - выше 80% случаев в каждом месяце. Острые и раздражающие условия погоды отмечались в отдельные дни в течение лета.

Далее нашей задачей было определить барические образования (БО), которые формируют неблагоприятные условия для организма человека в весеннее и летнее время года.

В целом, барические образования сами по себе не влияют на человека, поэтому были рассмотрены погодные условия, которые они формируют и отмечены дни со значительными изменениями метеорологических величин. За сильные межсуточные изменения было взято изменение относительной влажности на 20 % и атмосферного давления на 10 гПа.

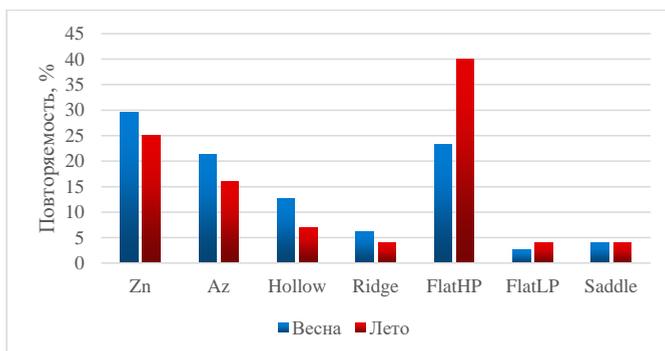


Рисунок 2 - Повторяемость барических образований за весенний и летний период с 2016 по 2020 год

За исследуемый период мы видим, что наиболее часто встречалось малоградиентное поле высокого давления и циклон как весной, так и летом.

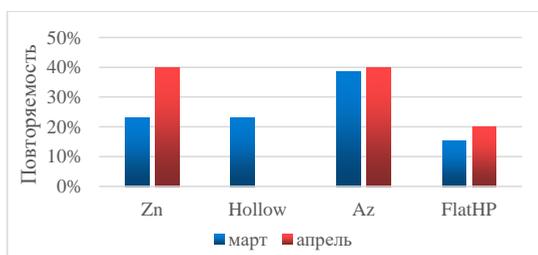
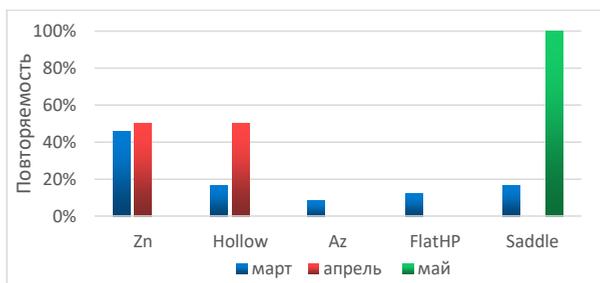


Рисунок 3 - Повторяемость барических образований за весенний период с 2016 по 2020 год при острых погодных условиях

На диаграмме (Рисунок 3) видно, что из 18 случаев с острыми погодными условиями за весенний сезон с 2016 по 2020 год, наиболее часто над территорией Санкт-Петербурга проходили циклоны и антициклоны, как в марте, так и в апреле. При этом антициклоны и циклоны встречаются одинаковое количество раз в апреле - по 40 %. Стоит отметить, что в мае не наблюдались острые погодные условия.

Летом при единственном случае наблюдения острых погодных условий наблюдалось малоградиентное поле высокого давления. Но, однако, до формирования малоградиентного

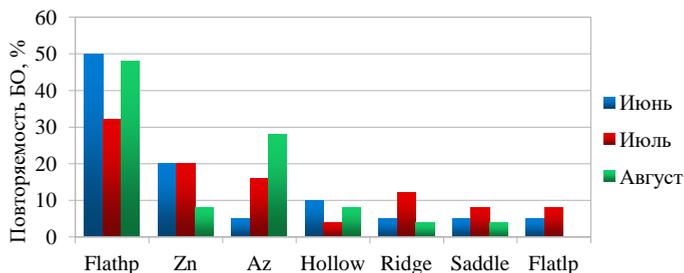
поля отмечалось понижение атмосферного давления и температуры воздуха, рост относительной влажности.



*Рисунок 4 - Повторяемость барических образований за весенний период с 2016 по 2020 год при сильно раздражающих погодных условиях*

Сильно раздражающие погодные условия за весенний период с 2016 по 2020 год наблюдались в 29 случаях. Такие условия (Рисунок 4), наиболее часто сформированы под влиянием циклонической деятельности. При этом в марте встречались так же антициклоны, малоградиентные поля высокого давления и седловины, по 8%, 13% и 17% соответственно. Стоит отметить, что в мае встретился 1 случай сильно раздражающих погодных условия при прохождении седловины. При этом отмечались высокая относительная влажность, атмосферное давление и его сильная временная изменчивость.

Летом наблюдается 3 случая сильно раздражающих условий погоды при формировании малоградиентного поля высокого давления. Такая погода определялась понижением атмосферного давления и температуры воздуха и ростом относительной влажности.



*Рисунок 5 - Повторяемость барических образований за летний период с 2016 по 2020 год при слабо раздражающих погодных условиях*

В летнее время года (Рисунок 5), слабо раздражающие погодные условия наблюдались при формировании в атмосфере малоградиентного поля высокого давления. Анализ метеорологической информации показал, что в эти дни отмечалось понижение атмосферного давления и рост относительной влажности воздуха.

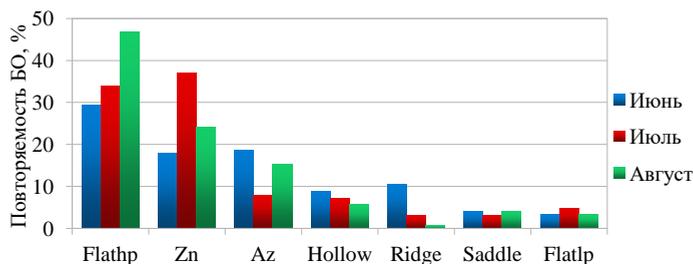


Рисунок 6 - Повторяемость барических образований за летний период с 2016 по 2020 год при оптимальных погодных условиях

Оптимальные погодные условия в летнее время года (Рисунок 6) наблюдались при формировании в атмосфере малоградиентного поля высокого давления и при прохождении циклонов. В благоприятные дни отмечалось незначительная изменчивость всех метеорологических величин.

**Выводы.** Анализ синоптической ситуаций, формирующих разную степень воздействия состояния атмосферы на организм человека показал, что дни с разным классом индекса патогенности могут определяться одними и тем же барическими образованиями. Поэтому при формировании прогноза возможного воздействия на человека необходимо учитывать временную динамику циркуляции атмосферы, которая и определяет изменчивость метеорологических величин. Резкое их изменение вызывает патогенные реакции человека и требуют проведения профилактических мероприятий для сохранения здоровья человека.

#### Список литературы

1. Ступишина О.М., Головина Е.Г. «Определение условий в природной среде, способствующих возникновению кардиологических событий». Космос и биосфера: тезисы докладов 8 Международной крымской конференции — Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2019.- с.104
2. Исаев А.А. Экологическая климатология. Учебное пособие –М., изд. Научный мир.2001-438 с.

### КОРОТКОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА

Астанина Ю.В.<sup>1</sup>, Лаврова И.В.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», Санкт-Петербург  
astanina.iu@yandex.ru, livspb@yandex.ru

**Аннотация.** Цель данной работы изучение изменчивости температуры воздуха на территории республики Саха в рамках десятилетий за период 1930-2020 гг. Результаты работы могут быть использованы в качестве теоретического материала для дальнейшего изучения климата на рассматриваемой территории, как главного фактора во многих отраслях жизнедеятельности человека. **Ключевые слова.** Температура воздуха, короткопериодные изменения климата, Якутия (Республика Саха).

### SHORT-PERIOD VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE IN THE TERRITORY OF THE SAKHA REPUBLIC

Astanina Y.V.<sup>1</sup>, Lavrova I.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> JSC "State Scientific Research Navigation and Hydrographic Institute", Saint Petersburg

*Annotation.* The purpose of this work is to study the variability of air temperature in the territory of the Sakha Republic within decades for the period 1930-2020. The results of the work can be used as theoretical material for further study of the climate in the territory under consideration, as the main factor in many branches of human activity.

*Keywords.* Air temperature, short-period climate changes, Yakutia (Sakha Republic).

В последнее время значительные изменения климата, и прежде всего по температурному режиму, наблюдаются на многих территориях земного шара. Поэтому на сегодняшний день эта тема остается наиболее актуальной. В данной работе для исследований выбрана территория Якутии (Республика Саха). Она представляет большой интерес, поскольку отличается максимальной континентальностью, расположена сразу в трех климатических зонах (умеренной, субарктической и арктической), и именно здесь находится полюс холода Северного полушария [1-3].

Для изучения изменений климата на территории Якутии выбраны 11 метеорологических станции (рисунок 1) с наиболее длительными рядами наблюдений с 1930 по 2020 гг. из архива NOAA [5]. Все станции поделены территориально на регионы: Центральная Якутия – Якутск; Северная Якутия – Тикси, Чокурдах, Черский; Южная Якутия – Олекминск, Нерюнгри; Восточная Якутия – Усть-Нера, Усть-Мая, Зырянка; Западная Якутия – Оленек, Ленск.

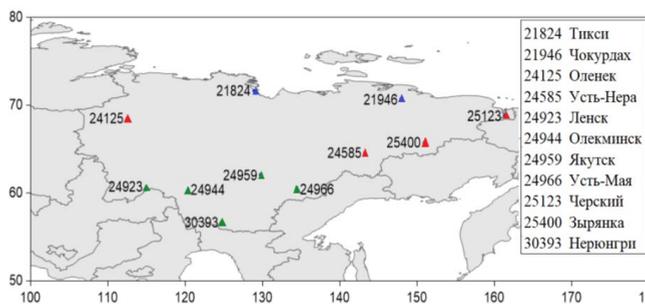


Рисунок 1 – Расположение станций на территории Якутии

Рассчитаем средние значения температуры воздуха по десятилетиям для теплого и холодного периода. Уточним, что за тёплый сезон будем считать месяцы с мая по сентябрь, а за холодный сезон – с октября по апрель. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

По данным таблиц видно, что можно выделить два периода: период похолодания и период потепления, начавшийся сразу после холодного и продолжающийся в настоящий момент. При этом переход с периода похолодания к потеплению в отдельных областях происходит в разное время. Период потепления наблюдается в центральной и восточной областях с 1970-х, позже в северных, западных и южных регионах – с 1980-х.

В центральной части Якутии в теплое полугодие средняя температура в холодный период составила 12,3°C, в тёплый 12,9°C, т.е. температура повысилась на 0,6°C. В холодное полугодие температура увеличилась на 2,2°C (с -26,5°C до -24,3°C).

В Северной Якутии на станции Тикси температура в тёплый сезон увеличилась на 0,9°C (с 2,5°C до 3,4°C), в холодный – на 0,8°C (с -24,3°C до -23,5°C). В городе Чокурдах также незначительное повышение температуры в тёплый сезон на 0,7°C (с 3,5°C до 4,2°C), а в холодный на 1,9°C (с -27 до -25,1°C). Такие изменения и по станции Черский в тёплый сезон на 0,7°C (с 6,6°C до 7,4°C), а в холодный на 1,9°C (с -24,6 до -22,7°C). В среднем изменение температуры в тёплый сезон составили 0,8°C, в холодный – 1,5°C.

В Южной Якутии в теплое полугодие наблюдается также незначительное увеличение температуры на 0,1°C (с 12,3 до 12,4°C) по станции Олекминск и на 0,3°C (с 10,1 до 10,4°C)

в городе Нерюнгри. А в холодный изменения более заметные на 1,2°C (с 19,7 по 18,5°C) по станции Олекминск и на 2,9°C (с -22,0°C до -19,1°C) в городе Нерюнгри. В среднем изменение температуры в Южной Якутии в тёплый сезон составили 0,2°C, в холодный – 2,1°C.

Таблица 1 – Средние температуры для холодного и тёплого сезонов на станциях республики Саха в десятилетние периоды

Период, год	Центральная Якутия		Северная Якутия					
	Якутия		Тикси		Чокурдах		Черский	
	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон
1931-1940	12.6	-25.1	3.7	-23.1				
1941-1950	12.3	-26.9	1.6	-23.9				
1951-1960	12.6	-26.5	2.7	-24.7	3.7	-26.9	6.7	-24.0
1961-1970	11.9	-27.4	2.3	-24.7	3.4	-27.3	6.6	-24.8
1971-1980	12.2	-26.0	2.3	-24.9	3.4	-27.0	6.5	-24.9
1981-1990	12.4	-25.1	2.6	-23.6	3.8	-25.8	6.5	-23.9
1991-2000	13.1	-24.5	3.0	-24.4	3.8	-26.3	6.7	-24.0
2001-2010	13.3	-23.7	3.7	-23.5	4.8	-24.9	8.6	-22.3
2011-2020	13.7	-22.2	4.3	-22.5	4.6	-23.7	7.7	-20.6
Период, год	Южная Якутия				Восточная Якутия			
	Олекминск		Нерюнгри		Усть-Нера		Усть-Мая	
	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон
1931-1940	13.0	-19.5					12.0	-24.0
1941-1950	12.6	-18.8	10.6	-22.3			12.2	-26.0
1951-1960	12.0	-20.4	10.2	-23.4	10.4	-30.4	11.8	-25.9
1961-1970	12.0	-19.7	9.7	-22.2	10.2	-32.1	11.8	-27.9
1971-1980	11.9	-19.9	10.1	-20.3	10.0	-30.9	12.1	-24.9
1981-1990	12.1	-18.5	10.1	-19.0	9.8	-31.0	12.2	-23.3
1991-2000	12.3	-18.6	10.4	-19.7	12.8	-27.1	12.6	-24.0
2001-2010	12.5	-18.7	10.0	-19.1	11.3	-29.0	13.1	-23.8
2011-2020	12.6	-18.0	11.2	-18.8	10.2	-29.8	13.3	-22.9

Таблица 2 – Средние температуры для холодного и тёплого сезонов на станциях восточной и западной Якутии в десятилетние периоды

Период, год	Восточная Якутия		Западная Якутия			
	Зырянка		Оленек		Ленск	
	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон	Тёплый сезон	Холодный сезон
1931-1940						
1941-1950	10.6	-23.0			11.8	-18.2
1951-1960	10.1	-24.6			12.6	-19.5
1961-1970	9.3	-26.4	7.2	-26.6	11.6	-18.1
1971-1980	9.4	-26.1	7.9	-26.3	12.6	-18.4
1981-1990	9.6	-25.1	7.1	-25.4	11.4	-17.4
1991-2000	9.8	-25.5	7.3	-25.3	11.7	-17.6
2001-2010	10.8	-24.8	8.1	-24.5	12.1	-17.4
2011-2020	10.1	-23.4	9.5	-23.7	12.4	-16.5

На территории Восточной Якутии в теплый период в городе Усть-Нера изменение температуры воздуха – 0,5°C (от 10,3°C до 8,2°C), по станции Усть-Мая – 0,7°C (от 11,9°C до 12,7°C), по станции Зырянка – на 0,2°C (от 9,8°C до 10,0°C). В холодное полугодие Усть-Нера – на 1,7°C (от -31,2°C до -29,5°C), Усть-Мая – на 2,2°C (от 26,0°C до -23,8°C), Зырянка

– на 0,3°C (от -25,0°C до -24,7°C). Нерюнгри. В среднем изменение температуры по Восточной Якутии в тёплый сезон составили 0,5°C, в холодный 1,4°C.

В Западной Якутии в городе Оленек температура воздуха в тёплый сезон увеличилась на 0,9°C (от 7,4°C до 8,3°C), в холодный – на 1,6°C (от -26,1°C до -24,5°C); в городе Ленск – на 0,1°C (от 12°C до 12,1°C) в тёплый и на 1,2°C (от -18,3°C до -17,1°C) в холодный сезоны. В среднем изменение температуры в тёплый сезон на территории Западной Якутии составили 0,5°C, в холодный 1,4°C.

Распределение разницы температур на территории Якутии до и после потепления в теплый и холодный период показано на рисунке 2.

При этом отметим, что в целом самое теплое десятилетие на всей территории Якутии наблюдалось в последние года – с 2011 по 2020 гг. Исключение составляет станция Усть-Нера, здесь самые высокие температуры отмечались в период с 1991 по 2000 гг. А также по самым восточным станциям Чокурдах, Черский и Зырянка самые теплое полугодие пришлось на года с 2001 по 2010.

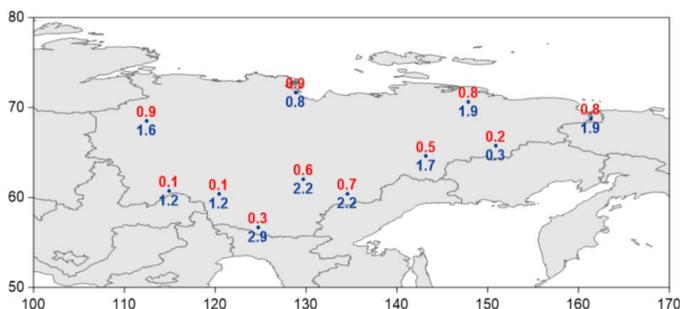


Рисунок 2 – Разница температур до и после потепления в теплый и холодный период

Делаем вывод, что в теплое время года существенных изменений в температурном режиме на территории Якутии не наблюдается и изменения большей частью коснулись арктических станций. Наибольшие разности температур между холодным и теплым периодами относятся к холодному полугодью, при этом значения существенно зависят от расположения станции. Наибольшие изменения отмечаются над южными территориями с наиболее континентальным климатом.

Такие отклонения температур от нормы определяются, в первую очередь, особенностями синоптических процессов, формирующихся над регионом. Поскольку потепление коснулось большей частью холодную половину года, рассмотрим некоторые типичные синоптические ситуации для зимнего периода.

Высокие температуры -5°C в г. Черский наблюдались 16 декабря 2010 года в 18ч UTC (рисунок 3). На рисунке 2 показана общая синоптическая ситуация. Как видно, с акватории Тихого океана на восточную и северо-восточную часть Якутии переносится тёплый и влажный воздух, скорость ветра около 6,7 м/с. Антициклон на восточной своей периферии захватывает тёплые воздушные массы с Тихого океана, обеспечивая высокие температуры воздуха в декабре. Область высокого давления расположена над территорией Северного Ледовитого океана, захватывает часть берегов Евразии и Тихого океана.

Ещё один интересный случай наблюдался 26 декабря 1996 г. (рисунок 3), тогда температура воздуха составила -9°C. Антициклон направляет воздушные массы с акватории Берингова и Чукотского морей. Такой воздух теплее, чем континентальный, за счёт чего температура воздуха в данном районе выше, чем в остальной Якутии.

3 января 1982 г. на станции Усть-Нера температура воздуха опускалась до -55°C (рисунок 4). Обширный антициклон расположен над всей территорией Сибири и дальнего

Востока. Малоградиентное поле высокого давления обеспечивает ясную, маловетреную погоду, а также низкие температуры в Восточной Якутии. Скорость ветра менее 1 м/с.

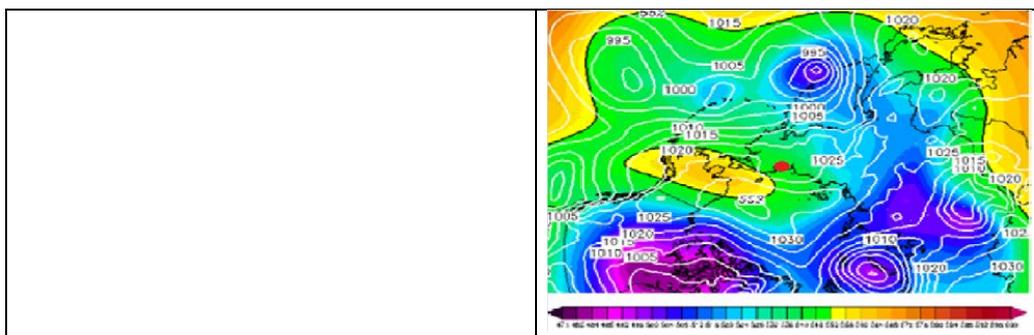


Рисунок 3 – Синоптические ситуации при высоких температурах в г. Черский 16.12.2010г. 18ч UTC (слева) и 26.12.1999г. (справа) [6]

5 декабря 1990 г. температура воздуха в г. Усть-Нера отмечалась  $-53^{\circ}\text{C}$  (рисунок 4). Усть-Нера оказалась в небольшой области высокого давления между обширным двухцентровым циклоном в районе Баренцева и Карского морей и ещё одним циклоном расположенным над Охотским морем. Несмотря на высокие скорости ветра, под влиянием Охотского циклона тёплый морской воздух не проникает на территорию Якутии из-за закрытости горными системами. Низкие скорости ветра у земли задерживают воздух над материком. Этими условиями создаётся ясная морозная погода с очень низкими температурами воздуха.

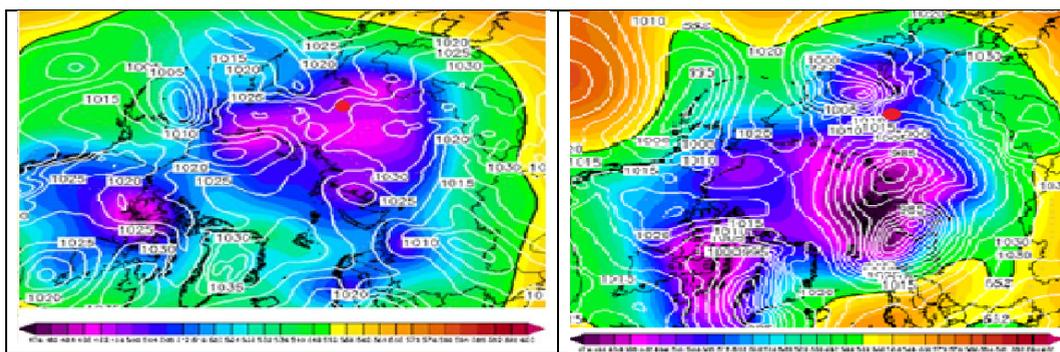


Рисунок 4 – Синоптические ситуации в г. Усть-Нера при низких температурах 03.01.1982г. (слева) и 5.12.1990г. (справа) [6]

При анализе синоптического положения выяснено, что:

1. Высокие температуры воздуха, не характерные резко континентальному климату, могут возникать при переносе тёплого морского воздуха с Тихого океана на территорию Якутии;
2. Низкие температуры могут возникать при условии, что территория находится под влиянием циклона в стадии заполнения холодным арктическим воздухом или при установившемся антициклоне с малыми скоростями ветра и сильным выхолаживаем территории.

По сделанным выше выводам о повышении температуры воздуха в холодное время года можно предположить, что повторяемость случаев, когда на территорию оказывают влияние теплые тихоокеанские воздушные массы, в последнее время увеличилась.

**Закключение.** В работе проанализирована короткопериодная изменчивость температуры воздуха по десятилетиям. Отмечено, что с 1970-х в центральной и восточной областях, с 1980-х в северной, западной и южной наблюдается увеличение средних температур воздуха. В теплое время года существенных изменений в температуре не наблюдается и изменения большей частью коснулись арктических станций. Изменения происходят преимущественно в холодное и над южными районами.

Полученные в работе теоретические и расчётные данные могут быть использованы для прогнозирования и дальнейшей оценки изменения температурного режима на территории региона.

### Список литературы

1. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии, 2005г. – Владивосток, ДВГУ, 523 с.
2. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов. – Л.: Гидрометеоздат, 1974, 584 с.
3. Хандошко Л. А. Региональные синоптические процессы. Ленинград, 1988, 103 с.
4. Архив данных National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA.– Режим доступа: <https://www.noaa.gov/>
5. Прогностические карты, реанализ. – Режим доступа: <https://www.wetterzentrale.de/>

## СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГОЛЬФСТРИМА И ЕГО СВЯЗЬ С АТМОСФЕРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Баранова В.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*kobyakova.vika01@mail.ru*

*Аннотация:* Рассмотрено изменение течения Гольфстрим с использованием индекса Гольфстрим-Северная стена (GSNW). Проанализировано изменение индекса за каждый месяц и среднегодовое. Выявлено изменение характеристик течения Гольфстрим за разные климатические периоды.  
*Ключевые слова:* изменение климата, течение Гольфстрим, северная стена.

## MODERN CHANGES IN THE GULFSTREAM AND ITS RELATIONSHIP WITH ATMOSPHERIC PROCESSES

Baranova V.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Abstract:* The change in the current of the Gulfstream is considered through the analysis of the Gulfstream index GSNW. The change of the index for each month and the average annual were analyzed. Changes in the characteristics of the Gulf Stream for different climatic periods are revealed.  
*Keywords:* climate change, Gulf Stream, northern wall

Гольфстрим — быстрое океанское течение. Изучение характеристики течения Гольфстрим имеет важное значение для понимания происходящих изменений в глобальном планетарном климате. Это течение обеспечивает умеренную температуру на огромных территориях восточного побережья Северной Америки, Западной Европы, Северо-Западной Африки и других прибрежных районов. Гольфстрим берёт начало в экваториальной зоне океана неподалёку от Багамских островов. Предшествующее Гольфстриму Юкатанское течение проходит мимо побережья Кубы в Мексиканский залив и возле Багамских островов соединяется с Антильским течением. Именно в этот момент на свет появляется Гольфстрим [1].

Необходимость изучения течения Гольфстрим определяется следующими факторами

- играет ключевую роль в переносе массы и тепла из низких широт на север;
- оказывает существенное влияние на климатические условия Атлантико-Европейского и Арктического регионов;
- влияет на положение районов с высокой биологической продуктивностью, привязанных к фронтальным зонам;
- является сложным для исследования объектом;
- путь Гольфстрима трудно предсказывается даже с помощью самых современных моделей циркуляции.

Температура воды в Гольфстриме наиболее высокая вблизи побережья северо-восточной части Южной Америки и в центре Атлантического океана. Температура понижается, когда Гольфстрим уходит на север в сторону северо-востока Северной Америки, где более тесно встречается с холодным течением Лабрадор.

Процессы, происходящие в атмосфере, возникают и развиваются в основном в результате превращений энергии, поступающей к ней от Солнца. В атмосфере постоянно происходит преобразование лучистой энергии; круговорот тепла, влаги и различных примесей; развиваются оптические, электрические и многие другие явления. Так как атмосфера находится в постоянном взаимодействии с поверхностью Земли, при изучении процессов, происходящих в ней, учитывается также влияние географических факторов – характера поверхности, особенностей рельефа и т. д. Между подстилающей поверхностью и атмосферой происходит непрерывный круговорот воды. Так как все процессы, происходящие в атмосфере и океанах, тесно связаны между собой, можно сделать вывод, что непрерывную цепочку океан-атмосфера важно изучать, чтобы понять, что происходит в целом на Земле

Для исследования изменения теплого течения Гольфстрим был использован индекс Гольфстрима GSNW (Gulfstream North Wall), который характеризует положение северной границы течения и косвенно отражает его мощность. Индекс высчитывают с помощью корреляции шести долгот с 79 по 85, где течение имеет наиболее низкую температуру. На этих долготах высчитывается широта северной стены. Индекс является мерой изменения в крупномасштабных океанических течениях [2].

В исследовании были рассмотрены изменения индекса Гольфстрима за каждый месяц с 1966 до 2022 год и проанализирован его временной ход. Временной ход индекса за январь и февраль представлены на рисунке 1.

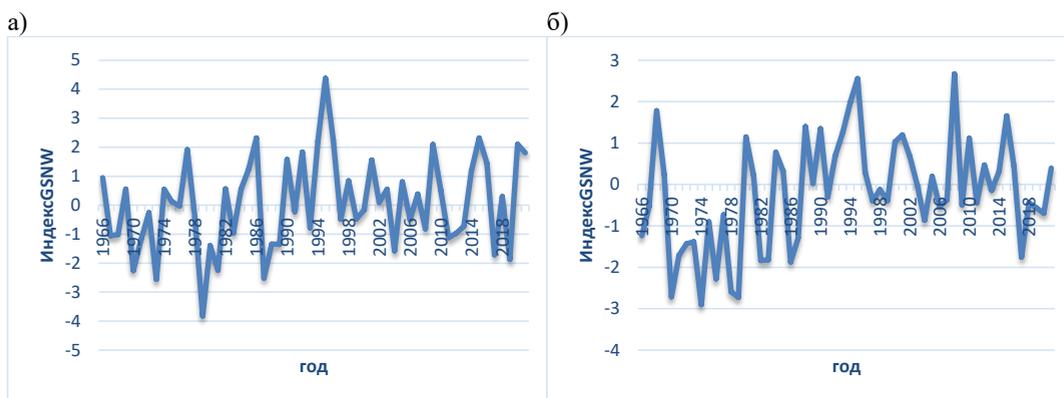


Рисунок 1 – Временной ход индекса GSNW за январь (а) и февраль (б)

В январе на протяжении 57 лет индекс GSNW имел небольшую амплитуду, самое большое отрицательное значение наблюдалось в 1979 году (-3.82), а максимум был

зафиксирован в 1995 году (4,38). Начиная с конца 1990-х годов, индекс изменялся незначительно и за последние 20 лет его значение варьировалось от -2 до 2.

Во временном ходе индекса GSNW в феврале прослеживается колебание – индекс резко начал убывать в 1969 году и стал положительным значение лишь в 1979 году. Начиная с 1987 года, индекс оставался положительным вплоть до 2004 года, где он составил -0,86. В последние годы индекс принимал и отрицательные и положительные значения. По сравнению с январем за последние годы индекс чаще принимал положительные значения, и стал отрицательным лишь в 2017г. Во временном ходе февральского индекса GSNW прослеживается колебание с периодом примерно 60 лет, хотя в начале 2000х годов наблюдалась несколько лет с отрицательными значениями индекса.

Для выявления климатических изменений весь рассматриваемый период (1966-2015) был разделён на два: 1966-1990 (предполагается, что в этот период нет изменения климата) и 1991-2015 гг. (период с ярко выраженным изменением климата). Для каждого периода были рассчитаны средние значения индекса и его дисперсия (рисунок 2).

По временному ходу среднего значения индекса GSNW за период 1966-1990 видно, что только в одном месяце (октябрь) значение индекса положительные. При этом модуль минимального значения значительно больше модуля максимального (положительного) значения. Максимум среднего значения зафиксирован в октябре и составил 0,1116, минимум зафиксирован в феврале и составил -0,8252. Оба средних значений не на много больше нуля.

На кривой среднего значения индекса GSNW за период 1991-2015 г. чётко прослеживается совсем другое поведение индекса – все значения, кроме апрельского, положительные. Величина модулей значений примерно такая же, как в предыдущий временной отрезок. Максимум среднего значения зафиксирован в декабре 0,82, а минимум в апреле -0,2. Данная половина временного ряда имеет более резкий ход с несколькими скачками на убывание по сравнению с первой половиной временного ряда.

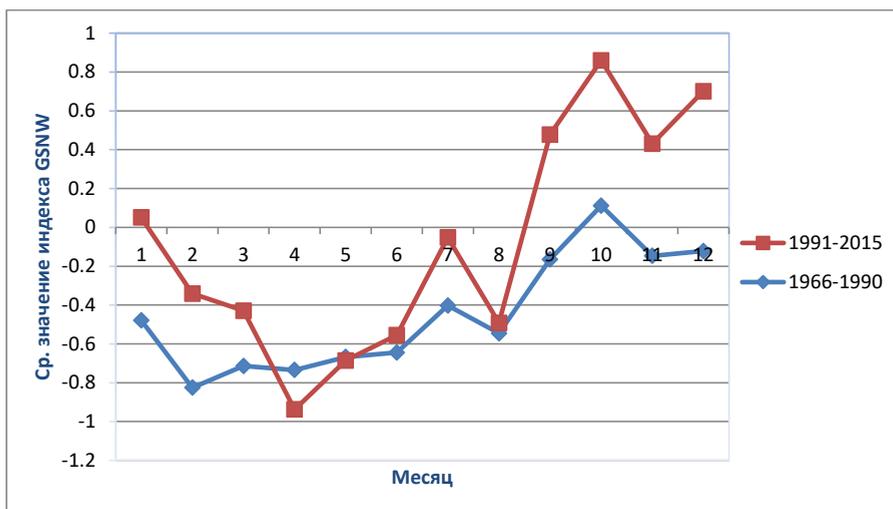


Рисунок 2 – среднегодовые значения индекса GSNW в два климатических периода а- 1966-1990, б – 1991-2015

Ход дисперсии индекса GSNW в 1966-1990г. был неравномерным, с резкими перепадами значений весной и летом. Максимум дисперсии зафиксирован в августе 3,2, минимум был зафиксирован в декабре и составил 2,04.

На кривой дисперсии индекса GSNW за 1991-2015г. можно заметить убывание значений с января по февраль и затем рост значений до августа, где отмечается максимум (4,23). С августа можем наблюдать падение значений до сентября, после чего амплитуда

значений дисперсии не превышала значения 0,1 в течение 3 месяцев. С ноября по декабрь замечен рост значений. Минимум дисперсии зафиксирован в феврале и составил 0,97.

Различия дисперсий за два периода меньше, чем средних значений – максимальное значение дисперсии в августе (3.1 в первый период и 4.2 во второй), значительно возросла дисперсия индекса в декабре.

Проведённое исследование позволяет говорить о значительном изменении характеристик течения Гольфстрим в последние десятилетия.

### Список литературы

1. *Малинин В.Н.* Гольфстрим и климат Европы // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2012. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/golfstrim-i-klimat-evropy> (дата обращения: 28.03.2023).
2. *Seidov Dan, Mishonov A., Reagan J., Parsons R.* Resilience of the Gulf Stream path on decadal and longer timescales// Scientific Reports.–2019, 9–p.41598-019-48011-9.

## СЕЗОННЫЙ ХОД ВЫСОТЫ ТРОПОПАУЗЫ НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ

Бикбулатов Б.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*bikbulatov.bogdan1@gmail.com*

*Аннотация.* Оценивается сезонный ход высоты тропопаузы на разных широтах с применением эмпирических данных, полученных при радиозондировании атмосферы, и данных взятых из реанализа MERRA-2.

*Ключевые слова.* Высота тропопаузы, радиозондирование, реанализ.

## SEASONAL COURSE OF TROPOPAUSE ALTITUDE AT DIFFERENT LATITUDES

Bikbulatov B.A

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The interseasonal variability of the tropopause height at different latitudes is estimated using empirical data obtained from atmospheric radiosonde measurements and MERRA-2 reanalysis data.

*Keywords.* Tropopause height, radiosonde measurements, reanalysis.

Определение высоты тропопаузы является важной задачей современной метеорологии. При полетах на больших высотах, такие неблагоприятные явления, как плохая видимость, турбулентность, вершины кучевых облаков и др. тесно связаны с тропопаузой, поэтому обнаружение ее нижней границы крайне необходимо. Помимо авиационной метеорологии высота тропопаузы важна в климатологии. По изменению ее высоты в течение длительного времени можно судить об изменениях климата конкретного пункта или целого региона [1].

Прежде чем приступить к анализу высоты тропопаузы, нужно определиться, что она собой представляет. Тропопауза – это переходный слой между тропосферой и стратосферой, в котором вертикальный градиент температуры начинает падать с высотой. Согласно ВМО, за её нижнюю границу принимается высота, на которой вертикальный градиент температуры падает до 0,2 °С/100 м (или ниже) и среднее значение этого параметра в вышележащем слое толщиной 2 км не превышает 2 °С/км. Основными факторами, влияющими на ее высоту, являются: широта места, время года и суток, барическая система и прохождение атмосферных фронтов.

В рамках данного исследования были выбраны три метеорологические станции в городах Топика (39°02' с. ш. 95°41' з. д.), Санкт-Петербург (59°57' с. ш. 30°19' в. д.) и Черский (68°45'06" с. ш. 161°19'47" в. д.), соответственно относящиеся к субтропическому, умеренному и полярному климатическим поясам. Для каждой станции в период с 1 сентября

2021 года по 31 мая 2022 года скачивались данные радиозондирования за срок 00ч UTC и высчитывался температурный градиент между каждыми соседними изобарическими поверхностями в телеграмме. Точка, выше которой вертикальный градиент температуры начинал удовлетворять требованиям ВМО, считалась нижней границей тропопаузы. Результаты наблюдений представлены на рисунке 1.

Из графиков можно увидеть, что амплитуда высоты тропопаузы тем больше, чем ближе к экватору находится пункт наблюдения. Для Топики, за исследуемый период времени, наибольшие значения высоты приходятся на осень, а наименьшие на зиму, максимальное значение наблюдается 19 сентября – 16580 м, а минимальное 18 февраля – 7408 м, таким образом, мы наблюдаем размах в 9172 м. Весной тренд высоты тропопаузы начинает расти. Средняя высота по выборке равняется 12566 м.

В Санкт-Петербурге обнаруживается схожий с Топикой тренд высоты тропопаузы – осенью высота максимальна, а зимой минимальна, весной начинает расти. Только теперь этот тренд более сглажен из-за меньших амплитуд высоты. Максимальное значение отмечается 30 октября – 13246 м, а минимальное 6 января 6681 м, размах составляет 6565 м. Средняя высота по выборке 9775 м.

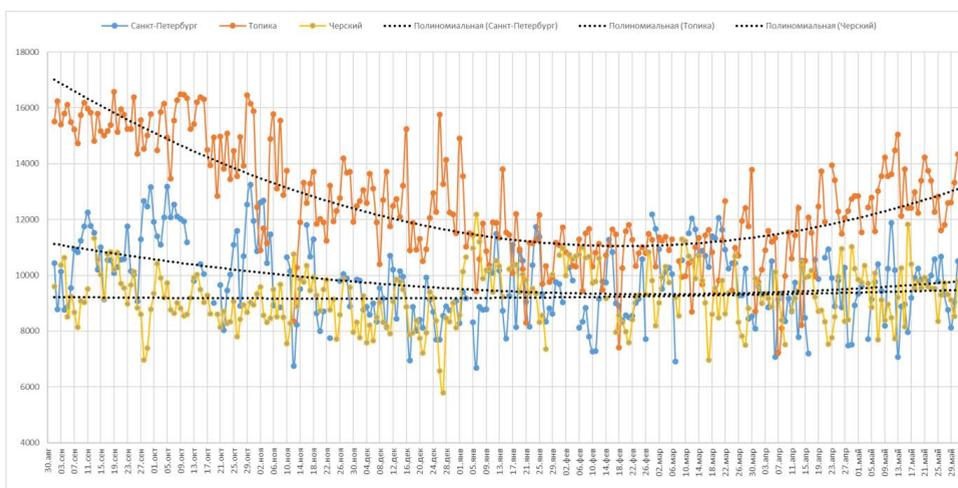


Рисунок 7 – Графики временного хода высоты тропопаузы на трех станциях

Интересна ситуация на станции в поселке Черский. Тренд высоты тропопаузы ровный, почти независимый от смены времен года, наблюдается лишь небольшой рост тренда весной, поэтому сложно сказать в какое время года высота тропопаузы будет выше. В отличие от предыдущих случаев максимальное и минимальное значение наблюдаются зимой, соответственно 6 января – 12174 м и 27 декабря 5798 м.

Если минимальные значения высоты тропопаузы в зимний период можно объяснить понятными причинами в виде пониженных температур, то случай, произошедший 6 января в Черском кажется неправдоподобным. Однако, рассмотрев синоптическую ситуацию, можно убедиться в том, что этому имеет разумное объяснение. На рисунке 2 предоставлены данные с сайта [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de), на которых изображена геопотенциальная высота на изобарической поверхности 500 гПа в период с 3 по 6 января 2022 года.

Из рисунка можно увидеть, что 3 января 2022 года над севером Тихого океана в средней тропосфере наблюдался волнообразный изгиб ВФЗ (высотный гребень), который сформировал на данной высоте узконаправленное вторжение тропического воздуха над исследуемым регионом. У земли ему соответствовала западная периферия антициклона. В дальнейшем, в зоне высотного гребня, над Чукоткой сформировался обособленный очаг

повышенного давления, который и привел, по моему мнению, к повышению высоты тропопаузы.

Также к нетипичным ситуациям можно отнести внезапное опущение высоты тропопаузы 12 ноября 2021 года в г. Топика. Оно было связано с вторжением холодного полярного воздуха в средние и субтропические широты США. На рисунке 3 представлена синоптическая карта за 12 ноября 2021 года в срок 00ч UTC, построенная по данным реанализа MERRA2 на изобарической поверхности 500 гПа (источник <https://fluid.nccs.nasa.gov>). Красным треугольником обозначен пункт наблюдения. Как можно увидеть, Топика находится в зоне повышенных значений вихря Эртеля с примерным значением на данной изобарической поверхности 2 rvi. Вероятнее всего в этой области наблюдается складка тропопаузы, поэтому и происходит ее опущение.

Как отмечено выше, для оценки высоты тропопаузы так же целесообразно пользоваться изэнтропическим анализом и понятием о динамической тропопаузе. Физический смысл тропопаузы состоит в том, что она является поверхностью раздела между тропосферой и стратосферой, разница которых заключается не только в изменении температурного градиента, но и химического состава, а так же порядком потенциальной завихренности (PV) вихря Эртеля, для которого принята международная классификация:

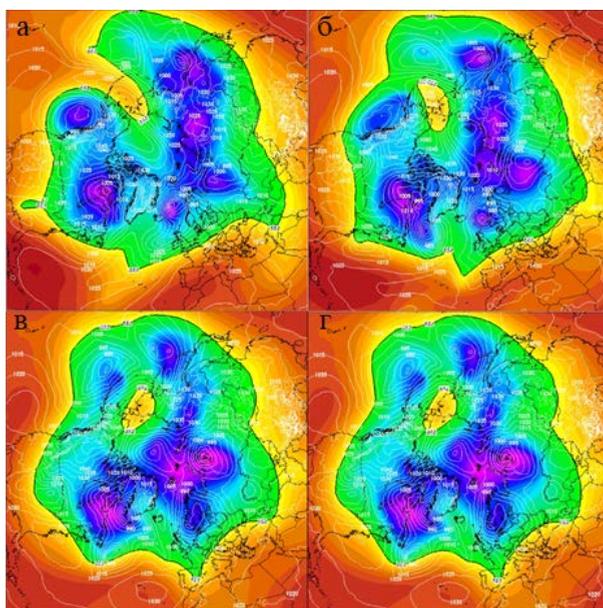


Рисунок 2 – Геопотенциальная высота на изобарической поверхности 500гПа (а – 3 января, б – 4 января, в – 5 января, г – 6 января)

$$pvi = 10^{-6} \frac{m^2 K}{kg \cdot c} \quad (1)$$

Таким образом, в тропосфере PV имеет порядок 0,3–0,6 rvi, а в стратосфере порядок 10 rvi и растет с высотой до нескольких десятков rvi [2].



Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2)  
500 hPa Abs Potential Vorticity [PVU], Heights [dam]

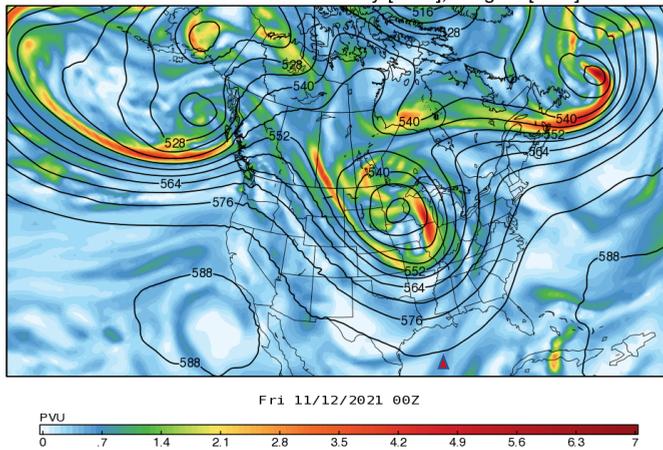


Рисунок 3 – Синоптическая карта по данным реанализа MERRA2 за 12.11.2021 00ч UTC

В работах отечественных и зарубежных ученых было определено, что значения PV в пределах от 3,5 рvu до 4,5 рvu максимально близко соответствуют положению термической тропопаузы в зависимости от широты и времени года [3-5]. В работе анализировалась изменчивость высоты тропопаузы для трех пунктов с учетом понятия о динамической тропопаузе. С помощью данных реанализа MERRA2 были построены графики временного хода высот изэнтропических поверхностей 3,5 и 4 рvu, также было проведено сравнение их с эмпирически определенной термической тропопаузой. На рисунках 4 и 5 приведены графики временного хода высоты тропопаузы по данным эмпирических наблюдений термической тропопаузы и данным реанализа на поверхности 4 рvu в период с 01.09.2021 по 25.12.2021 для станции Черский. Поверхность 4 рvu по данным реанализа MERRA2 достаточно хорошо описывает временной ход высоты тропопаузы для станции Черский в это время года.



Рисунок 4 – Временной ход высоты тропопаузы по эмпирическим наблюдениям с привязкой к давлению

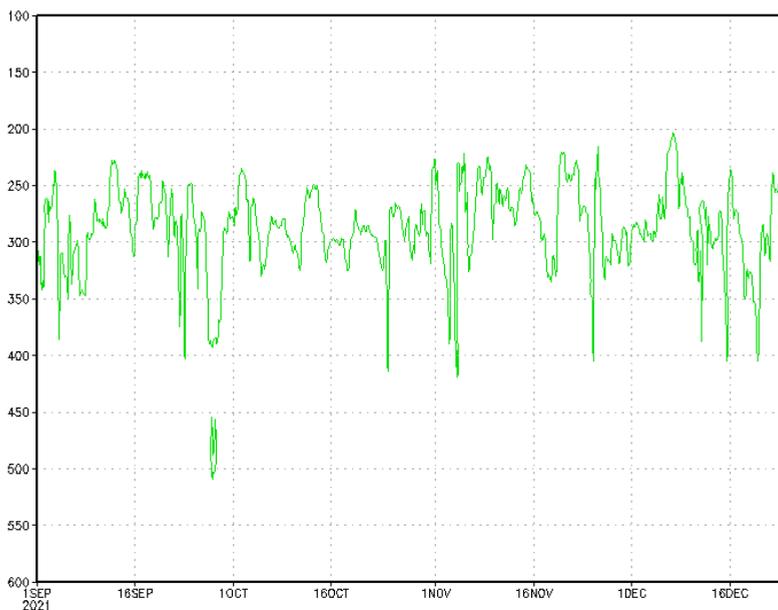


Рисунок 5 – Временной ход высоты тропопазы по данным реанализа на поверхности 4 рви

Высота тропопазы является динамически меняющейся величиной, как в пространстве, так и во времени. В субтропических широтах наблюдается более интенсивное изменение высоты тропопазы в ее годовом ходе, в отличие от более высоких широт, где ее годовой ход не так ярко выражен, но это и доказывает ее изменчивость по пространству.

#### Список литературы

1. Пчелко И.Г. Метеорологические условия полетов на больших высотах
2. Шакина Н.П. Лекции по динамической метеорологии. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2013. – 160 с
3. Борисова В.В., Шакина Н.П. Использование потенциального вихря Эртеля для расчета высоты и температуры тропопазы // Труды Гидрометцентра СССР. 1989. Вып. 305. С. 98–117.
4. Hoinka K.P. Statistics of the global tropopause pressure // Mon. Weather Rev. 1998, V. 126. P. 3303–3325
5. Pedro Mateus, Virgilio B. Mendes and Carlos A.L. Pires Global Empirical Models for Tropopause Height Determination

#### КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМИ ГАЗАМИ И PM<sub>2.5</sub> В ПРИБРЕЖНЫХ И ВНУТРИМАТЕРИКОВЫХ ГОРОДАХ ПРОВИНЦИИ КАНВОНДО, ЮЖНАЯ КОРЕЯ

Габидуллина С.В., Мханна А.И.Н.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
sveta1j64@gmail.com

*Аннотация:* рассматривается корреляции между PM<sub>2.5</sub> и SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO в наслённых пунктах в прибрежных и внутриматериковых территориях провинции Канвондо, Южная Корея.

*Ключевые слова.* PM<sub>2.5</sub>, Южная Корея, качество воздуха.

# CORRELATION BETWEEN MAJOR POLLUTANT GASES AND PM2.5 IN COASTAL AND INLAND CITIES GANGWON-DO, SOUTH KOREA

Gabidullina S.V., A.I.N. Mkhanna

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Abstract:* Correlations between PM2.5 and SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO in settlements in the coastal and inland areas of Gangwon-do, South Korea.

*Keyword.* PM2.5, South Korea, air quality.

Многие страны в том числе и Южная Корея стремятся сократить концентрации частиц PM2.5 в атмосфере своих городов, так как они опасны для здоровья граждан. PM2.5 были отнесены Всемирной организацией здравоохранения к канцерогенам группы 1, вызывающим респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, загрязнение атмосферного воздуха стало причиной 359 преждевременных смертей на миллион человек в 2010 году в Южной Корее [1]. По оценке Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), отнесенный в провинции Канвондо также наблюдаются высокие концентрации PM2.5. Таким образом, знание особенностей формирования PM2.5 на территории провинции Канвондо для различных районов ее рельефа будет полезно для тех, кто разрабатывает методики сокращения выбросов для этой территории.

Провинция Канвондо (Gangwon) находится в зоне действия антициклона с 07.11.2022-10.11.2022, также осадков в этот промежуток не наблюдалось. Измерения проводились каждый час с 07.11.22 в 24ч. Данные о содержании основных загрязняющих веществ на территории провинции Канвондо за 3 дня получены с сайта <https://www.airkorea.or.kr/web/>.

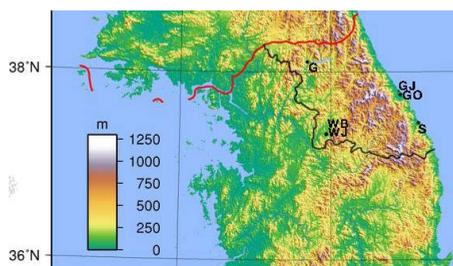


Рисунок 1 – Провинция Канвондо и исследуемые города на топографической карте

Стоит отметить, что на всех исследуемых станциях основным загрязнителем является PM2.5, как и на территории всей Южной Корее, что можно объяснить механизмом переноса этой фракции из Китая, наибольшее влияние этого механизма происходит в зимние и весенние месяцы [2]. В срок данных этой статьи соответствует началу сезона зимних муссонов, которые осуществляют перенос частиц с стороны Китая. В Таблице 1 приведены результаты расчетов корреляции. Полужирным шрифтом в таблице выделены значимые коэффициенты.

Таблица 1. Корреляция между pm2.5 и основными загрязняющими газами

Гор.	медианы за период						pm2.5/ pm10	R			
	SO <sub>2</sub> , мкг\м <sup>3</sup>	CO мкг\м <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> мкг\м <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> мкг\м <sup>3</sup>	pm 10 мкг\м <sup>3</sup>	pm 2.5 мкг\м <sup>3</sup>		SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
<b>GJ</b>	5	464	80	13	44	23	0,69	<b>0,323</b>	<b>0,549</b>	0,005	0,223
<b>GO</b>	8	581	80	19	45	31	0,71	<b>-0,286</b>	0,239	0,199	-0,084

<b>S</b>	8	464	80	114	28	21	0,72	0,082	<b>0,319</b>	0,082	-0,006
<b>G</b>	8	464	40	19	55	36	0,69	0,241	0,278	<b>0,700</b>	-0,319
<b>WB</b>	11	692	20	57	71	50	0,71	<b>0,567</b>	<b>0,670</b>	<b>-0,309</b>	<b>0,337</b>
<b>WJ</b>	11	692	20	57	62	39	0,69	0,241	<b>0,278</b>	<b>0,700</b>	<b>-0,319</b>

Не значимые корреляционные коэффициенты между  $PM_{2,5}$  и  $SO_2$ ,  $NO_2$  в G связаны с очень небольшой концентрацией этих газов, что можно объяснить их малой индустриализацией населенного пункта. В городе G наблюдается необычно высокие концентрации  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ . Слабый суточный ход  $PM_{2,5}$ , несмотря на выраженную суточную зависимость атмосферных газов может также указывать на влияние пространственного переноса  $PM_{2,5}$  от других источников рис.2(a,b). Значимый и достаточно высокий коэффициент  $r(PM_{2,5}\sim O_3)$  может говорить о том, что происходит реакция в загрязненном воздухе с участием  $NO_x$  и летучих органических соединениях VOCs [3].

На исследуемых станциях в крупном городе Вонжу наблюдается значительный уровень загрязнения твердыми частицами. Так же можно заметить, что  $PM_{2,5}/PM_{10}$  больше в густонаселенном WB, что указывает на большее влияние антропогенных факторов [4,5]. Тут также более высокое содержание  $PM_{2,5}$  и более выраженный суточный ход загрязняющих веществ. Значимые коэффициенты корреляции между  $PM_{2,5}$  и  $SO_2$ ,  $CO$ . В то время как в районе WJ концентрация  $PM_{2,5}$  меньше, однако коэффициент  $r(PM_{2,5}\sim O_3)$  очень высок, также согласно рис.3(c) наблюдается более высокое содержание  $NO_2$  в WJ чем в WB и высокий  $r(NO_2\sim O_3) = -0.55$ , что может говорить о реакциях с  $NO_x$  в атмосфере с производством  $O_3$  [3], которые могли скопиться именно в этой части города [6].

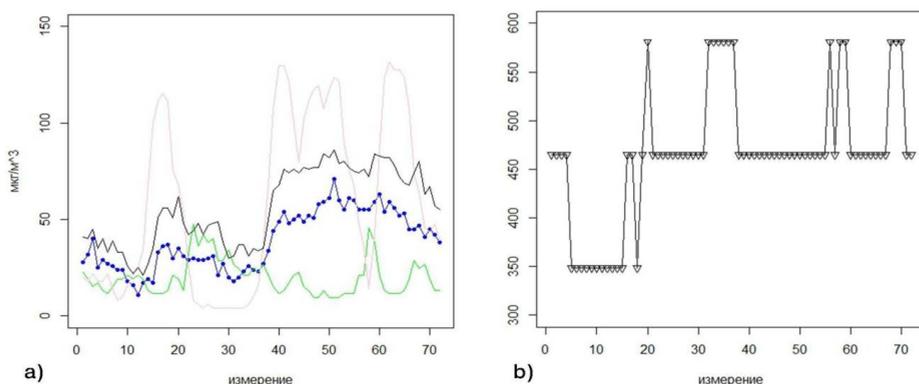


Рисунок 2 – а) Временное распределение загрязняющих веществ в G; б) Временное распределение CO в G

Во всех городах Прибрежной зоны выраженного суточного хода загрязняющих веществ нет, ветер в наблюдаемый период времени на этих территориях западный или северо-западный штиль или 2-4 м/с. Концентрации  $O_3$  в маленьком городе S больше чем в крупных городах горного сектора средние значения этого газа в S, WB равны соответственно 0.043, 0.023. Можно предположить, что это связано с активными реакциями с участием  $NO_x$  и VOCs. У побережий еще существует DOC [7], что тоже может оказывать влияние на рост концентрации  $O_3$ . Также высокое значение  $PM_{2,5}/PM_{10}$  в S может говорить о переносе частиц  $PM_{2,5}$  с других территорий так прибрежных городах Кореи фиксируют самые высокие значения  $PM_{2,5}$  в стране, что связывают с влиянием муссонов [8]. Коэффициенты корреляции между газами и аэрозолями не значимы или очень малы для S, что может объясниться небольшим размером и малой индустриализацией города.

Район GO характеризуется большей концентрацией частиц PM обеих фракций и основных загрязняющих газов. Коэффициенты корреляции получились небольшие для всех

газов, за исключением CO в GJ. В этом районе, следуя из рисунка 9(a), наблюдается сопоставление NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub>, а также CO, что может говорить об локальных источниках загрязнения, таких как промышленные предприятия, находящиеся тут. GO будучи густонаселенным районом, всё таки не имеет интенсивного автомобильного трафика и загрязняющих предприятий – поэтому имеет небольшую корреляцию среди величин, при более высоком загрязнении чем в GJ. Отрицательное GO  $r(\text{PM}_{2.5}\sim\text{SO}_2)$  можно было бы объяснить механизмом образования сульфатов [9], однако коэффициент имеет небольшое значение по модулю и на рис. 9 (с). Стоит отметить, что  $r(\text{PM}_{2.5}\sim\text{SO}_2)$  в GJ значим и подтверждается графиками на рис. 9 (а), но по модулю так же не высокий. В GO и GJ наблюдается хорошая корреляция PM2.5 и PM10 в отличие от S, что говорит о большем вкладе антропогенных источников в Каньоне.

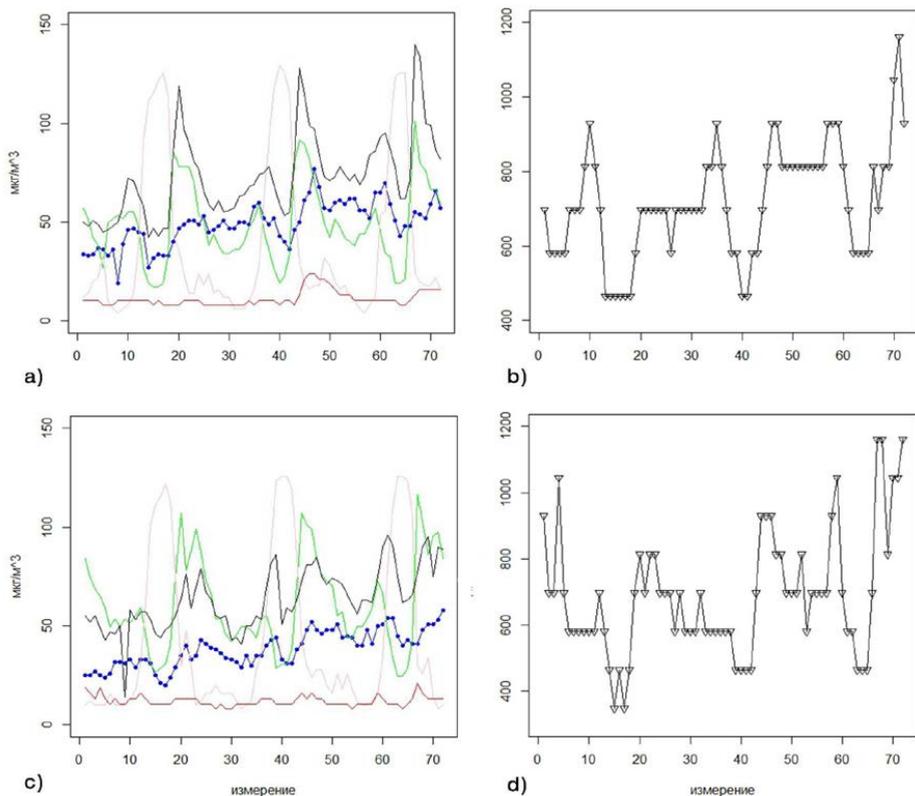


Рисунок 3 – а) Временное распределение загрязняющих веществ в WB; б) Временное распределение CO в WB; в) Временное распределение загрязняющих веществ в WJ; д) Временное распределение CO в WJ (зелёный – NO<sub>2</sub>, синий – PM<sub>2.5</sub>, чёрный – PM<sub>1.0</sub>, красный – SO<sub>2</sub>, розовый – O<sub>2</sub>, треугольники – CO)

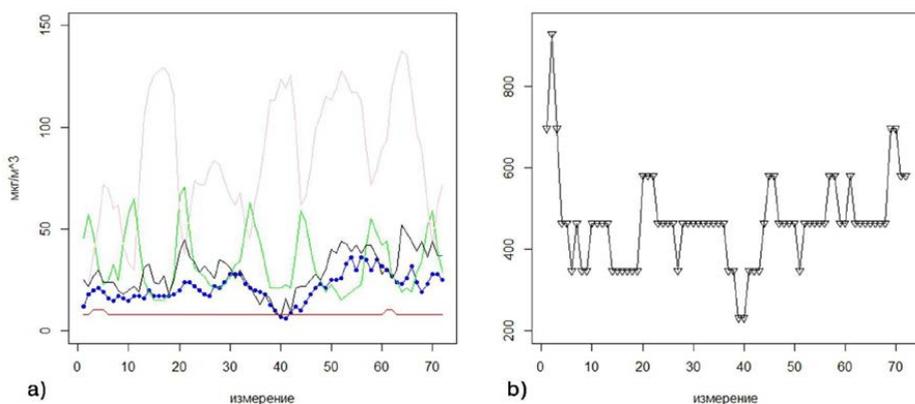


Рисунок 7 – а) Временное распределение загрязняющих веществ в S; б) Временное распределение CO в S

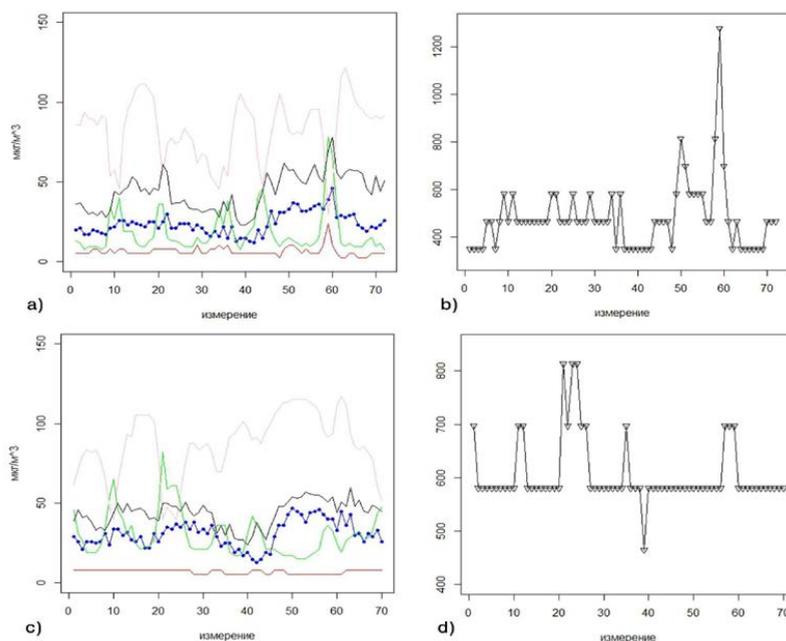


Рисунок 9. а) Временное распределение загрязняющих веществ в GJ; б) Временное распределение CO в GJ; с) Временное распределение загрязняющих веществ в GO; д) Временное распределение CO в GO

**Вывод.** В прибрежных зонах провинции Канвондо не наблюдается заметного суточного хода загрязняющих веществ, но можно выделить значительные флуктуации концентрации, чего не наблюдалось в малонаселенных населенных пунктах горной зоны. Города горной зоны характеризуются наличием более выраженного суточного хода. Стоит отдельно выделить суточный ход  $O_3$ , который на побережьях не выражен совсем, в отличие от станций горного пояса.

#### Список литературы

1. <https://www.oecd.org/env/air-pollution-to-cause-6-9-million-premature-deaths-and-cost-1-gdp-by-2060.htm>
2. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118542>

3. [https://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview\\_o3.htm](https://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview_o3.htm)
4. Chan C. K., Yao X. "Air pollution in mega cities in China," Atmospheric Environment, vol. 42, no. 1, pp. 1–42, 2008 <https://doi.org/10.1155/2019/5295726>
5. Yue D. L. Hu M., Wuetal Z. J. "Variation of particle number size distributions and chemical compositions at the urban and downwind regional sites in the Pearl River Delta during summertime pollution episodes," Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 10, no. 19, pp. 9431–9439, 2010.
6. Dynamics of PM2.5 concentrations in Kathmandu Valley, Nepal. Rupak Aryal, Byeong-Kyu Lee, Rahul Karki, Dr. Anup Gurung. 2009
7. Xue Ding, Jianhua Qi, Xiangbin Meng Characteristics and sources of organic carbon in coastal and marine atmospheric particulates over East China. Atmospheric Research vol. 228, pp 281-291
8. Contributions of international sources to PM2.5 in South Korea <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118542>
9. Song C. H., Carmichael G. R. A three-dimensional modeling investigation of the evolution processes of dust and sea-salt particles in east Asia, J. Geophys. Res., 2001, 106(D16), 18,131

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Ганеватте В.П., Абанников В.Н., Подгайский Э.В.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург  
[190004@stud.rshu.ru](mailto:190004@stud.rshu.ru)

*Аннотация:* Основной сельскохозяйственной культурой выращиваемой на территории Ленинградской области является клубневая овощная культура - картофель. Стабильная урожайность картофеля зависит от сорта и методов выращивания, а также от условий окружающей среды, включая почвенные характеристики, температуру воздуха, количество осадков, освещенность и температуру почвы. В статье анализируется влияние агрометеорологических условий (температура и увлажнение почвы) на урожайность картофеля за период с 2000 г. по 2013 г. Основываясь на результатах исследования, можно определить подходящие почвенные агрометеорологические условия для выращивания картофеля. Это поможет в определении оптимальных сроков посадки картошки и в размещении картофельных участков с учетом температурного режима почвы.

*Ключевые слова:* Сельское хозяйство, Агрометеорологические характеристики, Урожайность картофеля и овощей, Устойчивость урожая, Ленинградская область, Статистические модели.

## **ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SOIL TEMPERATURE ON POTATO YIELD IN THE LENINGRAD REGION**

Ganewatte V.P., Abannikov V.N., Podgaiskii E.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation:* The main agricultural crop grown on the territory of the Leningrad region is a tuberous vegetable crop - potatoes. Stable potato yields depend on the variety and methods of cultivation, as well as on environmental conditions, including soil characteristics, air temperature, precipitation, light and soil temperature. The article analyses the influence of agrometeorological conditions (temperature and soil moisture) on potato yield for the period from 2000 to 2013. Based on the results of the study, it is possible to determine suitable soil agrometeorological conditions for growing potatoes. This will help in determining the optimal timing of planting potatoes and in the placement of potato plots, taking into account the temperature regime of the soil.

*Keywords:* Agriculture, Agrometeorological characteristics, Potato and vegetable yields, Crop stability, Leningrad region, Statistical models.

Введение. Россия занимает третье место по объему производства картофеля в мире

после Китая и Индии. Западные регионы России являются основными районами производства картофеля, включая и Ленинградскую область [8]. Температура почвы играет важную роль в процессах, происходящих в растениях, включая поглощение питательных веществ и воды, ветвление и на развитие корневой системы [2]. Результаты исследования можно использовать для обеспечения устойчивого производства картофеля в Ленинградской области. Конкретной целью данного исследования является оценка степени влияния почвенных агрометеорологических характеристик на урожайность картофеля в Ленинградской области.

Материалы и методы. Данные об урожайности картофеля в Ленинградской области с 2000 по 2013 год, получены с официального сайта Федеральной службой государственной статистики Российской Федерации [4]. Основные метеорологические данные о температуре почвы на глубине 20 см и о количестве осадков на метеостанции Санкт-Петербурга были взяты с сайта Всероссийского научного института гидрометеорологической информации - Всемирный центр обработки данных (ВНИИГМИ) [3]. Для анализа большого объема фактических гидрометеорологических данных за 13 лет использовались методы визуализации данных и статистического анализа, а также расчетные методы по определению агрометеорологических характеристик.

Результаты и обсуждение. За исследуемый период наблюдается устойчивый рост урожайности картофеля, чему способствовали значительные инвестиции в сельское хозяйство [7]. Но снижение урожайности в отдельные годы, на фоне устойчивого роста, свидетельствует о том, что урожайность сельскохозяйственных культур не всегда определяется объемами инвестиций. Снижение урожайности картофеля наблюдались в 2000 и 2004 гг. Максимальное значение было зафиксировано в 2013 году.

В 2006 году Российская Федерация приняла правительственный закон о развитии сельского хозяйства. В качестве перспективных программ были определены: повышение конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции и российских сельхозпроизводителей и улучшение качества сельскохозяйственной продукции, сохранение и воспроизводство природных ресурсов, используемых для сельскохозяйственного производства, развитие инфраструктуры агропромышленного рынка и создание благоприятного инвестиционного климата и т.д. [6].

Для большинства сортов картофеля будущая урожайность носит неопределенный характер, т.к. на урожайность оказывают влияние как внутренние (генетические факторы), так и внешние (экология, агрометеорологические условия) факторы [1]. Агротехнические мероприятия также влияют на объемы валового сбора, которые зависят от организационных и управленческих решений. Температурный режим почвы и воздуха является одним из основных метеорологических факторов, влияющих на условия выращивания картофеля [2, 5]. Физиологически значимые температурные характеристики воздуха и почвы в умеренных широтах превышают +10°C, поэтому для анализа термического режима почвы можно использовать показатели, используемые для оценки температурных ресурсов воздуха [2]. В настоящей работе основной упор делается на анализе почвенных характеристик. В начале был рассмотрен годовой ход температуры почвы на глубине 20 см (глубина пахотного слоя) (рис.1).

Интенсивный рост сельскохозяйственных культур в средних широтах начинается с устойчивого перехода температуры воздуха и почвы выше +10 °С. В агрометеорологии период интенсивного роста обычно оценивается с использованием суммы активных температур (САТ), которая рассчитывается как сумма среднесуточных температур, превышающих +10 °С в течение вегетационного периода [1, 2, 5].

Следующая важная агрометеорологическая характеристика – это гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) (1) [1, 5]. Данный коэффициент характеризует взаимосвязь между осадками и температурными ресурсами в течение вегетации и рассчитывается по формуле (1).

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0.1 \sum t_{>+10^{\circ}\text{C}}} \quad (1)$$

где

$r$  - сумма осадков за вегетационный период (мм),

$\sum t_{>+10^{\circ}\text{C}}$  - сумма активных температур воздуха (почвы).

В свою очередь М.И. Будыко предложил индекс влажности (ПУ) для сельскохозяйственных культур (ф.2) [5].

$$\text{ПУ} = \frac{r}{0.18 \sum t_{>+10^{\circ}\text{C}}} \quad (2)$$

где  $r$  - сумма годовых осадков (мм).

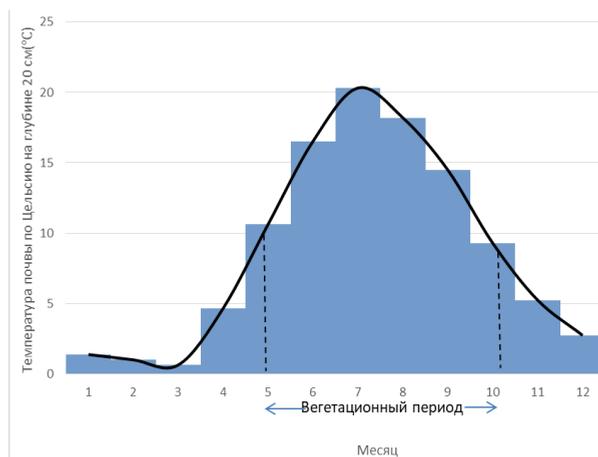


Рисунок 1 - Пример годового изменения температуры почвы на глубине 20 см, метеорологическая станция в Санкт-Петербурге (2008)

В таблице 1 приведены результаты расчета для почвы суммы активной температуры (САТ), коэффициента Селянинова (ГТК) и коэффициента Будыко (ПУ) за исследуемый период.

Оптимальная сумма активных температур почвы на глубине 20 см для выращивания картофеля составляет 1800-2000°C [5]. Согласно 13-летним расчетам, приведенным ниже (таблица 1), сумма активных температур почвы в регионе колебалась от 1976°C до 2879°C. Корреляционная зависимость между урожайностью картофеля и суммой активных температур на глубине почвы 20 см составляет 0,4. Данный коэффициент корреляции указывает на незначительное влияние САТ на урожайность картофеля, следовательно необходимо обратить внимание на другие агрометеорологические параметры.

Коэффициенты, характеризующие степень увлажнения почвы (ГТК и ПУ), практически не влияют на урожайность картофеля, т.к. коэффициенты корреляции имеют значения -0,18 и -0,20, соответственно. Хотя, можно утверждать, что отрицательный знак коэффициента корреляции указывает на возможное снижение урожайности, при увеличении увлажнения почвы (2000 и 2004 гг).

Таблица 1 – Агрометеорологические параметры в почве на глубине 20 см.

Год	САТ (°C)	ГТК	ПУ
2000	1975.9	1.9	2.0
2001	2244.8	1.5	1.7
2002	2098.5	1.4	1.6
2003	2126.8	1.9	2.2

2004	2189.6	1.9	1.8
2005	2225.2	1.5	1.6
2006	2197.4	1.1	1.4
2007	2237.5	1.5	1.5
2008	2058.4	1.5	2.0
2009	2075.6	2.0	2.1
2010	2879.4	1.3	1.6
2011	2372.5	1.6	1.6
2012	2207.0	2.1	2.2
2013	2544.9	1.3	1.3

В связи с тем, что урожайность картофеля формируется в почве в виде корнеплодов, определим степень зависимости урожайности картофеля от температуры почвы на глубине пахотного слоя. В Ленинградской области посадка картофеля осуществляется в мае месяце, а цветение начинается в июне месяце. Ежегодные данные исследуемых параметров приведены на рисунке 3.

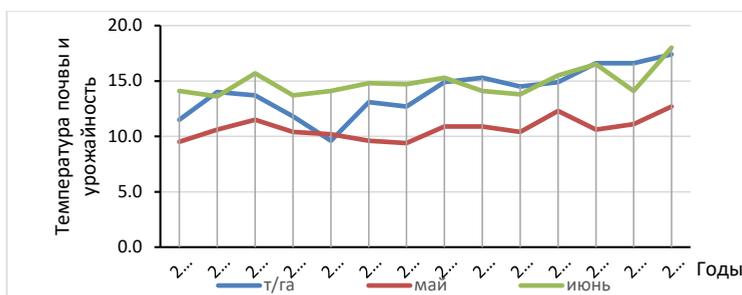


Рисунок 2 – Динамика урожайности картофеля и температура почвы на глубине 20 см (май и июнь)

Поэтому для этих двух месяцев были рассчитаны коэффициенты корреляции урожайности и температуры почвы. Дополнительно определили степень зависимости урожайности картофеля от других месяцев вегетационного периода. В результате были получены следующие величины коэффициента корреляции (таблица 2):

Таблица 2 – Корреляция между месячной температурой почвы на глубине 20 см и урожайностью картофеля

Месяцы	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
r	0.62	0.56	0.20	0.15	0.23

По результатам корреляционного анализа между урожайностью картофеля и температурой почвы в мае месяце, получено уравнение регрессии, характеризующий тип связи между изучаемыми параметрами. Пример регрессионного анализа показан на рисунке 3.

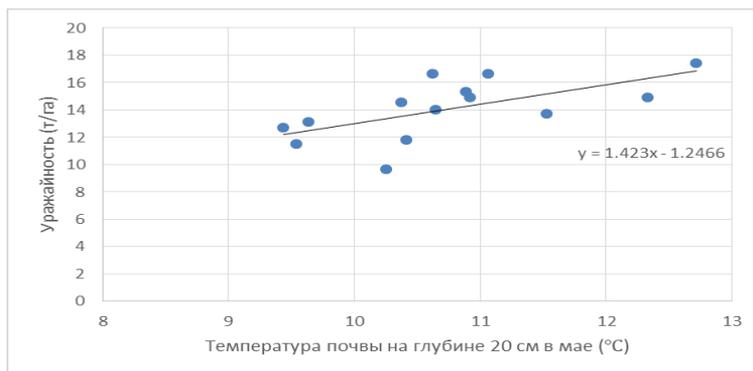


Рисунок 3 - Пример регрессионного анализа изменения температуры почвы на глубине 20 см, май

**Выводы.** В результате проведенного исследования динамики урожайности картофеля и степени влияния почвенных агрометеорологических характеристик на урожайность картофеля в Ленинградской области можно сделать следующие выводы.

1) Урожайность картофеля в Ленинградской области от года к году характеризуется устойчивым ростом, за исключением двух лет – 2000 и 2004 гг.

2) Показатели увлажнения почвы, такие как – ГТК и ПУ оказывают слабое влияние на урожайность картофеля, но при увеличении этих показателей, наблюдается некоторое снижение урожайности: в 2000 г. ГТК равно 1,9, ПУ – 2,0; в 2004 г. – ГТК 1,9, ПУ 1,8. Такие значения указывают на значительное переувлажнение почвы на фоне нормального увлажнения при ГТК равной 1 [5].

3) Существенное влияние на урожайность картофеля оказывает температура почвы на глубине пахотного слоя (20 см), в особенности, майская температура. Чем выше температура почвы в мае, тем выше вероятность повышенных показателей урожайности, о чем свидетельствует высокое значение коэффициента корреляции равной 0,6. Несколько меньшей степени на урожайность влияет июньская температура почвы.

В целом, полученные выводы о влиянии температуры почвы в мае месяце на урожайность картофеля можно использовать для разработки методики по прогнозированию урожайности в Ленинградской области.

### Список литературы

1. Абанников В.Н. Оценка взаимосвязи урожайности картофеля с агрометеорологическими характеристиками в Псковской области / Журн. Тенденции развития науки и образования, ч.3. Самара, 09.2021. 127-132 с.
2. Агрофизика и реология почв [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. А. Корчагин, И. М. Мазиров, И. М. Щукин; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых; Верхневолж. федер. аграр. науч. центр. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2022. – 199 с.
3. База данных “Федеральной службы государственной статистики в Российской Федерации, извлеченная из: [www.rosstat.gov.ru](http://www.rosstat.gov.ru)
4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Всемирный центр обработки данных (ВНИИГМИ-ВЦ) Извлечено из: [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru)
5. Лосев А. П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии, учебное пособие (Москва:ИНФРАМ), 2020 - 170 с.
6. Федеральный закон от 29.12.2006 г. № 264-ФЗ О развитии сельского хозяйства, 2006.
7. Abannikov V.N, Budagov A., Samoylov A.. INVESTMENT POLICY FEATURES IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF RUSSIAN REGIONS / ICEST 2021, II International Conference

on Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Том 116, апр.72, 2021.648-655 с.  
8. Ganewatte V.P, E.V Podgaiskii, V.N Abannikov , The impact of local climate change on potato yield in the Leningrad Region according to 15 years data (2004-2019), 2022- 2с.

## **ОБЛАКА С НАПРАВЛЕННОЙ ОСЬЮ РАЗВИТИЯ**

Глушкова В.Д., Кашлева Л.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*verikag@yandex.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются облака с направленной осью развития и возможность их прогнозирования.

*Ключевые слова.* Облако Шельфа, Рулонное облако, CAPE-индекс, прогноз торнадо, восходящие и нисходящие потоки, мезомасштабная циркуляция.

## **CLOUDS WITH A DIRECTIONAL AXIS OF DEVELOPMENT.**

Glushkova V.D., Kashleva L.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* Clouds with a directed development axis and the possibility of their forecasting are considered.

*Keywords.* Shelf cloud, Roll Cloud, CAPE-index, tornado forecast, ascending and descending air currents, mesoscale circulation.

Введение. Особенность рассматриваемых облаков в том, что они представляют собой вихревые трубы с ярко выраженной осью вращения. Метеопараметры вблизи такой облачности непредсказуемы: резкие изменения давления и температуры, появление шквального ветра со скоростью до 30 метров в секунду, изменение скорости ветра за короткий промежуток времени. Это все представляет опасность не только для людей и объектов земной поверхности, но и для авиации. Именно поэтому исследование облаков с направленной осью вращения является актуальным для обеспечения безопасности жизнедеятельности.

1. Облако Шельфа – облака вертикального развития.

Ширина от 1,6 километров до более 8 километров, высота вершин достигает около 2,5 километра, высота основания около 0,75 километров, двигаться могут со скоростью 60 километров в час, наибольшая вертикальная скорость наблюдается у основания облака, которая уменьшается практически до нуля у вершины облачной системы. Находятся такие облака впереди кучево-дождевой облачности за 1-2 километра до сплошной завесы дождя, реже может быть у кучевых облаков, на высоте около 500-600 метров. Осадки из непосредственно таких облаков практически не выпадают, но может появиться сильный шквальный ветер до 33 метров в секунду, который может продолжаться периодами 12-15 минут [1].

Облако Шельфа является понижением основания грозы, что является первым признаком образования торнадо. Возникают облака вертикального развития чаще всего в грозе суперячеек, так как у них сильный восходящий поток, который вращается из-за сдвига ветра в окружающей среде. Восходящий поток выталкивает влагу выше. Нисходящий поток идет с подветренной стороны, т.е. области с дождем. Нисходящий поток является холодным потоком воздуха из более холодных участков грозы. Валовое облако образуется в области без дождя, то есть в зоне восходящего потока. Восходящий поток вбирает в себя часть дождя и влаги из нисходящего потока. Этот воздух из нисходящего потока сильно перенасыщен и

когда восходящий поток его вбирает, то воздух начинает сильно конденсироваться. И именно поэтому образуется валовое облако (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Облака Шельфа (облако-воротник) в Чарльтоне, Массачусетс, США

Мы провели оценку возможности развития валовых облаков с помощью CAPE-индекса. Для примера берется случай на юге Северной Америки, сильное торнадо наблюдалось 4 марта 2023 года.

Из архивов была взята диаграмма с станции. В 00 часов высокие показатели CAPE-индекса наблюдались на станции в Мексике, расположенной у Мексиканского залива (рисунок 2). Сразу отметим, что локализация торнадо и пункта радиозондирования не совпадали. Поэтому полученная оценка может быть некорректной применительно к случаю очень сильной конвекции при развитии торнадо.

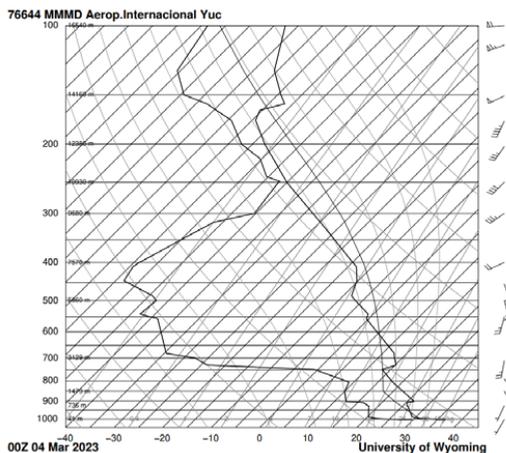


Рисунок 2 – Аэрологическая диаграмма за 00 часов, Северная Америка

CAPE-индекс в данном случае равен 1610, следовательно, конвекция была умеренной с сильными грозами и ливнями.

Для сравнения был взят случай с другого континента, где условия другие. Был рассмотрен торнадо в Туапсе, Российская Федерация, 8 июля 2020 года. Наблюдения проводились так же в 00 часов (рисунок 3).

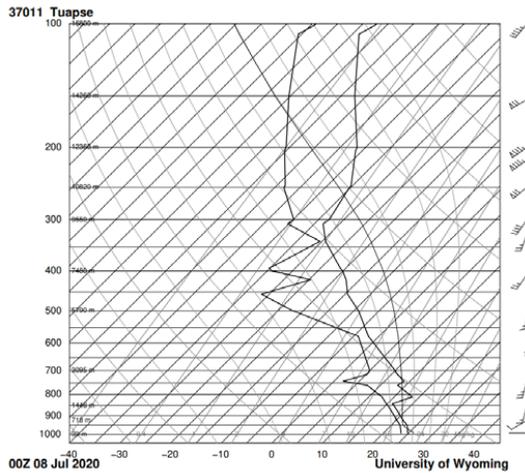


Рисунок 3 - Аэрологическая диаграмма за 00 часов, РФ

CAPE-индекс в данном случае равен 1823, следовательно конвекция также была умеренной с сильными грозами и ливнями.

Из наблюдений можно сделать вывод, что CAPE-индекс подходит для прогнозирования валовых облаков, но его надо дорабатывать, так как чаще всего кроме самого CAPE-индекса нужно учитывать множество других факторов, как например синоптическую обстановку, какие барические образования наблюдаются и как они влияют на развитие конвекции в данных районах. Следовательно, CAPE-индекс не может сам по себе служить точной оценкой прогноза.

## 2. Рулонное облако – облака горизонтального развития.

Одним из основных факторов, способствующих образованию облаков горизонтального развития, являются мезомасштабные циркуляции, связанные с морскими бризами, которые развиваются над полуостровами и заливами. Нагревание воздуха в утренние часы над сушей приводит к потоку более холодного воздуха по направлению к суше от океана. В результате более теплый воздух поднимется вверх, а холодный занимает его место, создавая условия для инверсии. Инверсионные условия создаются также при прохождении теплого фронта над большим континентальным участком суши. Теплый фронт имеет тенденцию «подминать под себя» более плотный и холодный воздух, который идет перед ним, создавая таким образом локальную температурную инверсию. Прохождение холодного фронта, перед которым расположена область теплого воздуха, приводит к такой же ситуации. Такой способ образования подходит для рулонного облака, которое не имеет при себе родительского кучево-дождевого облака (рисунок 4) [5].

Чаще всего облако с горизонтальной осью вращения можно наблюдать в Австралии, над заливом Карпентария [6]. Поэтому чтобы проверить, можно ли спрогнозировать данный вид облака с помощью CAPE-индекса, был взят случай, когда данное облако наблюдалось над заливом – 4 июля 2017 года. С архивов была взята диаграмма за данный день за 00 часов (рисунок 5).



## АНАЛИЗ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Головко А.Г., Ефимова Ю.В., Лопуха В.О.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*golovko01@mail.ru*

*Аннотация.* По спутниковым снимкам «EOSDIS Worldview (NASA)» за конкретные даты изучена и проанализирована бризовая циркуляция на Ладожском озере. Проведен кластерный анализ, а также описание синоптической ситуации. Выявлены особенности формирования бризовой циркуляции на Ладожском озере.

*Ключевые слова.* Бриз, спутниковые данные, синоптическая ситуация.

## THE ANALYSIS OF BREEZE CIRCULATION OVER LAKE LADOGA USING SATELLITE DATA

Golovko A.G., Efimova J.V., Lopuha V.O.

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* On the basis of «EOSDIS Worldview (NASA)» satellite images for specific dates, the breeze circulation over Lake Ladoga was studied and analyzed. A satellite data was analyzed as well as a synoptic situation. Main features of the breeze circulation formation on Lake Ladoga are identified.

*Keywords.* Breeze, satellite data, synoptic situation.

Бриз — ветер, имеющий суточную периодичность, который дует по берегам морей и больших озер и на некоторых больших реках. Дневной (морской) бриз дует с моря на нагретое побережье, ночной (береговой) – с охлажденного побережья на море. Незадолго до полудня происходит смена берегового бриза на морской, морского на береговой – вечером. Слой воздуха, который охвачен бризом, может сильно отличаться по толщине (до нескольких сот метров). Выше данного слоя наблюдается перенос воздуха в обратном направлении (антибриз), образующий вместе с бризом замкнутую циркуляцию [2].

Бризы проникают от береговой линии вглубь суши на десятки километров. Они особенно развиты летом, в период антициклонической погоды, которая не нарушается прохождением фронтов и сменой воздушных масс. Их можно считать примером местной циркуляции воздуха, накладывающейся на общую циркуляцию. Бризы также необходимо учитывать в численном прогнозе погоды.

Местные ветры зачастую представляют собой часть общей циркуляции атмосферы (часть пассатной или муссонной циркуляции), так как влияют на характер местной погоды: резкие похолодания или потепления, дожди, запыленность и т.д. Но они могут быть и результатом проявления местных особенностей, какими являются: прибрежная орография, нетривиальный рельеф местности, взаимное расположение горных хребтов и водоемов. Местные ветры могут встречаться в различных частях света со сходными местными особенностями. Именно благодаря высоким скоростям ветра, а также резким изменениям температуры и влажности воздуха, которые обычно сопутствуют местным ветрам – обусловлен практический интерес к анализу и прогнозу этих явлений [4].

Смена бриза имеет существенное значение для суточного хода погоды, особенно в тропических широтах; например, морской, бриз несколько понижает температуру воздуха или замедляет её дневной рост над сушей и увеличивает влажность. Время смены бризов бывает различным, но обычно морской бриз начинается в 9-11 часов местного времени, а береговой – после захода солнца. В России бризы наблюдаются на Белом, Балтийском, Черном, Азовском, Каспийском и Дальневосточных морях, а также на Ладожском и Онежском озёрах. На снимках из космоса будет виден только береговой/ночной бриз, однако морской бриз может быть виден за счет смещения границы облаков вглубь суши [4].

Ладожское озеро расположено на северо-западе Европейской части России, в Ленинградской области и республики Карелия. Оно является самым большим и пресноводным озером в Европе. Площадь составляет 17,9 тыс. км<sup>2</sup> (с островами 18,3 тыс. км<sup>2</sup>), длина 219 км, средняя ширина 84 км, объём воды 838±2,4 км<sup>3</sup>, глубина до 230 м (в сев. части, к западу от о. Валаам) [1].

В данной работе были рассмотрены 2 случая бризовой циркуляции на Ладожском озере по спутниковым снимкам, определены синоптические условия, при которых они были сформированы.

2 июня (Рисунок 1, слева) и 3 июня (Рисунок 1, справа) 2018 года на спутниковых снимках были обнаружены бризы на юге Ладожского озера. В таблице 1 и таблице 2 представлены соответствия цвета и текстуры, формы облачности при помощи кластерного анализа на спутниковых снимках для 02.06 (Рисунок 2, слева) и 03.06 (Рисунок 2, справа), соответственно, также представлены синоптические карты за 02.06.2018 и 03.06.2018 за 00:00 по UTC (Рисунок 3).

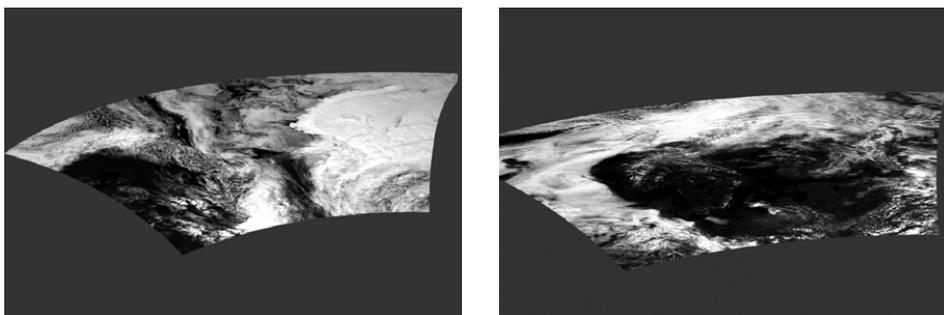


Рисунок 1 – Спутниковый снимок за 02.06.2018 в 09:10 (слева) и за 03.06.2018 в 11:30 (справа) по UTC с «EOSDIS Worldview (NASA)»

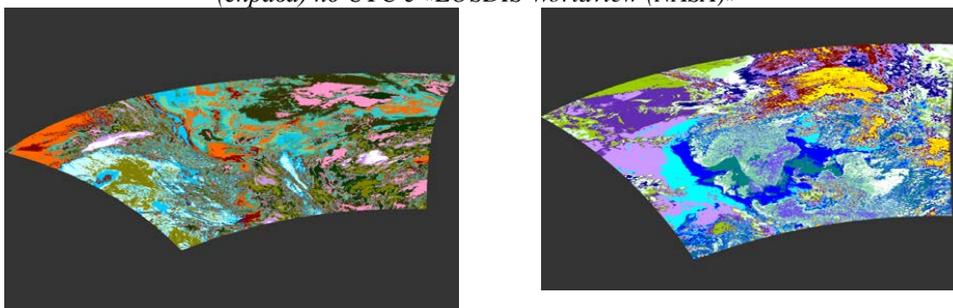


Рисунок 2 – Кластерный анализ спутникового снимка за 02.06.2018 (слева) и за 03.06.2018 (справа), обработанного в программе «Veat»

Таблица 1 – Соответствие цвета и текстуры 02.06.2018

Цвет	Текстура. Форма облачности
Оранжевый + бордовый	Волокнистая (Бризы на юге Ладожского озера)

Таблица 2 – Соответствие цвета и текстуры 03.06.2018

Цвет	Текстура. Форма облачности
Светло-фиолетовый	Волокнистая (Бризы на юге Ладожского озера)

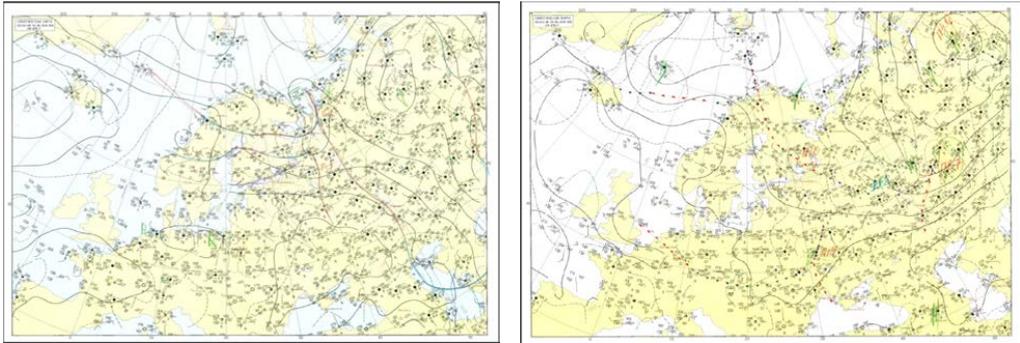


Рисунок 3 – Синоптическая кольцевая карта за 02.06.2018 в 00 UTC (слева) и за 03.06.2018 в 00 UTC (справа)

2 июня 2018 года над регионом исследования южнее Финского залива располагается центр циклона, который смещается на северо-восток, и к моменту обнаружения на спутниковом снимке бризовой циркуляции данный циклон подойдет с юга Финского залива. [Рисунок 3 (слева)].

Анализируя кольцевую карту погоды за 2 июня 2018 года [Рисунок 3 (слева)] можно сделать вывод о том, что в зоне между Ладожским озером и Финским заливом наблюдается линия неустойчивости. Она проходит к югу Онежского озера, по центральной части Ладожского озера и по оси Финского залива. Данная линия неустойчивости вручную была нанесена синоптиком отдела синоптики ФГБУ «Северо-Западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Рисунке 3 (слева)]. Линия неустойчивости частично связана с бризами, так как она проходит вблизи них.

Над полуостровом Канин располагается окклюдированный циклон. Точка окклюзии наблюдается в районе устья реки Мезень (падение 3.7), а также в зоне теплового фронта от возможного центра, образовавшегося в ложбине данного циклона (падение 3.7).

Данный циклон является частью двухцентральной депрессии, первый центр наблюдается на востоке немного восточнее Уральских гор. Наблюдается глубокий циклон над Полулайской возвышенностью с давлением в центре 995,0 гПа. Обширная депрессия располагается параллельно Уральским горам до Енисея на востоке и до Каспийского моря на юге.

Можно предположить, что существует центр на южной части ложбины окклюдированного циклона, об этом свидетельствуют направления ветра в районе Архангельска (северный ветер тыловой части циклона) и Чешской губы (восточный ветер).

Над западным побережьем Скандинавии располагается антициклон с давлением 1019,9 гПа в центре.

3 июня 2018 года над Ладожским озером наблюдается отдельный центр циклона. В его центральной части, который расположен над севером Ладоги, температура поверхности восточного побережья намного холоднее западного. Южный поток дает температуру более холодную, чем западный перенос. +17, 4 °C в тылу и +8,0 °C в передней части циклона. Данная ситуация нестандартная. За счет таких температур проведены нетривиальные фронтальные поверхности [Рисунок 3 (справа)].

По данным приложения «VentuSky» 2 июня 2018 года на юго-западе от Ладожского озера 5 см над землей температура +27 °C, а в центральной части Ладожского озера +5 °C, 2 м над землей +25 °C и +10 °C соответственно. 3 июня 2018 года вблизи Финского залива на высоте 5 см над землей +28 °C и +4 °C в центральной части Ладожского озера, на 2 м над землей +26 °C и +10 °C соответственно. Можно говорить, что наблюдаются мощные контрасты температур.

4 июня 2018 года: на 5 см над землей +26 °C и +5 °C, на 2 м +21 °C и +9 °C. 5 июня 2018 года: на 5 см +14 °C и +5 °C, на 2 м над землей +11 °C и +6 °C. В эти дни такие сильные контрасты температур уже не наблюдаются.

Новый циклон над севером Ладоги образовался в результате таких мощных разниц температур у поверхности суши и воды. В данной нестандартной ситуации доверяем работе синоптиков, так как модельные фронты ведут себя крайне странно.

По данным спутникового снимка определено, что бриз дует с водной поверхности на побережье. Соответственно, это дневной (морской) бриз, что подтверждается высокими контрастами температур и неординарной синоптической ситуацией в рассматриваемые дни.

Вероятно, линия неустойчивости и центр циклона, которые располагались вблизи или над самим Ладожским озером, являются типичными синоптическими ситуациями для формирования бризов. Но необходим дополнительный анализ.

### Список литературы

1. Большая Российская энциклопедия [Электронный ресурс] // Министерство культуры Российской Федерации. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/geography/text/5455460>, свободный. – (Дата обращения: 10.05.2022).
2. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/glossary/4752-breeze>, свободный. – (Дата обращения: 10.05.2022).
3. Метеоцентр. Азия: материалы по авиационной метеорологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteoцентр.asia/>, свободный. – (Дата обращения: 01.05.2022).
4. Океан из космоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oceanfromspace.scanex.ru/index.php/atmosphere/wind>, свободный. – (Дата обращения: 20.02.2022).
5. Архив карт погоды. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».
6. EOSDIS Worldview (NASA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>, свободный. – (Дата обращения: 20.03.2022).
7. Ventusky [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ventusky.com/>, свободный. – (Дата обращения: 10.05.2022).

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Данченков Д.И.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*dmitry-danchenkov2013@yandex.ru*

*Аннотация.* Рассматривается содержание загрязняющих веществ в атмосфере и влияние метеорологических условий на изменение концентрации загрязняющих веществ.

*Ключевые слова.* Загрязняющие вещества, концентрация, мониторинг, сеть автоматических станций, температурные инверсии.

## COLLECTION AND ANALYSIS OF DATA ON CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS FOR THE AUTUMN PERIOD IN THE CITY OF ST. PETERSBURG. INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON THE CONCENTRATION OF POLLUTANTS.

Danchenkov D.I

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The quantitative content (concentration) of pollutants and the influence of meteorological parameters on the change in the concentration of pollutants are considered.

*Keywords.* Pollutants, concentration, monitoring, network of automatic station, temperature inversions.

В процессе технологического прогресса и усовершенствования методов описания влияния метеорологических условий на разные сферы хозяйства, усиливается роль мониторинга состояния атмосферы на предмет её загрязнения. Загрязнение атмосферы представляет собой изменение состава атмосферы в результате наличия в ней примеси. Загрязняющим веществом называют примесь в атмосфере, оказывающую неблагоприятное действие на окружающую среду и здоровье населения.

Основными загрязняющими веществами являются [1]:

- Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ),
- Оксид углерода ( $\text{CO}$ ),
- Взвешенные частицы ( $\text{PM}$ ),
- Оксиды азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ),
- Озон ( $\text{O}_3$ ).

Нормирование качества атмосферного воздуха определяется не только воздействием загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, на человека и значениями их концентраций, но и продолжительностью временного интервала, в течение которого человек дышит воздухом, в содержании которого присутствует то или иное загрязняющее вещество.

По временной привязке выделяют два норматива: норматив, рассчитанный на короткий период времени (предельно допустимые максимально-разовые концентрации) и норматив, рассчитанный на продолжительный период времени (в России этот период равен 24 часам) [2].

Данные об концентрации загрязняющих веществ собираются с автоматических станций мониторинга атмосферы, которые располагаются в разных районах исследуемых городов.

В Санкт-Петербурге мониторинг качества атмосферного воздуха осуществляется с использованием Автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ-АВ) [3].

Для исследования состояния атмосферного воздуха были выбраны 2 станции, входящие в АСМ-АВ:

- №10 по адресу Московский проспект, 19;
- №15 по адресу Кронштадт, улица Ильминина, 4.

Расположение станций представлено на рисунке 1.

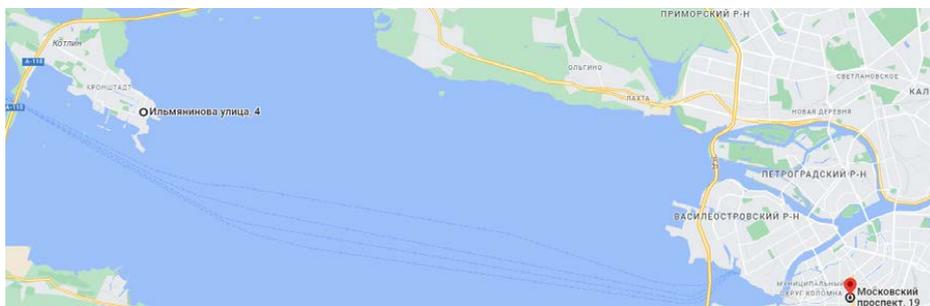


Рисунок 1 – Расположение выбранных станций относительно друг друга

Отличия между выбранными станциями:

- Станция №10 (Московский проспект) находится близко к центру города и здесь большой трафик автомобилей, в то время как станция №15 (Кронштадт) находится за пределами города и территориально располагается близко к побережью.
- Со станции №10 доступны только данные о концентрациях оксидов углерода, серы и азота, в то время как со станции №15 дополнительно доступны данные о концентрациях озона и взвешенных частиц.

Для исследования состояния атмосферного воздуха был выбран осенний период 2021 года и составлен архив данных о концентрациях загрязняющих веществ на основе информации Экологического портала Санкт-Петербурга [<https://www.infoeco.ru/index.php?id=53>].

Из архивных данных были выделены дни с максимальным значением концентраций загрязняющих веществ, выраженных в долях предельно допустимой среднесуточной концентрации (где ПДК<sub>сс</sub> > 1 означает значение «выше нормы»). Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Время присутствия примесей в атмосфере зависит от множества факторов, доминирующее значение среди которых принадлежит метеорологическим условиям.

Наибольшее влияние оказывает режимы ветра и температуры (температурная стратификация), осадки, туманы, солнечная радиация.

Концентрация уменьшается при очень сильных ветрах за счет быстрого переноса примесей в горизонтальном направлении. При низких или холодных источниках выбросов повышенный уровень загрязнения воздуха наблюдается при слабых ветрах (скорость 0 ÷ 1 м/с) вследствие скопления примесей в приземном слое.

Также уровень загрязнения воздуха в городе зависит от направления ветра. Существенное увеличение концентрации примеси может наблюдаться в случае, когда преобладают ветра со стороны промышленных объектов.

Также на уровень загрязнения воздуха влияет инверсия температуры в атмосфере. В зависимости от высоты инверсии температуры подразделяют на приземные и приподнятые (в свободной атмосфере). Приземные инверсии температуры, чаще всего, образуются в безветренные ночи в результате интенсивного излучения тепла земной поверхностью, что приводит не только к её собственному охлаждению, но и охлаждению прилегающего слоя воздуха.

Рост влажности также способствует увеличению концентраций загрязнений в атмосферном воздухе, так как капли тумана поглощают примеси [5,6].

Рассмотрим метеорологические условия и концентрацию примесей на выбранных станциях.

Таблица 1 – Дни с максимальным превышением на станции №10

Дата	CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	f, %	V, м/с	d, направ.	d, град
11.09.2021	0.2	0.3	0.1	81	0.6	Штиль	0
29.09.2021	0.2	0.3	0.2	71	0.5	Штиль	0
02.10.2021	0.2	0.3	0.2	69	1.8	Ю	180
03.10.2021	0.2	0.3	0.2	71	1.9	ВЮВ	112
08.10.2021	---	0.3	0.2	60	2.3	ЮЗ	225
13.10.2021	0.2	0.3	0.2	75	1.3	Ю	180
14.10.2021	0.2	0.3	0.2	88	1.5	ЮЗ	225
20.10.2021	0.2	0.3	0.1	80	2.1	Ю	180
23.11.2021	0.2	0.3	0.1	88	1.6	ЮЗ	225
25.11.2021	0.2	0.3	0.1	84	2.6	ЮЗ	225

За весь рассмотренный период на обеих станциях наблюдалась высокая влажность (> 80 %). Ветер был разный – на станции № 10 слабый, а на станции № 15 ветер достигал 8 м/с. Этим фактом можно объяснить малые концентрации практически всех рассмотренных

загрязняющих веществ, кроме озона и взвешенных частиц. Концентрацию взвешенных частиц можно объяснить переносом с морской поверхности.

Таблица 2 – Дни с максимальным превышением на станции №15

Дата	CO, Доли ПДКсс	NO <sub>2</sub> , Доли ПДКсс	SO <sub>2</sub> , Доли ПДКсс	O <sub>3</sub> , Доли ПДКсс	PM <sub>2.5</sub> , Доли ПДКсс	f, %	V, м/с	d, направ.	d, град
07.10.2021	0.1	0.1	< 0,1	0.5	0.1	62	5.6	ЮЮЗ	202
08.10.2021	0.1	< 0,1	< 0,1	0.5	0.2	65	5	ЮЗ	225
09.10.2021	0.1	< 0,1	< 0,1	0.4	0.2	66	4.6	ЗЮЗ	248
10.10.2021	0.1	< 0,1	< 0,1	0.6	0.2	77	4.4	ЮЗ	225
11.10.2021	0.1	< 0,1	< 0,1	0.5	0.3	56	5.6	ЮЗ	225
16.10.2021	0.1	---	< 0,1	0.5	< 0,1	71	8.3	ЮЗ	225
17.10.2021	0.1	---	< 0,1	0.5	< 0,1	59	8.3	ЮЗ	225
30.10.2021	0.1	0.1	< 0,1	0.4	0.7	82	4.6	ЮЗ	225
31.10.2021	0.1	< 0,1	< 0,1	0.3	0.7	85	3	ЮЗ	225
01.11.2021	0.1	0.1	< 0,1	0.2	0.8	93	3.6	ЮЗ - ЮВ	225 - 135
02.11.2021	0.1	0.1	< 0,1	0.3	0.8	92	3.4	ВЮВ	112
03.11.2021	0.1	0.1	< 0,1	0.2	0.6	88	4	ВЮВ	112

Более чётко прослеживается влияние вертикального распределения температуры на станциях.

**Станция № 10.** В сентябрьские дни с превышением концентрации примеси скорость ветра была меньше 1 м/с, вследствие чего загрязняющие вещества скопились в приземном слое. Ветер за весь осенний период был слабый, а это является предпосылкой к увеличению концентрации загрязняющих веществ. В конце осени наблюдался рост относительной влажности, что в совокупности со слабым ветром, может являться признаком наличия температурных инверсий, которые повышают концентрацию загрязняющих веществ.

За рассмотренный период наблюдалось 10 дней с высокими значениями концентрациями рассматриваемых примесей (таблица 1) и во все эти дни наблюдалась инверсия. Для примера рассмотрим инверсии, которые наблюдались 11 и 29 сентября. Графики распределения температуры представлены на рисунках 2, 3, 4 и 5 [7].

Ночью 11 сентября в слое 72-228 м наблюдалась приземная инверсия с разницей температур 5°С, а днём наблюдалась приподнятая инверсия мощностью 96 м (слой 2354-2450 м) и интенсивностью 1°С. 29 сентября наблюдалась аналогичная ситуация – ночью приземная инверсия (слой 72-297 м, интенсивность 0.6°С), а днём – две приподнятые инверсии (слои 1280-1417 м и 1350-1735 м, разница температур 3.7°С и 5.7°С). Инверсии разделены слоем изотермии.

**Станция №15:** За весь рассмотренный период только в один день повышенной концентрации загрязняющих веществ не наблюдалась инверсия.

Проведённое исследование позволяет сделать следующий вывод: все случаи повышенной концентрации связаны с температурной инверсией (приземной и приподнятой) и с высокими значениями влажности.

Влияние ветра носит более сложный характер, так как он может как уменьшать концентрацию, так и приносить в район исследования дополнительные вредные вещества.

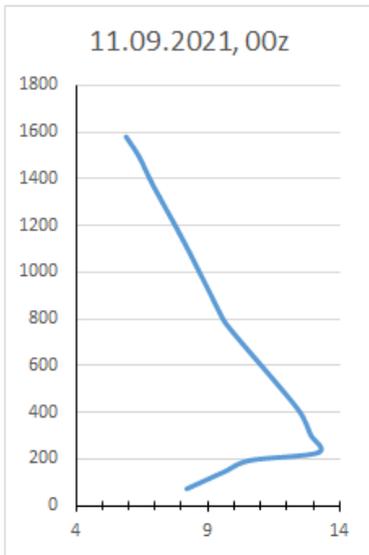


Рисунок 2 – Распределение температуры с высотой, 11.09.2021, 00:00z

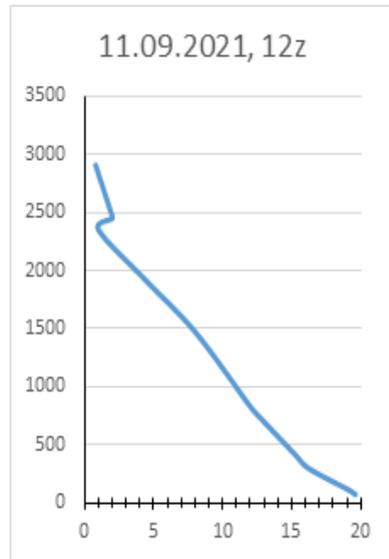


Рисунок 3 – Распределение температуры с высотой, 11.09.2021, 12:00z

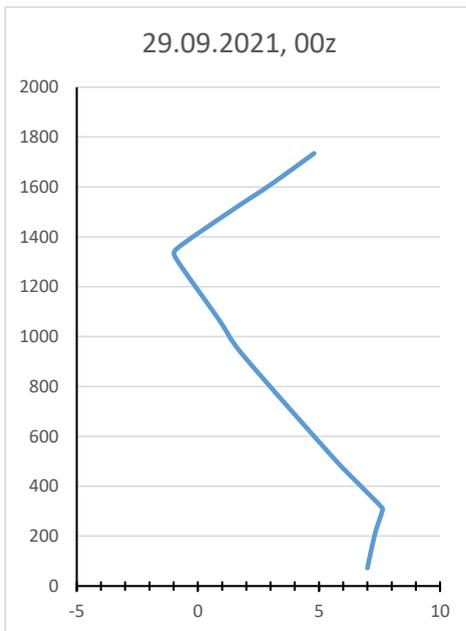


Рисунок 4 – Распределение температуры с высотой 29.09.2021, 00:00z

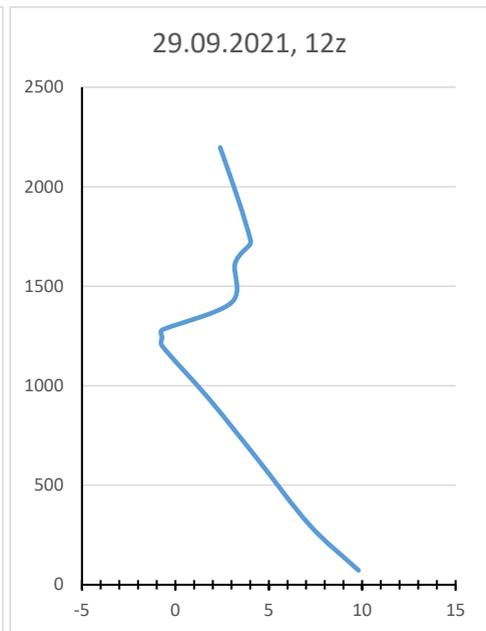


Рисунок 5 – Распределение температуры с высотой 29.09.2021, 12:00z

### Список литературы

1. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Анализ загрязнения воздушного бассейна. Лабораторный практикум. – СПб. : РГГМУ, 2018. – 60 с
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М., - 2003. – 41 с.

3. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. - Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 200 с.
4. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.infoeco.ru/> (дата обращения: 07.03.2023).
5. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния окружающей среды. – М.: Гидрометеоздат, 1984. – 375 с.
6. Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф. Экологический мониторинг: Учебное пособие. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2002. - 89 с.
7. Университет Вайоминга, центр зондирования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения: 07.03.2023).

## **ПЕРЕНОСНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Елисеев А.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*zerdulia@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматривается возможность использования носимой пользователем системы для получения и передачи метеорологических данных о состоянии окружающей среды.

*Ключевые слова.* Мониторинг окружающей среды, измерение метеорологических параметров, мобильная переносная автоматическая система, микроклимат.

## **PORTABLE SYSTEM FOR RECEIVING AND TRANSMITTING METEOROLOGICAL DATA**

Eliseev A.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The possibility of using a user-wearable system for receiving and transmitting meteorological data on the state of the environment.

*Key words.* Environmental monitoring, measurement of meteorological parameters, mobile portable automatic system, microclimate.

Быстрый процесс урбанизации влечет за собой последствия для городской среды и проявляется в плохом качестве воздуха, высокой температуре, низкой жизнестойкости городов, и увеличение риска заболеваемости населения. Для исследования этих процессов спутниковые данные и сеть стационарных метеостанций не отвечают требуемой точности, временной или пространственной детализации. Необходимые методы измерений, данные которых позволят получить полную картину ключевых метеорологических процессов в локальном микромасштабе.

Для решения этих проблем может быть использована мобильная переносная система, включающая в себя разнообразные датчики. Возможности переносной мобильной системы должны позволить GPS-трекеру привязывать точное географическое положение к каждому измерению. Система должна производить измерения с временным шагом от нескольких секунд до минут или часов, что позволит оценивать временную динамику метеорологических и экологических параметров, а при применении визуализатора (ПК или телефона пользователя) давать оценку в режиме реального времени. Такая переносная система может быть использована во многих областях человеческой деятельности от проверки антропогенного загрязнения воздуха до мониторинга микроклимата в природных районах, охраняемых ЮНЕСКО. Рабочий прототип такой системы описан в публикации [1] и представлен на рисунке 1. Система является автоматической измерительной системой

с использованием ассимиляции рюкзака и приборного кронштейна-стойки.

Проверка прототипа показала, что несмотря на некоторые флуктуации, значения близки к эталонным.

Система использует GPS датчик для отслеживания и построения маршрута пользователя, чтобы предоставлять пространственную привязку к измерениям. Передача данных на прибор пользователя осуществляется через Wi-Fi либо на персональное устройство, либо на облако удаленного сервера. Также есть возможность записи данных на съемную SD карту. Архитектура системы представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Рабочий прототип переносной мобильной системы [1]

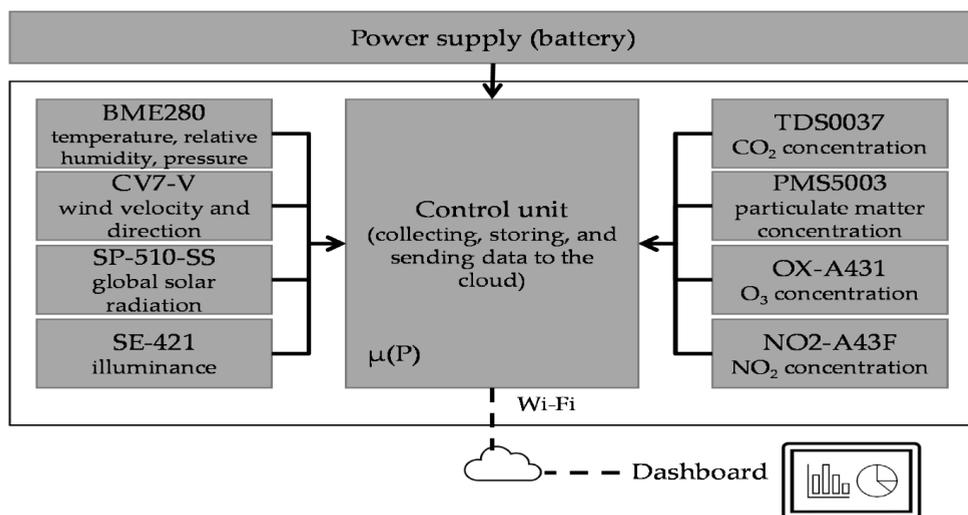


Рисунок 2 – Архитектура системы[1]

Необходимость отечественной метеорологии в данных комплексах в будущем безусловна. Переносная мобильная система получения и передачи метеорологических данных должна включать блок питания на базе аккумуляторной батареи, микроконтроллер, блок метеорологических и экологических датчиков, датчик GPS координат и положения, аналоговый мультиплексор, внешнее запоминающее устройство, блок передачи данных и блок индикации. Блок датчиков может включать следующие датчики:

- температуры воздуха (например, датчики серии BME [2])
- влажности (датчики серии BME)
- качества и состава воздуха (датчики серии TDS PMS OX NO)
- атмосферного давления (датчики серии BME)

- освещенности (датчики серии SE)
- солнечной радиации (датчики серии SP-s)
- скорости ветра (датчики серии CV-v)
- направления ветра (датчики серии CV-v)

И другие любые совместимые датчики, так как система является модульной.

Схемы некоторых датчиков, оптимальных для создания измерительной автоматической системы, представлены на рисунке 3.

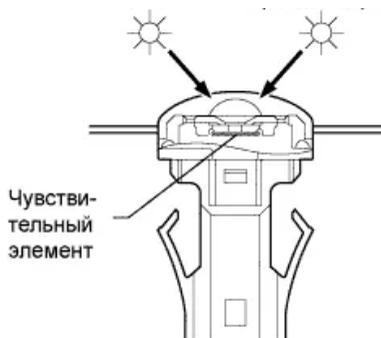


Рисунок 3 – Датчик солнечной радиации серии SP-s.

### Список литературы

1. *Roberta J.C., Pisello A.L. A New Wearable System for Sensing Outdoor Environmental Conditions for Monitoring Hyper-Microclimate, 2022 г. 30 с.*

### КРУЗЕНШТЕРН КАК УЧЕНЫЙ, ВНЕСШИЙ ВКЛАД В МЕТЕОРОЛОГИЮ

Еникеева Э. Р., Бубнова Я. В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*elvira\_yenikeeva@mail.ru*

*Аннотация.* Статья посвящена изучению биографии российского адмирала Ивана Федоровича Крузенштерна, как человека, сделавшего огромный вклад в развитие метеорологии как науки.

*Ключевые слова.* Метеорология, кругосветное путешествие, Курильская островная гряда, Аляска, Камчатка, Сахалин, Тихий океан

### KRUZENSHTERN AS A SCIENTIST WHO CONTRIBUTED TO METEOROLOGY

Yenikeeva E. R., Bubnova Y. V.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

*Annotation.* The article is devoted to the study of the biography of the Russian Admiral Ivan Fedorovich Kruzenshtern, as a man who made a huge contribution to the development of meteorology as a science.

*Keywords.* Meteorology, circumnavigation, Kuril Island ridge, Alaska, Kamchatka, Sakhalin, Pacific Ocean

2023 год юбилейный для первого русского кругосветного плавания, прошедшего под командованием Ивана Федоровича Крузенштерна и Юрия Федоровича Лисянского: прошло 220 лет с ее начала. Во время путешествия было сделано огромное количество научных

открытий и наблюдений, которые повлияли на развитие российских наук. Поэтому неудивительно, что имя Крузенштерна осталось навсегда в истории.

При рождении будущего адмирала звали Адам Иоганн. Он родился недалеко от эстонского города Рапла и до 12 лет учился в церковной школе в Ревеле (ныне Таллинн), затем поступил в Морской кадетский корпус в Кронштадте, директором которого он будет назначен много лет спустя. Русский язык будущий адмирал выучил в кадетском корпусе, хотя и учился там совсем недолго: в 1788 года началась война со шведами, и 18-летний мичман был послан на военные действия [1]. Иван Федорович служил на 74-пушечном корабле «Мстислав». Командовал кораблем Григорий Иванович Муловский, который в свое время сам собирался возглавить Первую русскую кругосветную экспедицию, задуманную еще императрицей Екатериной II. Он и не представлял, что задуманное осуществит его подопечный.

Будущий адмирал принимал участие в знаменитом Гогландском сражении, затем – в Эландском сражении, а в 1790 году – в боях при Ревеле, Красной Горке и в Выборгской бухте. Он был произведен в лейтенанты в 19 лет [2].

В 1793 году, уже в чине лейтенанта, Крузенштерн с Лисянским в числе лучших молодых флотских офицеров были отправлены на стажировку в Англию [3]. В английском королевском флоте Крузенштерн шесть лет набирался опыта у лучших моряков мира, успел побывать в Северной Америке, Индии, Китае, познакомиться со многими выдающимися личностями. Существует даже легенда, что при обороне форта Святого Лаврентия его корабль «Thetis» потерпел крушение и по предложению самого Джорджа Вашингтона Крузенштерн некоторое время служил на американском флоте [4].

Заграничная поездка пошла Ивану Федоровичу на пользу. В 1799 году в Россию вернулся опытный капитан, который сразу предложил императору провести исследовательскую кругосветную экспедицию. Крузенштерн на деле хотел доказать, что транспортировка пушнины и других ценностей с берегов Русской Америки в Россию по морю намного быстрее и дешевле, чем по суше через Сибирь. К сожалению, Павла I проект не заинтересовал. Император назвал предложение о кругосветке полной чушью [5]. Через три года его сын Александр I принял решение о реализации плана кругосветного путешествия [6, 7]. Крузенштерн был мореплавателем, и его вряд ли интересовала только прибыль, но без финансовой поддержки кругосветное путешествие было бы невозможно. Такую поддержку и оказала ему Российско-Американская компания.

Экспедиция, вошедшая в историю отечественного мореплавания как первое русское кругосветное путешествие, состояла всего из двух кораблей под названиями «Надежда» и «Нева» [7]. Крузенштерн командовал более вместительной (450 тонн) «Надеждой», Лисянский - «Невой» (370 тонн). [8] Главной целью экспедиции было изучение возможностей транспортного сообщения между Европейской Россией и Русской Америкой.

Плавание началось 7 августа 1803 года. Отплытие состоялось из Кронштадта. В августе 1806 года «Нева», а после нее – «Надежда» возвратились в Россию через 3 года и 12 дней.

Во время плавания русские корабли впервые в истории пересекли экватор. Как гласит легенда, они отпраздновали это событие, согласно традиции, с участием Нептуна. Это происходило так: матрос, изображавший повелителя морей, спросил у Крузенштерна, для чего он прибыл сюда со своими кораблями, ведь ранее российский флаг в этих местах не видели. На что Крузенштерн ответил: «Для славы науки и отечества нашего!».

Науке во время экспедиции уделялось немало внимания. Именно во время кругосветного плавания впервые в истории были проведены профессиональные метеорологические исследования, сохранившие свое научное значение и в наши дни [6]. Без Крузенштерна не было бы современной метеорологии и океанологии. Нынешняя метеорология во многом опирается на наблюдения за изменением Мирового океана. Сейчас погоду предсказывают 4 тысячи специальных буйков. Они работают в толще океанической воды, всплывают, чтобы передать данные на спутник, и снова возвращаются к подводным исследованиям. Океанологическая экспедиция Крузенштерна на парусных шлюпах "Нева" и

"Надежда", начавшаяся в Кронштадте в августе 1803 года и вернувшаяся в исходную точку три года спустя, измеряла температуру глубинных слоев моря на уровне 400 метров. Первые русские океанологи изучали течения, их направления и силу. Велись и магнитные наблюдения. Мореплаватели (главным помощником Крузенштерна был капитан "Невы" Юрий Лисянский) следили за приливами и отливами и давлением атмосферы [9].

Во время всего путешествия проводились изучения течений, их направление и сила. Были значительно исправлены географические карты; проводились глубоководные исследования Мирового океана (измерение температуры на разных глубинах, определение солености и удельного веса воды, скорости течений и т.п.). Командой было нанесено на карту западное побережье Японии, южная часть и восточный берег Сахалина, исследована часть Курильской островной гряды; установлен новый путь к русским владениям на Камчатке и Аляске. Крузенштерн не только открыл и провел съемки многих островов, описал часть северо-западного побережья Тихого океана, составил первый атлас этого океана, но и стал одним из основоположников океанологических исследований. Экспедиция собрала крупнейшие ботанические, зоологические, этнографические коллекции, провела огромное число астрономических наблюдений. В итоге все основные задачи кругосветной экспедиции были выполнены. 19 августа 1806 года кругосветное плавание закончилось, снова в Кронштадте.

Император Александр I наградил Крузенштерна и его подчиненных. Все офицеры получили следующие чины, командиры ордена св. Владимира 3 степени и по 3000 руб., лейтенанты по 1000, а мичманы по 800 рублей пожизненного пенсионера. Нижние чины уволены в отставку и награждены пенсионом от 50 до 75 рублей. По высочайшему повелению была выдана особая медаль для всех участников этого первого кругосветного путешествия [10, 4].

За научные же заслуги Крузенштерна в 1806 году избрали почетным членом Академии наук.

По возвращении Крузенштерн получил бессрочный отпуск и не бросил исследовательскую деятельность. Он занялся созданием атласов с приложением гидрографических записок, под заглавием: «Собрание сочинений служащих разбором и изъяснением Атласа Южного моря» и приступил к подробному описанию плавания, систематизировал результаты своих исследований и наблюдений. Его карты поражают детализацией и точностью. Он первым составил атлас Тихого океана с точными астрономическими, этнографическими и биологическими наблюдениями. Для 19 века атлас Крузенштерна был невероятно полным и информативным, и в изобилии содержал точные планы, карты и рисунки. Любопытно, что он подписался как «Капитан Крузенштерн», а не по имени-отчеству или своему первому имени [11, 12, 13].

В период 1799-1802 гг., Академия наук получала метеорологические данные из Риги, Москвы, Екатеринбурга, Саратова, Киева, Нерадова (недалеко от Казани), Вологды и Николаева. Правда, были проблемы с обработкой метеорологических данных, например. Директор Главной Физической Обсерватории, академик Г.И. Вильд, в своём труде «О температуре воздуха в Российской Империи», мог сослаться на данные для первого десятилетия XIX века из отчетов лишь 7 метеостанций, для второго десятилетия из отчетов 18 станций, для третьего десятилетия 27 станциями. На которых велись наблюдения не менее одного года в течение каждого из этих десятилетий, наблюдения велись разными учреждениями и лицами разных профессий, поэтому с 1830-х гг. наблюдения велись только в учебных заведениях и были систематическими [5, 14]. Несомненно, большой вклад в создании метеорологической службы внес и Крузенштерн.

Многие ведущие российские ученые способствовали распространению метеорологических данных и их популяризации среди населения и мореплавателей из разных стран. Н.М. Карамзин впервые выдвинул идею об организации объединенной системы многочисленных метеорологических обсерваторий по всей территории России, так как метеорологические данные нужны ученым, мореплавателям из разных стран.

Действительно 30 лет спустя идеи Карамзина Н.М. были поддержаны А. Гумбольдтом, а с нашей стороны и академиком А.Я. Купфером, ученым удалось организовать систему метеорологических и магнитных наблюдений в России, Германии, Англии с ее колониями. Непрерывные наблюдения за гидрометеорологическими параметрами велись в Санкт-Петербурге и Ревеле и уже к 1833 году, ученые могли предсказать за несколько часов приближение бури и наводнения в Санкт-Петербурге.

Несомненно, сейчас продолжают метеорологические наблюдения. РГГМУ готовит специалистов в этой области, ведется большая работа в области распространения метеорологических знаний на международном уровне, есть интерес населения и к прогнозам погоды, метеорологическому индексу здоровья, определению типа облаков на картинах известных художников, биоклиматические индексы здоровья, биоклиматическая комфортность для человека, проживающего в разных регионах нашей страны.

### Список литературы

1. *Крузенштерн Эверт фон*. Иван Крузенштерн. Мореплаватель, обогнувший Землю / Пер. с нем. О. Калиновской. — М. : Paulsen, 2020. — 304 с.
2. *Невский В. В.* Первое путешествие россиян вокруг света / Под ред. д. г. н. А. Д. Добровольского. — М.: Географгиз, 1951. — 271 с.
3. *Seppelt E. Adam Johann von Krusenstern : Ein Porträt über den ersten russischen Weltumsegler Anfang des 19. Jahrhunderts* : [нем.]. — Rostock : BS-Verlag-Rostock, 2009. — 138 S.
4. *Иванян Э. А.* Энциклопедия российско-американских отношений. XVIII—XX века. — М.: Международные отношения, 2001. — С. 287. — 696 с.
5. Главный исторический портал страны. Электронный ресурс: <https://histrf.ru/read/articles/dvadsat-piat-intieriesnykh-faktov-iz-zhizni-i-f-kruzienshtierna> (Дата обращения 01.03.2023)
6. *Герман К.* История и статистическое описание российского флота // Статистический журнал. — 1806. — Т. I, № 2. — С. 72. URL: [https://rusneb.ru/catalog/000200\\_000018\\_v19\\_rc\\_2110575/](https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_v19_rc_2110575/) (Дата обращения 01.03.2023)
7. Санкт-Петербург: 300+300 биографий = St. Petersburg. 300+300 biographies / Под ред. Г. Гопиенко. — биографический словарь. — М. (СПб.): Маркграф (ОАО «Иван Фёдоров»), 2004. — С. 318.
8. Штейнберг, Евгений Львович (1902-1960). И.Ф. Крузенштерн, Ю.Ф. Лисянский / Е. Л. Штейнберг ; под ред. А. И. Соловьева. - Москва : Географгиз, 1950. - 40 с. : ил., карт. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/236043> (Дата обращения 02.03.2023)
9. РИА Новости. Кругосветный вояж Крузенштерна: география, экономика, политика, туризм. URL: <https://ria.ru/20101119/222899670.html> (Дата обращения 02.03.2023)
10. *Bernhardi, Theodor von.* Der Weltumsegler Admiral v. Krusenstern // Vermischte Schriften : [нем.]. — Berlin : Verlag von G. Reimer, 1879. — Bd. 1. — S. 1–56. — 471 S.
11. *Крузенштерн И. Ф.* Атлас Южного моря сочиненны контр адмиралом Крузенштерном [Атлас] : в 2 ч. Ч. 2. Северное полушарие / И. Ф. Крузенштерн. - Санкт-Петербург: [б.и.], 1826 г. - 61 с. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/73258> (Дата обращения 05.03.2023)
12. *Крузенштерн Иван Федорович* (1770-1846). Атлас к путешествию вокруг света капитана Крузенштерна [Изоматериал] / И. Ф. Крузенштерн. - В Санкт-Петербурге : гравировано и печатано при Морской типографии, 1813. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/51503> (Дата обращения 05.03.2023)
13. *Крузенштерн Иван Федорович* (1770-1846). Атлас к путешествию вокруг света капитана Крузенштерна [Карты] / И. Ф. Крузенштерн. - В Санкт-Петербурге : гравировано и печатано при Морской типографии, 1813. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/51502> (Дата обращения 05.03.2023)
14. *Ратманов М. И.* Первая русская кругосветная экспедиция (1803—1806) в дневниках Макара Ратманова / Ответственный редактор М. Н. Луньковский. — СПб : Крига, 2015. — 568 с.

# ВЛИЯНИЕ ВНЕЗАПНОГО СТРАТОСФЕРНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА ПОГОДУ ПОЛЯРНОГО РЕГИОНА

Ермакова Т.С., Кондратова М.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
m32161512@gmail.com

*Аннотация.* Рассматривается проявление внезапного стратосферного потепления (ВСП) в погоде полярного региона и связь волны холода с изменением циркумполярного вихря.

*Ключевые слова.* Внезапное стратосферное потепление (ВСП), волна холода, взаимодействие стратосферы и тропосферы, циркумполярный вихрь.

## IMPACT OF SUDDEN STRATOSPHERIC WARMING ON THE WEATHER OF THE POLAR REGION

Ermakova T.S., Kondratova M.A.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

*Annotation.* The manifestation of sudden stratospheric warming (SSW) in the weather of the polar region and the relationship between the cold wave and the change in the circumpolar vortex are considered.

*Keywords.* Sudden stratospheric warming (SSW), cold wave, interaction of the stratosphere and troposphere, circumpolar vortex.

Внезапное стратосферное потепление (ВСП) – потепление «взрывного характера» в стратосфере на высоте от 10 до 50 км. Может привести к очень холодной погоде в Америке, Европе и Сибири с повышенной вероятностью снежных бурь. Зимний Северный полюс окружен сильными западными ветрами, образующими, так называемый, стратосферный полярный вихрь, обычное явление, возникающее каждую зиму. Вовремя ВСП происходит повышение температуры воздуха над полюсом до 50°C в течение нескольких дней. В момент ВСП скорость ветра в стратосфере может существенно снизиться или направление ветра может измениться с западного на восточное.

В данной работе использовались данные реанализа MERRA-2: зональная составляющая ветра, температура и геопотенциал на высотах стратосферы с ноября по март с 1984 по 2012 гг. Периоды ВСП определялись двумя методами. В первом случае, строились средензональные значения температуры на 30 км и зональной компоненты ветра на 45 км (началом ВСП считался день, когда наблюдался резкий рост температуры), во втором случае ВСП определялось по аномалиям температуры и зональной компоненты ветра от климатических значений. Климатические значения определялись как средние с 1984 по 2012 гг. (периодом ВСП считался временной интервал, когда наблюдалась аномалия). В итоге, были получены даты восьми зим, когда наблюдалось ВСП: 25.12.1984 – 04.02.1985, 08.12.1987 – 05.01.1988, 08.01.1992 – 29.01.1992, 14.12.1998 – 10.01.1999, 08.12.2000 – 28.12.2000, 20.12.2003 – 20.02.2004, 20.01.2009 – 03.03.2009, 06.01.2012 – 01.02.2012. Для анализа геопотенциала строились его осредненные значения в слое 20-45 км по недельным периодам, бралась неделя до и после ВСП период самого потепления также делился на недели. Что бы проследить изменение приземной температуры и давления были взяты данные зондирования по 14 станциям (с сайта <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>): Данмарксхавн 76°46' с.ш. 40°76' з.д., Алерт 82°29' с.ш. 62°21' з.д., Инувик 68°21' с.ш. 133°43' з.д., Берроу 71°23' с.ш. 156°28' з.д., Черский 68°45' с.ш. 161°19' в.д., Чокурдах 70°37' с.ш. 147°54' в.д., Диксон 73°30' с.ш. 80°31' в.д., Тикси 71°38' с.ш. 128°52' в.д., Нарьян-Мар 67°38' с.ш. 53°00' в.д., Кандалакша 67°09' с.ш. 32°24' в.д., Станция имени Е.К. Федорова 70°26' с.ш. 59°05' в.д., Юрика 79°58' с.ш. 85°49' з.д., Резольют 74°41' с.ш. 94°49' з.д.

В качестве примера рассмотрим две зимы 1987 – 1988 и 1998 – 1999 гг. В первом методе выбираем период ВСП исходя из средензонального значения температуры на 77,5°-

87,5° с.ш. и зональной компоненты ветра на 62,5° с.ш. Резкое повышение температуры отмечается с 6 ноября 1987 и возвращается в норму к 28 декабря того же года (рисунок 1, нижняя левая панель). В это же время наблюдается уменьшение скорости зональной компоненты ветра, с последующим обращением с западного направления на восточное (рисунок 1, верхняя левая панель). Следовательно, это период ВСП.

Период ВСП для второй выбранной зимы определен тем же методом (рисунок 1 левые панели) повышение температуры и уменьшение зональной компоненты ветра фиксируется с 12 декабря 1998 изменения происходят до 14 января 1999 после чего температура начинает возвращаться к привычным значениям, а зональная компонента ветра вновь уменьшается. Возможно в данную зиму было несколько ВСП.

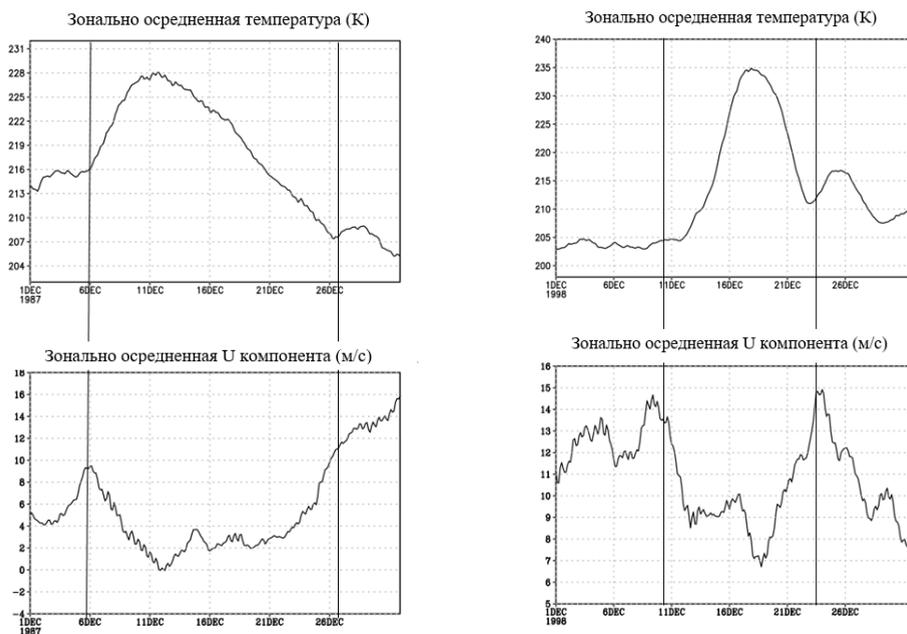
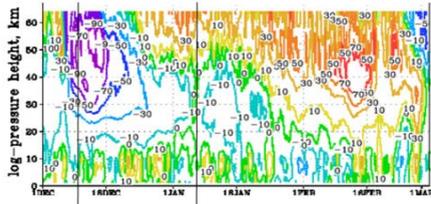


Рисунок 1 - График зонально осредненной компоненты ветра в м/с (верхние панели) и температуры, К (нижние панели) для периода с декабря по январь 1987 – 1988 (левые панели) и для периода с декабря по январь 1998 – 1999 (правые панели)

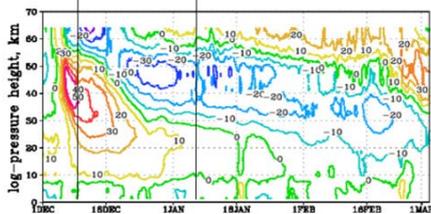
На рисунке 2 (нижняя левая панель) представлена аномалия температуры от климатических значений для зимы 1987-1988, которая достигает 50К 8 декабря 1987 г. Положительная аномалия температуры проявляется с 4-5 декабря, как и отрицательная осцилляция зональной компоненты ветра (рисунок 2, верхняя левая панель). Таким образом, период ВСП, определенный вторым методом начинается с 4 декабря и заканчивается, когда аномальные значения больше не наблюдаются, то есть 5 января 1988. Выделенный период на графике с 08.12.1987 (день максимальных аномалий) по 05.01.1988 (отсутствие аномалий). Полученные два периода ВСП отличаются друг от друга примерно на неделю.

Аномалия температуры от климатических значений и отрицательная осцилляция зональной компоненты ветра для второго периода ВСП представлена на рисунке 2 (правые панели). Максимальная аномалия температуры 1998г достигла 40К 18 декабря, спустя несколько дней после начала аномалии 13 – 14 декабря. Отрицательная осцилляция зональной компоненты ветра достигает аномальных значений в то же время. Таким образом, выделенный период вторым методом с 18.12.1998 по 10.01.1999г.

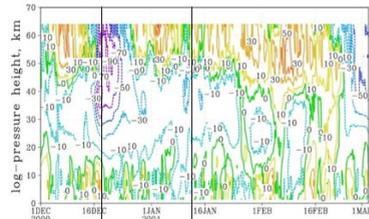
а) Зон. ветер – климат (м/с) 1987-1988, 62,5 с.ш.



б) Температура – климат (К) 1987-1988, 77,5 – 87,5 с.ш.



а) Зон. ветер – климат (м/с) 1987 – 1988, 62,5 с.ш.



б) Температура – климат (К) 1987 – 1988, 77,5 – 87,5 с.ш.

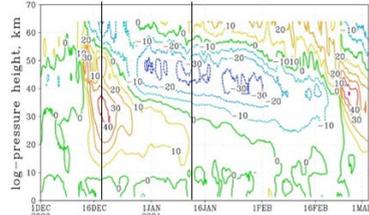


Рисунок 2 - Осцилляция зональной компоненты ветра в м/с, частота изолиний 10 м/с (верхние панели) и аномалия температуры (К), частота изолиний 10К (нижние панели) для зимы 1987 – 1988 гг. (левые панели) зимы 1998– 1999 гг. (правые панели)

Анализ приземной температуры и давления проводился с учетом обоих периодов, а также с днем наступления максимальной аномалии.

На Рисунке 3 продемонстрировано распределение приземной температуры воздуха (оранжевая линия) и атмосферного давления (синяя линия) для станций полярного региона. Представлены результаты не на всех 14 станциях, а наиболее интересные. Зеленым цветом отмечен период ВСП, который был определен первым методом, черным – период с момента максимальной аномалии температуры и осцилляции ветра до восстановления типичной термодинамической обстановки в зимней полярной стратосфере.

Волна холода отмечается не на всех станциях. Наиболее выражена она на станциях Тикси, им. Федорова и Черский. Похолодание отмечается с началом ВСП в стратосфере. На станциях Данмарксван, Алерт и Юрика понижение температуры отмечается только с 8 декабря. На остальных станциях существенного изменения температуры не отмечается, что связано с тем, что стратосферный полярный вихрь в момент ВСП отклоняется от Северного полюса не равномерно во всех направлениях.

Не равномерность отклонения циркумполярного вихря подтверждает рисунок 4. До ВСП центр циклона находится в районе Новой Земли, в течении Периода ВСП циклон становится менее выраженным после чего вновь начинает зарождаться со смещением в сторону Чукотки. В регионе куда смещается циклон понижение температуры наиболее сильное.

Падение температуры в период второго ВСП фиксируется на всех станциях, проследить изменение приземной температуры воздуха и давления можно по рисунку 5. На станции Нарьян-Мар падение температуры начинается одновременно с началом ВСП. Спустя примерно неделю после начала ВСП падение температуры начинается на станциях Берроу и Инувик. На станциях Данмарксван и Юрика падение температуры выражено слабее, но присутствует также во время всего ВСП.

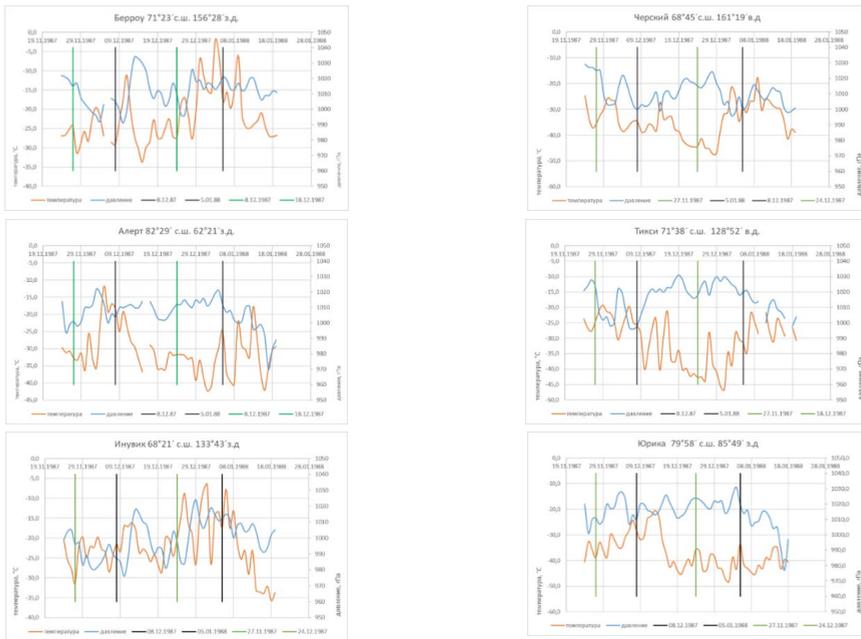


Рисунок 3 - Приземный ход температуры воздуха в °С и давления в гПа в период с 24.11.1987 по 19.01.1988.

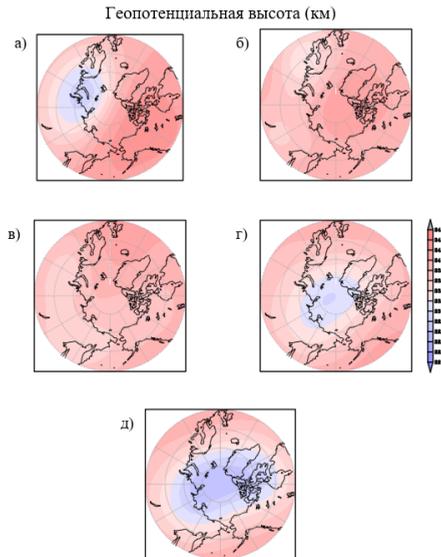


Рисунок 4 – Средненное значение геопотенциальной высоты в км а) неделя до ВСП с 30.11 по 07.12 1987 б), в), г) последовательно три недели во время ВСП 1987 – 1988гг д) неделя после ВСП с 24.12 по 05.01 1988 г.

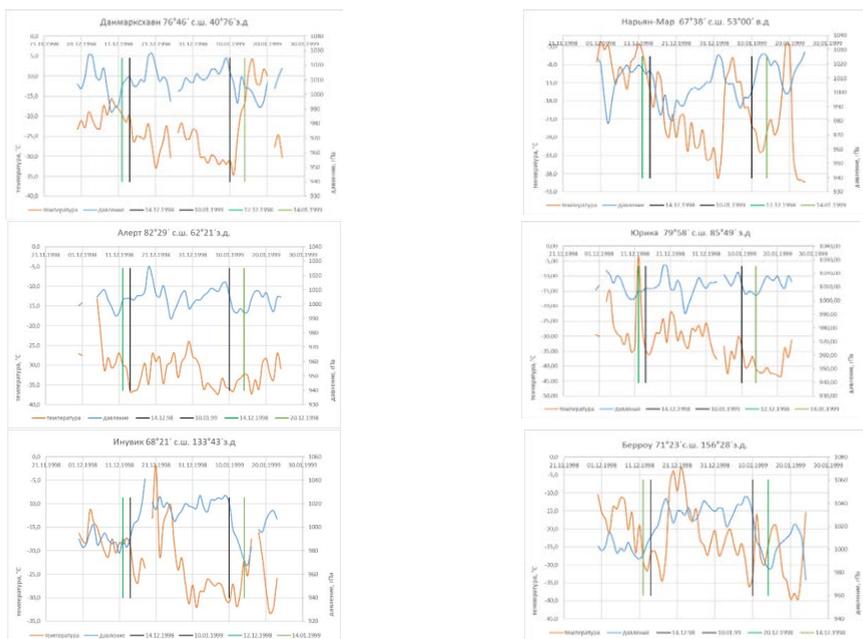


Рисунок 5 - Приземный ход температуры воздуха в °С и давления в гПа в период с 24.11.1998 по 19.01.1999

Во втором случае ВСП геопотенциальная высота растет с началом ВСП и восстанавливается с его окончанием (рисунок 6). Смещение вихря происходит от полуострова Таймыр до Гренландии. На станциях в Канаде отмечается наибольшее падение температуры.

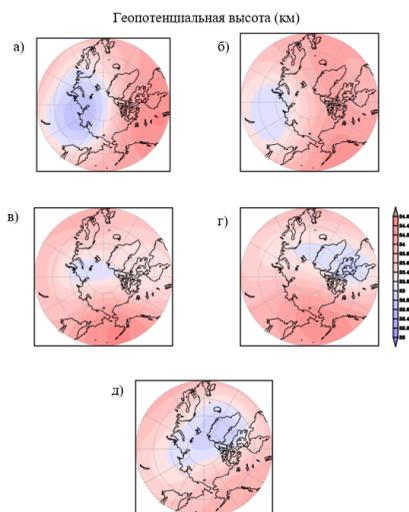


Рисунок 6 – Средненное значение геопотенциальной высоты в км а) неделя до ВСП с 07.12 по 14.12.1998 б), в), г) последовательно три недели во время ВСП 1998 – 1999гг д) неделя после ВСП с 03.01 по 10.01.1999 г.

В период первого ВСП с 08.12.1987 по 05.01.1988 циркумполярный вихрь смещался от Новой Земли в сторону Чукотки. Максимальная волна холода отмечается в районе Чукотки. На станции Черский падение составляет 20° за две недели.

Во время второго ВСП с 14.12.1998 по 10.01.1999 самое сильное похолодание отмечено на станции Инувик, север Канады, 30°C за 10 дней, при смещении вихря от Таймыра до Гренландии.

#### Список литературы

1. Варгин П. Н., Е.М. Володин и др. О стратосферно тропосферных взаимодействиях // Вестник РАН. – 2015. – том 85, № 1, с. 39–46
2. WMO Commission for Atmospheric Sciences Abridged Final Report of the Seventh Session, Manila, 27 February- 10 March 1978. WMO No. 509. (p. 36, item 9.4.4)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЕЛЕНГАЦИИ РАДИОЗОНДА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
ivanowat04@gmail.com

*Аннотация.* Рассмотреть с помощью метода Монте-Карло, как погрешности влияют на показания радиозонда.

*Ключевые слова.* Метод Монте-Карло, погрешность, пеленгация, моделирование, радиозондирование.

### MONTE CARLO SIMULATION OF RADIOSONDE DIRECTION FINDING ERRORS

Voskanyan K.L., Ivanova T.I., Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S.

Russian State Hydrometeorological University

*Annotation.* Consider using the Monte Carlo method how errors affect the radiosonde readings.

*Keywords.* Monte Carlo method, error, direction finding, modeling, radiosonding.

В настоящее время аэрологическое зондирование атмосферы с помощью радиозондов, датой рождения которого является 30 января 1930 года, продолжает оставаться одним из важнейших способов получения метеорологической информации. Конечно, по сравнению с первым радиозондом профессора П.А. Молчанова современные аэрологические комплексы претерпели существенное изменение и продолжают совершенствоваться. Одним из направлений такого совершенствования является повышение точности определения координат радиозонда с помощью специализированных РЛС. В табл. 1 представлены погрешности пеленгации современными отечественными РЛС. [1]

Таблица 1. Погрешности существующих аэрологических РЛС

Радиолокационные станции	АВК-1	МАРЛ-А	Вектор
$\Delta\alpha$ , градусы	0.2	0.12	0.05
$\Delta\beta$ , градусы	0.2	0.12	0.05
$\Delta D$ , м	30	45	15

Из анализа данных таблицы 1 следует, что аэрологические РЛС заметно отличаются между собой по точности пеленгации радиозонда. В связи с этим определен интерес представляет исследование влияния погрешностей пеленгации на точность зондирования вертикальных профилей скорости и направлений ветра в свободной атмосфере. Для решения этой задачи была создана программа для ПЭВМ, которая позволяла производить расчет скорости и направления ветра по данным РЛС.

Алгоритм расчета представлен на рисунке 1 [1-Практикум]. Здесь в декартовой системе координат проекции положения радиозонда на горизонтальную поверхность в различные моменты времени обозначены как  $x_i$  и  $y_i$ ,  $t_i$  – время, прошедшее с момента запуска радиозонда,  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  – соответственно вертикальный и горизонтальный углы, измеренные радиолокатором в моменты времени  $t_i$ ,  $D_i$  – наклонная дальность,  $H_i$  – высота радиозонда над поверхностью земли,  $V_{i,i-1}$  и  $d_{i,i-1}$  – средняя скорость и направление ветра в слое высот  $H_i$  и  $H_{i-1}$  и приписываемы высоте середины этого слоя,  $i = 1, 2, \dots$ ;  $t_0 = 0$  (мин);  $x_0 = 0$  (м);  $y_0 = 0$  (м).

$$\begin{aligned}
 H_i &= D_i \sin \alpha_i \\
 x_i &= H_i \operatorname{ctg} \beta_i \cos \alpha_i \\
 y_i &= H_i \operatorname{ctg} \beta_i \sin \alpha_i \\
 \Delta t_{i,i-1} &= t_i - t_{i-1} \\
 \Delta x_{i,i-1} &= x_i - x_{i-1} \\
 \Delta y_{i,i-1} &= y_i - y_{i-1} \\
 \Delta V_{i,i-1} &= \frac{\sqrt{\Delta x_{i,i-1}^2 + \Delta y_{i,i-1}^2}}{60 \Delta t_{i,i-1}} \\
 \gamma_{i,i-1} &= \operatorname{arctg} \left| \frac{\Delta y_{i,i-1}}{\Delta x_{i,i-1}} \right| \\
 d_{i,i-1} &= \begin{cases} 180^\circ + \gamma_{i,i-1} & \text{если } \Delta x_{i,i-1} > 0 \quad \Delta y_{i,i-1} > 0 \\ \gamma_{i,i-1} & \text{если } \Delta x_{i,i-1} < 0 \quad \Delta y_{i,i-1} < 0 \\ 360^\circ - \gamma_{i,i-1} & \text{если } \Delta x_{i,i-1} < 0 \quad \Delta y_{i,i-1} > 0 \\ 180^\circ - \gamma_{i,i-1} & \text{если } \Delta x_{i,i-1} > 0 \quad \Delta y_{i,i-1} < 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рисунок 1 - Алгоритм обработки первичных радиолокационных данных [1]

Как следует из анализа данных рис. 1, исходной информацией для проведения расчетов являются вертикальные и горизонтальные углы и наклонные дальности, измеренные в различные моменты времени. Следовательно, для исследования влияния погрешностей пеленгации на точность радиозондирования необходимо:

- произвести расчет вертикальных профилей скорости и направления ветра по данным, полученным от РЛС (считая, что они не содержат ошибок измерения);
- внести в данные пеленгации погрешности измерений;
- произвести расчет вертикальных профилей скорости и направления ветра по данным, содержащим погрешности измерения;
- путем сравнения данных расчета с точными пеленгационными данными и с данными, содержащими погрешности, оценить влияние этих погрешностей на точность измерений вертикальных профилей скорости и направления ветр.

В реальном случае погрешности в пеленгационных данных не являются постоянными (детерминистическими), а носят случайный характер. Поэтому при исследовании влияния таких погрешностей на точность зондирования вертикальных профилей скорости и направления ветра целесообразно учесть именно такой характер «поведения» погрешностей. Это можно осуществить с использованием метода статистических испытаний или метода Монте-Карло.

Метод Монте-Карло состоит в том, что задаются статистические характеристики погрешностей измерения. С использованием генератора случайных чисел рассчитываются случайные погрешности с нужными статистическими свойствами и многократно вносятся в точные данные. В нашем случае предполагалось, что погрешности имеют нормальный закон распределения с нулевым средним (это предполагает отсутствие систематической погрешности) и заданным среднеквадратическим отклонением (СКО) от этого среднего. Такая величина СКО интерпретируется как случайная погрешность измерений и указывается в паспорте измерительного прибора.

Функция плотности вероятности нормального распределения случайной величины  $\tau$  представлена ниже. Здесь  $a$  – среднее значение,  $\sigma$  – СКО случайных величин от среднего.

$$p(\tau) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\tau - a)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Расчет погрешностей измерения координат радиозонда производился по следующей схеме.

1. С помощью оператора **Rnd** определяются пара псевдослучайным числам  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , имеющим равномерный закон распределения на промежутке  $[0, 1]$ .
2. По каждой такой паре рассчитываются два псевдослучайных числа  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , имеющих нормальный закон распределения с нулевым средним и единичным СКО:

$$\lambda_1 = \cos(2\pi\gamma_2)\sqrt{-2\ln\gamma_1} \quad \lambda_2 = \sin(2\pi\gamma_2)\sqrt{-2\ln\gamma_1}$$

3. Полученные числа  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  пересчитываются в псевдослучайные числа, имеющие среднее значение  $a$  и СКО  $\sigma$ , по следующей формуле:

$$\tau_i = a + \sigma \lambda_i, \quad i = 1, 2, \dots \quad [2]$$

Проиллюстрируем использование предложенного алгоритма на данных, представленных в таблице 2 (высота станции над уровнем моря 70 м, направление ветра у земли 220 градусов, скорость 3 м/с). Для этого с помощью табличного процессора переведем пеленгационные данные в цифровую форму (табл. 3).

*Таблица 2 - Пример представления первичных данных аэрологического радиозондирования атмосферы*

012_г.txt   Данные радиолокационного зондирования за 08-06-1987.					
ЗОНД №: 1		станция №: 26003		Высота станции: 70 м	
широта: 60°		долгота: 30			
P = 999.3 гПа		T = 19.6 °C		U = 51 %	
Ветер: 22003		Высота солнца: 46°			
" Сертификат "					
R01 = 30.480		R02 = 30.480		Q0p = 1600	
A = 0.14477		B = 4222.13		C = 92.060	
K = 120.2		M = -6.7		M = -0.09	
T[мин]	У.м. [ДУ]	Азм. [ДУ]	Дальн[м]	T[мин]	Q[мкс]
0.5	5.89	8.36	190	0.2	2024
1	5.32	7.94	390	0.7	2062
1.5	5.01	8.27	590	1.2	1983
2	4.79	8.05	690	2.2	2106
2.5	4.93	8.22	890	3.5	2033
3	4.99	8.29	1110	3.9	2160
4	5.40	8.32	1340	4.2	1981
5	5.92	8.58	2030	5.3	2253
6	5.94	9.23	2590	5.5	1580
7	5.51	9.45	3140	6.3	1844
8	5.05	9.66	3840	6.4	2327
9	4.71	9.78	4600	7.1	1909
10	4.45	9.78	5370	8.2	2391
12	4.01	10.06	6990	9.4	1580
14	3.79	10.28	8910	9.6	2465
16	3.42	10.52	11030	9.8	1582
18	3.23	10.65	13270	10.4	2308
20	2.99	11.01	16090	11.3	1983
22	2.76	11.27	19510	11.5	2193
24	2.64	11.34	22830	11.8	2487
26	2.55	11.46	25790	12.2	2179
28	2.46	11.76	29030	13.3	1586
30	2.35	12.21	33130	14	2610
32	2.23	12.66	37360	15.1	2723
34	2.16	13.08	42060	15.7	1583
36	2.06	13.46	46670	16.3	2131
38	1.99	13.59	51410	16.9	2832
40	1.97	13.66	54990	17	1585
42	2.09	13.67	57940	17.5	2864
44	1.99	13.62	62960	17.9	2182
46	2.01	13.54	65070	19.3	2985
48	2.05	13.61	67070	20	1586
50	2.09	13.63	68010	21.2	3110
				21.4	1587
				22	2204
				22.7	2262
				24	3503
				24.3	1587

Таблица 3 – Фрагмент исходной телеметрической информации от аэрологического радиолокатора, переведенный из текстового формата в цифровой

	A	B	C	D
1	0.5	5.89	8.36	190
2	1	5.32	7.94	390
3	1.5	5.01	8.27	590
4	2	4.79	8.05	690
5	2.5	4.93	8.22	890
6	3	4.99	8.29	1110
7	4	5.4	8.32	1540
8	5	5.92	8.58	2030
9	6	5.94	9.23	2590
10	7	5.51	9.45	3140
11	8	5.05	9.66	3840
12	9	4.71	9.78	4600
13	10	4.45	9.78	5370
14	12	4.01	10.06	6990
15	14	3.79	10.28	8910

На рисунке 2 представлен ансамбль из пяти реализаций случайных погрешностей измерений угловых координат при СКО = 0.5 градуса.

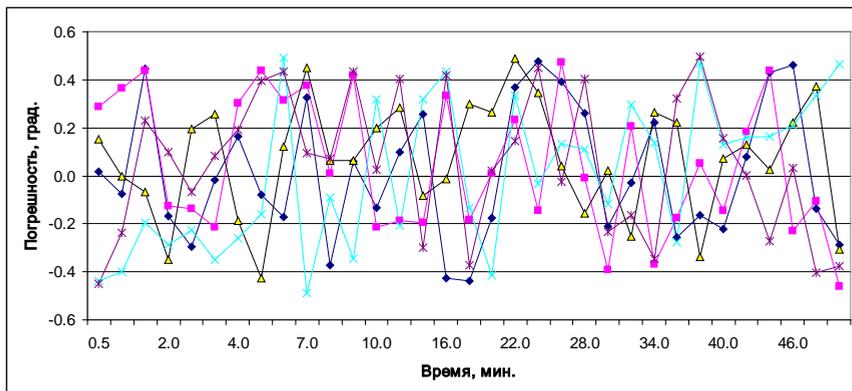


Рисунок 2 - Пять реализаций погрешностей измерений угловых координат при СКО=0.5 градуса

На рисунке 3 представлен ансамбль из пяти реализаций случайных погрешностей измерений наклонной дальности при СКО = 50 м.

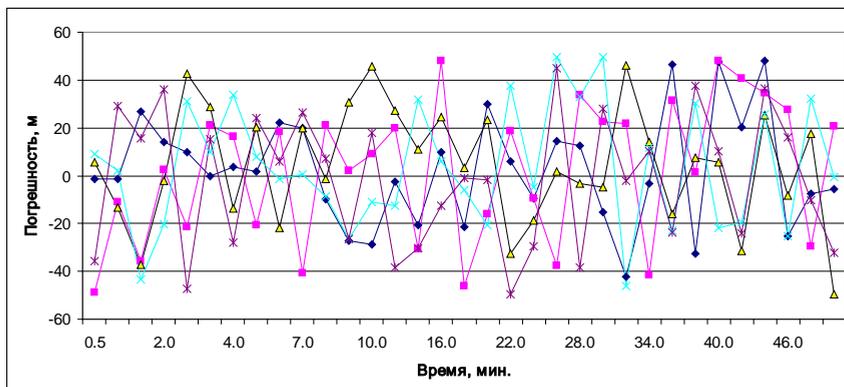


Рисунок 3 - Ансамбль из пяти реализаций случайных погрешностей измерений наклонной дальности при СКО = 50 м.

#### Список литературы

1. Восканян К.Л., Екатериничева Н. К., Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Практикум по аэрологическим методам зондирования окружающей среды // Учебное пособие. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2020.- 267 с.
2. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование: методы Монте-Карло /. - М.: Академия, 2006. - 366 с.

### ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ ПО ДАННЫМ ДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

Восканян К.Л., Кабанова А.Д.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

*kvosia@mail.ru, kabanova\_20015@mail.ru*

*Аннотация.* В работе исследована изменчивость метеорологических параметров по данным дорожной автоматической метеорологической станции, установленной на мостовом переходе.

*Ключевые слова:* дорожные автоматические метеорологические станции, температура и влажность воздуха, направление ветра.

### VARIABILITY OF METEOPARAMETERS ACCORDING TO ROAD STATION DATA

Vosksnyan K.L., Kabanova A.D.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The paper investigates the variability of meteorological parameters according to the data of a road automatic meteorological station installed at a bridge crossing.

*Key words:* automatic road meteorological stations, air temperature and humidity, wind direction.

Метеорологическое обеспечение дорожного хозяйства посредством получения данных о параметрах атмосферы с автоматических дорожных метеорологических станций [1,2] позволяет дополнить информацию, получаемую от Росгидромета, и удовлетворить

потребности дорожной отрасли. Актуальна установка дорожных станций на сложных инженерных сооружениях большой протяженности, таких как мостовые переходы (что связано с различием физико-температурных свойств искусственных сооружений, основной части дороги [3]). Особенно в местах, где стационарные метеостанции или посты находятся на достаточно большом удалении от объекта. Данные с таких станций позволяют не только оперативно реагировать дорожным службам на появление различных метеорологических явлений на поверхности дорожного полотна, но и дополнить информацию для составления более точного прогноза погоды для района установки, а так же исследовать влияние реки на погоду в близлежащих районах [1].

Цель работы: исследовать изменчивость метеорологических параметров на мостовом переходе в разные сезоны года по данным дорожной станции.

В работе исследованы данные дорожной метеорологической станции с мая 2021 года по апрель 2022 г., установленной на мостовом переходе (рис.1), протяженность которого более полутора тысяч метров[1].



Рисунок 1 – Исследуемый мостовой переход

Метеорологические данные с дорожной станции записаны в архив и представлены в текстовом формате (рис. 2). Архив содержит информацию о направлении и скорости ветра, температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении и интенсивности атмосферных осадков за одиннадцатимесячный период с мая 2021 года по апрель 2022 года. Все метеорологические параметры в архивном файле имеют периодичность измерений 8 минут

	мин направление ветра	среднее направление ветра	максимальное направление ветра	скорость ветра мин	скорость сред	скорость макс	температура воздуха	влажность	давление
2021-05-19T15:03:37.935	129,125	301,5	341,125	3,4625	4,5625	5,5	9,3375	36,9125	1015,31
2021-05-19T15:11:33.671	76,8	312	334,5	3,28	3,88	4,71	9,4	36,6	1015,31
2021-05-19T15:19:29.407	27,1	77,8	311,6	2,99	4,66	5,93	9,32	37	1015,35
2021-05-19T15:27:25.144	75,6	305,5	323	2,32	3,54	4,71	9,4	38,39	1015,32
2021-05-19T15:35:20.880	27,875	49,25	330,5	2,8125	4,6375	6,1	9,35	38,2625	1015,3
2021-05-19T15:43:16.616	13,5	105,9	339,5	3,59	4,37	5,27	9,12	38,3	1015,28
2021-05-19T15:51:12.353	82,7	144,8	310,9	3,01	4,03	4,94	9,05	38,62	1015,28
2021-05-19T15:59:08.089	203,7	203,9	348,9	3,78	4,49	5,36	9,14	40,09	1015,25
2021-05-19T16:07:03.825	58	91,125	346,625	3,65	4,475	5,8	9,1375	39,6375	1015,2
2021-05-19T16:14:59.562	108,2	244,4	347,5	3,07	4,26	5,26	9,03	39,53	1015,16
2021-05-19T16:22:55.298	10,4	247,1	337,6	3,27	4,33	5,13	9,18	37,85	1015,16

Рисунок 2 – Фрагмент архивного файла

При проведении контроля качества данных на разрывы и выбросы [4] в архивном файле были выявлены несколько периодов с неменяющимися данными метеопараметров. Это можно объяснить некорректной записью информации в архивную базу данных. Восстановление данных за достаточно большой промежуток времени в несколько месяцев не представлялось возможным, и имеющийся архивный ряд был разбит на несколько отрезков (до и после появления некорректной записи в текстовом файле).

Для начала дадим краткое климатическое описание рассматриваемого региона. Мостовой переход расположен в регионе с континентальным климатом. Затяжные холодные

зимы начинаются со второй половины октября и продолжаются до середины апреля. Сопровождаются зимы частыми метелями и устойчивыми морозными днями. Лето в регионе прохладное и короткое [5].

Рассмотрим изменчивость метеопараметров на мостовом переходе на примере одного из летних месяцев (июль) и одного из зимних месяцев (январь). Графики изменения метеовеличин в июле показаны на рисунке 3.

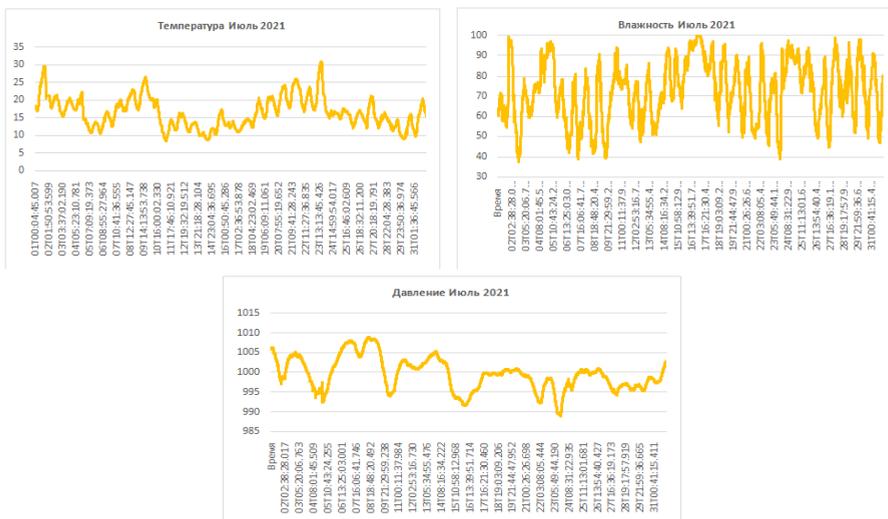


Рисунок 3 – Изменчивость температуры, влажности воздуха и атмосферного давления по данным дорожной станции на мостовом переходе (июль)

Нельзя сказать, что июль был жарким месяцем в регионе, среднемесячная температура воздуха была несколько ниже, чем климатическая норма ( $18^{\circ}\text{C}$ ), и составила  $16,5^{\circ}\text{C}$ . В течение всего месяца наблюдается четкий суточный ход. Ночи достаточно холодные, например, 11 июля наблюдалась самая холодная ночь, температура воздуха опустилась до  $8,4^{\circ}\text{C}$ . В дневное время температура воздуха выше раз за месяц понималась выше  $22^{\circ}\text{C}$  (средняя максимальная температура по региону).[5]. Очень тепло было 23 июля, в этот день температура воздуха достигла своего максимума и составляла  $31,1^{\circ}\text{C}$ , что на  $14,6^{\circ}\text{C}$  выше среднемесячной температуры. При этом в этот день наблюдалось самое низкое атмосферное давление за месяц ( $988,9$  гПа). Среднее значение относительной влажности было  $72,5\%$ . Наименьших значений относительная влажность достигла 3 июля ( $38\%$ ), наибольших 17 июля. Пасмурных дней по данным дорожной станции в июле было не много, в основном они сопровождались легким дождем.

В начале января с 7 на 8 января в город пришёл мощный циклон. В эти дни наблюдался очень резкий перепад температуры и давления (рис. 4). Самая низкая температура воздуха наблюдалась 7 января и составила минус  $31^{\circ}\text{C}$ . 8 января под влиянием циклона температура воздуха достигла максимального значения за месяц ( $-3,3^{\circ}\text{C}$ ). К 8 января давление очень быстро упало с  $1021$  гПа до  $986,1$  гПа. Значения относительной влажности достигли отметки  $100\%$  (единственный случай за месяц). На протяжении суток (7-8 января) в регионе наблюдалась плохая погода, которая сопровождалась сильным снегом облачностью в 10 баллов.

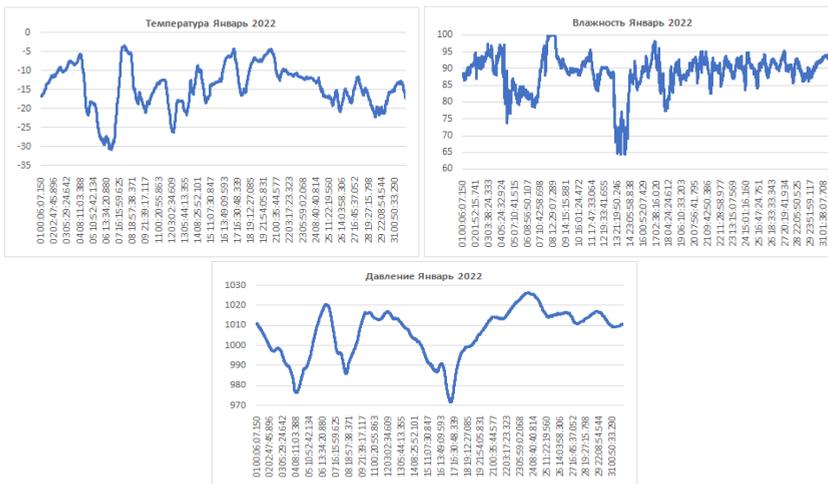


Рисунок 4 – Изменчивость температуры, влажности воздуха и атмосферного давления по данным дорожной станции на мостовом переходе (январь)

Среднее значение атмосферного давления в январе составило 1006,3 гПа. Самое высокое атмосферное давление наблюдалось 24 января и составило 1026,5 гПа. В течение месяца давление всего 2 раза снижалась ниже 990 гПа, и один раз достигло своего минимума за месяц (971,6 гПа). В январе почти не было ясных дней, среднее значение влажности составило 88,8%, а температуры воздуха  $-14,3^{\circ}\text{C}$  (что выше климатической нормы по региону).[5] Наименьших значений (64%) относительная влажность достигла 14 января.

Теперь на примере данных о направлении ветра посмотрим изменчивость данных на мостовом переходе за летний осенний и зимний период (рис. 5).

Анализ направления ветра в точке установки дорожной станции показал достаточно сильную изменчивость от месяца к месяцу. В июне и июле преобладает ветер северо-восточного направления, августе – восточного, в сентябре, октябре и декабре – юго-западного, южного и юго-восточного соответственно. В январе и феврале отмечено значительное преобладание ветров южного направления.

Такая изменчивость связана как с климатическими особенностями региона, так и с близостью полноводной реки [6].

Сравнение данных дорожной станции с климатическими данными по региону[5] позволило обнаружить некоторые различия. Например, согласно климатическим данным, северное направление ветра преобладает с конца апреля по середину августа, тогда как данные дорожной станции не фиксируют преобладания ветров северного направления. А в период с сентября по апрель климатические данные (преобладание ветров южного направления) и данные дорожной станции совпадают чаще. Конечно, для более корректного сравнения с климатической нормой стоит использовать данные дорожной станции за более длительный период, но на данный момент такой возможности нет, что связано с периодом эксплуатации АДМС (с 2021 г.).

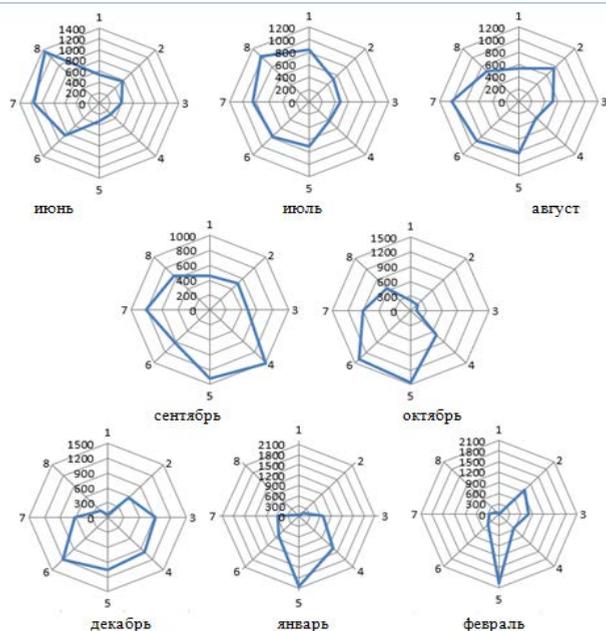


Рисунок 5 – Розы ветров по данным АДМС с мостового перехода

Также, в дальнейшем, представляется интересным сравнить данные полученные на мостовом переходе и данные, полученные с ближайшей метеорологической станции.

### Список литературы

1. Кабанова А.Д. Изменчивость направления ветра по данным дорожной метеорологической станции при обслуживании мостового перехода. Международный студенческий форум 2023 (электронный ресурс) <https://files.scienceforum.ru/pdf/2023/63db90d24b12d.pdf>
2. Самодурова Т.В. Оперативное управление зимним содержанием дорог. Научные основы: Монография. — Воронеж: Изд-во Воронеж гос. ун-та., 2003. – 168 с.
3. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 1. Тактико-технические характеристики. Учебное пособие. — Санкт-Петербург, РГГМУ, 2016. – 170 с.
4. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 2. Цифровая обработка данных автоматических метеорологических станций. Практикум.- СПб.: РГГМУ. – 2015.- 99 с.
5. Погода круглый год в любой точке Земли (электронный ресурс) <https://ru.weatherspark.com>
6. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. //Л.: Гидрометеиздат, 1976. – с. 677.

## ОСОБЕННОСТИ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА МИНСКА

Кишкурно А.А., Кашлева Л.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*Lissi665@yandex.ru*

*Аннотация.* Рассмотрен вопрос об особенностях острова тепла мегаполиса Минска с помощью результатов современных исследований.

*Ключевые слова.* остров тепла, остров сухости, антропогенное загрязнение, фоновые станции, республика Беларусь.

## FEATURES OF URBAN HEAT ISLAND OF MINSK CITY

Kishkurna H. A., Kashleva L.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The question of the features of urban heat island of the metropolis Minsk is being considered with the help of the modern research results.

*Keywords.* heat island, dryness island, anthropogenic pollution, background stations, Republic of Belarus.

Введение. Городской остров тепла (ГОТ) является отражением суммы микроклиматических изменений, связанных с антропогенными преобразованиями городской поверхности, такие как различие в радиационном и турбулентном обмене. Указанные контрасты наиболее ярко проявляются в ясную спокойную погоду ночью.

Так как города постоянно развиваются в антропогенных масштабах, то проблема острова тепла не только не теряет свою актуальность, а наоборот приобретает еще большую значимость в корреляции с ростом городов.

Впервые остров тепла в Минске описал Гольберг, взяв для сравнения 1960-1964 года, где среднемесячные температуры были выше на 0,2-0,6 градусов, чем в пригородной зоне. Также было доказано, что благодаря сочетанию меньшей абсолютной влажности и более высокой температуры воздуха привело к тому, что относительная влажность меньше на 3-6 процентов, чем в пригороде, что обуславливает в городе увеличение сухих дней. В городе выпало на 31 мм больше осадков, чем в пригороде из-за образования дополнительной облачности [1].

1. Анализ исследований Острова тепла мегаполиса Минск за 2020-2021 гг

В настоящее время было проведено исследование по изменению температуры воздуха в Минске за 2020-2021 гг. по данным автоматических метеорологических станций, были использованы 7 метеодатчиков в городе, дорожные измерительные станции и 2 метеостанции в пригороде [2].

По таблице 1 видно разницу распределения температур в пригороде и в самом городе, а также разницу по метеостанциям в городе, которая объясняется разной подстилающей поверхностью.

На рисунке 1 представлена многолетняя климатическая характеристика температуры воздуха для г. Минска за период 2020–2021 гг. Видно, что наибольшие значения (8,7–8,9 °С) температуры воздуха характерны для северозападной и центральной и юго-восточной части города (основной промышленный центр города, спальные районы и локальные промышленные зоны). Прохладные (7,1–7,4 °С) зоны наблюдаются на севере, северо-востоке и юго-западе (соответственно - пойма р. Свислочь, лесопарковые зоны и большие водоемы).

Таблица 1 – Средняя температура воздуха (°C) для АМС и ДИС в г. Минске и пригороде за период 2020–2021 гг.

АМС	Шаранговича	Бобруйская	Корженевского	Тимирязева	Богдановича	Независимости	Радиальная		Уручье	
Тер за 2020-2021, С	7,87	8,41	7,86	8,64	8,04	8,29	8,04		7,71	
Тер июнь	19,58	20,34	19,93	20,13	19,53	20,11	19,90		19,20	
Тер февраль	-2,50	-3,02	-2,55	-2,13	-2,75	-2,17	-2,45		-2,78	
ДИС	Цна	Чижовка	Кунцевщина	Хаткежино	Слобода	Раубичи	Привольный	Горошки	Аэропорт М2	Самохваловичи
Тер за 2020-2021	8,24	8,46	8,40	7,79	7,74	7,78	8,03	7,65	7,53	7,89
Тер июнь	19,10	19,82	20,37	18,72	18,90	19,37	19,00	18,72	18,80	19,45
Тер февраль	-2,46	-2,40	-2,45	-2,88	-2,74	-2,78	-2,68	-2,64	-2,95	-2,77

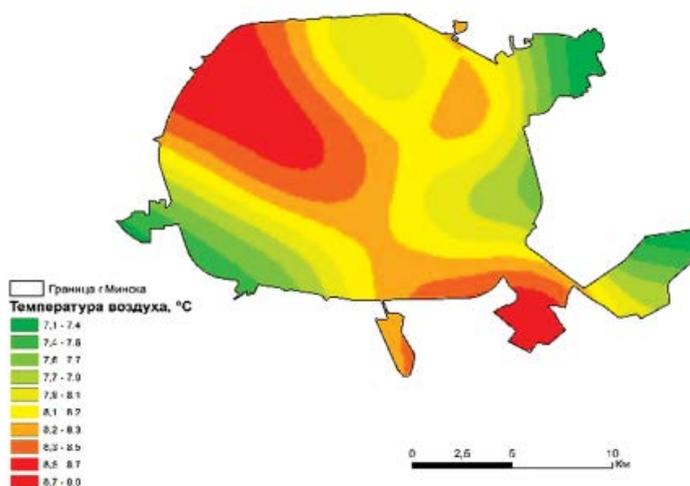


Рисунок 1 – Карта распределения средней температуры воздуха г. Минска за период 2020–2021 гг.

Было выявлено, что амплитуда разницы температуры воздуха пригорода и центра города достигает 2 °C летом, и 1 °C – зимой. Если сравнивать с исследованиями ГОТ г. Минска 70-годов, то современные значения ГОТ выше примерно 0,5°C.

Хоть мы не можем утверждать о полной безошибочности данных автоматических метеостанций, мы примем их за относительный показатель климата Минска ввиду отсутствия иных данных температуры в воздухе города.

Также было проведено исследование острова тепла по спутниковым снимкам Landsat-8. Для работы были выбраны снимки на 11 июня 2020 г. (9:00 UTC), ввиду того, что снимки спутника Landsat-8 без облачности были доступны только в эти дни, где наблюдались антициклональные погодные условия и только в это время [3].

Все расчеты производились по 10 каналу (Band) снимков спутника. Полученная карта LST (рисунок 2) далее редактировалась в QGIS, где выбирались цветовые заливки, рисовались необходимые слои и редактировалась итоговая карта. Разрешение карты - 30 метров в одном пикселе. В качестве исходных данных для выделения промышленных зон

был использован генеральный план г. Минска и векторные данные Open Street Maps (OSM) (граница г. Минска).

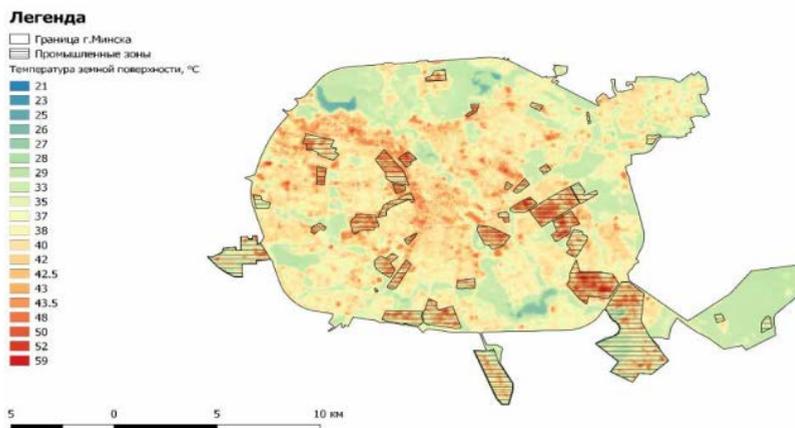


Рисунок 2 – Карта температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 11 июня 2020 г.

Так как зимой амплитуда температур почти не разнится, мы проанализировали карту температур за июнь, где видно, что большинство крупных температурных положительных аномалий совпадает с расположением промышленных зон. Также в летний период жилые многоэтажные кварталы имеют повышенные значения температуры поверхности (Красный Бор, Масюковщина, Каменная Горка, Центр, Осмоловка, Веснянка и др.), что связано с высокой долей площади бетона и асфальта.

Был сделан вывод, что в летнее время года возрастает влияние промышленных зон Минска, где температура земной поверхности в этих зонах может в 2 раза превышать температуру других частей города. Летом водоемы, объекты гидрографии и лесные зоны подвержены меньшему тепловому нагреву за счет высокой отражательной способности воды и ее уникальных свойств теплоемкости, широких крон деревьев. Жилые районы с высокой плотностью и высотой зданий подвержены большему тепловому воздействию, в отличие от частного жилого сектора.

2. Анализ данных о температуре в городской застройке и пригородах г. Минск за 2022 год.

Для анализа современных особенностей острова тепла мегаполиса Минск были использованы 10 метеодатчиков в городе, метеостанция на краю города и в аэропорте Минск (рисунок 3). Был выбрано дата 7 июля 2022, и так как остров тепла лучше всего проявляется в тихую безоблачную ночь, мы выбрали время 1 час ночи.

Изучив карту, видно что максимальные температуры приходятся на промышленные зоны и зоны застройки, минимальные температуры - на лесопарковые зоны и зоны пригорода. Максимальная разница между температурами в промышленной части города и пригородом составила 6 °С, что является существенным показателем.

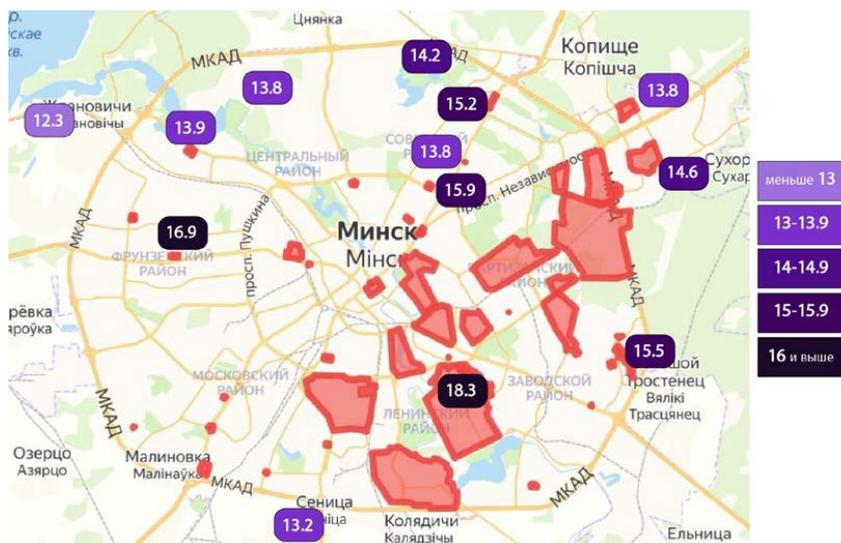


Рисунок 3 – Карта температур земной поверхности и расположение промышленных зон г. Минска на 11 июня 2022 г.

**Заключение.** В работе был рассмотрен вопрос об особенностях острова тепла города Минска. Были проанализированы результаты работ, выполненных за последние 3 года.

Автором были изучены данные с автоматических метеостанций за 2020-2022 года, а также данные со спутниковых снимков. Показано, что остров тепла присутствует в большей мере летом в промышленных частях городах и в жилых комплексах и температура в промышленных зонах и пригородах может отличаться на 6°C.

В заключение отметим, что изучение особенностей острова тепла Минск необходимо продолжить, так как исследование единичных случаев городского острова тепла не дают полной картины изменения температурного поля г.Минска. Отдельные анализы летних дней по автоматическим метеостанциям и снимкам со спутника являются неполноценными для исследования городского острова тепла.

Результаты помогут для выполнения планировочных работ градостроительства и для обеспечения развития городской среды, помогут для нахождения новых урбанистических решений снижения острова тепла.

### Список литературы

1. Гольберг М. А. Климат Минска / М. А. Гольберг. – Мн.: Выш. шк., 1976. – 288 с.
2. Шлендер Т. В., Чумаков Е. А. Изменение температуры воздуха в г. Минске за период 2020–2021 гг. по данным автоматических метеорологических станций - Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ, Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики.
3. Шлендер Т. В., Жуковская Н. В. Изучение теплового загрязнения г.Минска в летнее и зимнее время года по данным спутника Landsat-8 - Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ, Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики.

## АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИЙ ЮЖНЫХ ЦИКЛОНОВ, ВЫХОДЯЩИХ НА ЕВРОПЕЙСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ РОССИИ

Кожухова А.Б., Ефимова Ю.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*sandrabgl@mail.ru*

*Аннотация.* В процессе выполнения научно-исследовательской работы были проанализированы области формирования и траектории движения южных циклонов за летние и осенние месяцы 1991 – 2020 гг. были определены наиболее характерные траектории для каждой выделенной области.

*Ключевые слова.* Южные циклоны, области формирования, траектории, европейская территория России.

## ANALYSIS OF THE TRAJECTORIES OF THE SOUTHERN CYCLONES OUTLOOKING IN THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Kojuhova A.B., Efimova J. V.

Russian State Hydrometeorological University (RSU), St.Petersburg

*Annotation.* In the process of carrying out the research work, the areas of formation and trajectories of the movement of southern cyclones for the summer and autumn months of 1991 - 2020 were analyzed, the most characteristic trajectories for each selected area were determined.

*Keywords.* Southern cyclones, areas of formation, trajectories, European territory of Russia.

Южные циклоны, выходящие на европейскую территорию России, часто вызывают неблагоприятные погодные условия для сельского хозяйства, авиации и других отраслей экономики [1]. Анализ областей формирования южных циклонов и их траекторий за длительный ряд времени является задачей, несомненно, актуальной и практически значимой.

Наиболее часто южные циклоны выходят на европейскую территорию России в летние и осенние месяцы [2], вследствие этого период исследования был выбран с июня по ноябрь.

Целью данного исследования является анализ траекторий южных циклонов, выходящих на европейскую территорию России в летне-осенние месяцы за период с 1992 по 2021 год.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо было выявить южные циклоны по данным архива карт барической топографии за период с 1992 по 2021 год. Выделить области массового формирования южных циклонов на территории исследования. Основной задачей являлось построение и анализ траектории их смещения на ЕТР. Западной границей территорией исследования в данной работе считается нулевой меридиан, восточной – меридиан 40° в.д. С севера и юга область территории исследования ограничена параллелями 50° с.ш. и 30° с.ш. соответственно.

В рамках исследования были проанализированы данные о синоптической ситуации за 30 лет в летне-осенний период с 1992 года по 2021 год в сроки 00, 06, 12 и 18 часов по UTC.

В результате научно-исследовательской работы (НИР) были выявлены 55 южных циклонов и составлен архив карт, отображающих их смещение на европейскую территорию России. Анализ синоптической ситуации производился по данным реанализа гидродинамической модели CFS (CFSR – Climate Forecast System Reanalysis), полученным на сайте *Wetterzentrale.de* [3]. Для исследования траекторий циклонов были использованы карты, отображающие приземное давление и высоту геопотенциальной поверхности 500 гПа.

В ходе научно-исследовательской работы были выявлены 3 области массового формирования южных циклонов за весь период исследования.

Генуэзские южные циклоны формируются над областью, включающей акватории Тирренского, Ионического и Адриатического морей, Аппенинский полуостров, острова

Сицилия, Корсика, Сардиния, а также Балеарские острова. Балканские южные циклоны формируются над областью, включающей южную часть Балканского полуострова, акваторию Эгейского моря, пролив Дарданеллы и его прибрежные территории. Черноморские южные циклоны формируются над областью, включающей акватории Чёрного и Азовского морей, полуостров Крым, территории от севернее побережья Чёрного и Азовского морей до конца нижнего течения Днепра, восточные территории Молдавии и Румынии, часть западных районов Краснодарского края и Ростовской области. Взаимное расположение областей формирования южных циклонов разных типов представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Взаимное расположение областей формирования южных циклонов, выходящих на ЕТР; 1- генуэзские, 2 – балканские, 3- черноморские

Общее число южных циклонов, выходящих в район ЕТР за период с 1992 по 2021 год, составило 55 случаев (таблица 1). Наибольшую повторяемость имеют южные циклоны черноморского типа, наименьшую – балканского типа.

Таблица 1 – Число случаев выхода южных циклонов на ЕТР

Тип южного циклона	Число случаев за 30 лет
Генуэзский	19
Балканский	8
Черноморский	28
Всего	55

Исследование траекторий южных циклонов производилось путём анализа синоптических ситуаций, полученных по данным реанализа гидродинамической модели CFSR. Построение траекторий смещения южных циклонов производилось путем соединения точек расположения центров циклонов каждые 6 часов.

На рисунке 2 представлены траектории южных циклонов для выделенных областей формирования (рисунок 1).



Выявление типичных траекторий смещения южных циклонов балканского типа на ЕТР осложнён малым числом случаев циклонов данного типа за исследуемый период. Наиболее характерная траектория движения проходит от Эгейского моря, территорий вблизи Афин и пролива Дарданеллы через Мраморное море и Стамбул, затем через Чёрное море до полуострова Крым и далее в северном направлении до европейской территории России. Часть циклонов доходит до 53°с.ш. и заполняется, другая же часть может дойти до широты 60°.

В ходе анализа траекторий южных циклонов черноморского типа было выявлено два основных типа выхода на ЕТР. Они формируются либо над северным и северо-западным побережьем Чёрного моря, либо над самой его акваторией. Первая траектория проходит в районе пересечения 50 параллели и 40 меридиана и далее смещаются на север или северо-восток. Циклоны доходят по этой траектории до широты 60° или несколько выше. Вторая траектория проходит аналогично первой, но циклоны смещаются на север-запад вдоль западных границ Российской Федерации до широты 60° или чуть выше.

В результате выполнения исследований за период с 1992 года по 2021 год было выявлено 55 южных циклонов. По району формирования они были разделены на 3 группы: генуэзские, балканские и черноморские. Для каждой группы были определены наиболее характерные траектории движения.

В дальнейшем предполагается проанализировать особенности эволюции южных циклонов и интенсивность зон осадков по пути их следования.

#### Список литературы

1. Ларина О.Г., Бадахова Г.Х. Эволюция и траектории перемещения южных циклонов и их фронтальных разделов в условиях северного Кавказа.– Академическая публицистика, № 6-1, 2022 г.– с. 621-632;
2. Кононова Н.К. Экстремальная повторяемость южных циклонов в XXI веке – причина роста природной опасности в горах Кавказа.- Институт географии РАН, г. Москва, Россия, Грозненский естественнонаучный бюллетень, том 3, № 2 (10), 2018 г.– с.58-64;
3. Wetterzentrale.de [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php>, свободный. (Дата обращения: 23.04.2022).

#### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ АЭРОДРОМА

Лебедев А. Б., Мухамедшин М. И., Шишкин А. Д.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*lebandbor1970@gmail.com*

*Аннотация.* Обсуждаются вопросы разработки технологии, позволяющей автоматически формировать архив метеорологических наблюдений на станции и рассчитывать характеристики климатического описание аэродрома. Запись результатов наблюдений предлагается осуществлять с помощью программного обеспечения, установленного на мобильное устройство типа «планшет».

*Ключевые слова.* Климатическое описание, мобильное устройство, специализированное программное обеспечение.

#### CONCEPTUAL QUESTIONS OF THE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR AUTOMATIC CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE CLIMATIC DESCRIPTION OF THE AERODROME

Lebedev A. B., Mukhamedshin M. I., Shishkin A. D.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

*Annotation.* The issues of developing a technology that allows automatically forming an archive of meteorological observations at the station and calculating the characteristics of the climatic description of the airfield are discussed. It is proposed to record the results of observations using software installed on a tablet-type mobile device.

*Keywords.* Climate description, mobile device, specialized software.

В соответствии с требованиями руководящего документа (РД) [1], для всестороннего учета метеорологических условий при планировании и обеспечении полётов воздушных судов, климатическое описание аэродрома должно обновляться не реже одного раза в пять лет.

Исходными данными для актуализации климатических описаний являются результаты наблюдений в журналах КМ-1 или дневниках погоды АВ-6. В соответствии с требованиями вышеупомянутого РД [1], хранение данных измерений должно осуществляться в форме удобной для обработки информации с помощью электронно-вычислительных машин, при этом на аэродромах, не имеющих автоматических метеорологических измерительных станций (АМИС), создание архивов необходимо производить вручную.

Как показывает практика, специалистам, которые обновляют климатическое описание, требуется большое количество времени для создания электронного архива данных, а также, на обработку и графического представления климатической информации.

Очевидно, что для получения аэродромных климатических таблиц и сводок из климатического описания, в которые входят статистические характеристики различных метеорологических величин и явлений погоды, необходимо специализированное программное обеспечение (СПО).

Кроме того, целесообразно объединить процесс производства метеорологических наблюдений и заполнение оперативной документации (журналов КМ-1 и АВ-6).

В настоящее время наблюдатель в процессе производства наблюдений последовательно выполняет ряд следующих операций:

- записывает на метеорологической площадке показания приборов и результаты наблюдений явлений погоды в блокнот или на специальную палетку (пластинка с нанесённой на ней таблицей для записи значений метеорологических величин и характеристик явлений погоды);
- переносит в помещении метеорологической станции показания приборов и результаты наблюдений в книжку КМ-1;
- обращается к различного рода таблицам, в т.ч. психрометрическим, для определения поправок к показаниям приборов и записывает их также в книжку КМ-1;
- исправляет с учетом поправок показания приборов и записывает их в книжку КМ-1;
- переносит исправленные значения метеорологических величин и результаты наблюдений явлений погоды в дневник погоды.

После этого, в соответствии с требованиями [1], наблюдатель должен перенести результаты наблюдений на электронный носитель.

Данная процедура может быть автоматизирована, если использовать электронные планшеты для регистрации результатов наблюдений и передачи их с помощью технологии Wi-Fi на рабочую станцию. Подразумевается, что СПО на планшете будет работать в постоянном режиме, за некоторое время до начала наблюдений будет подаваться звуковой сигнал, сигнализирующий о приближении срока наблюдений. Наблюдатель вводит результаты наблюдений посредством интерфейса, в котором порядок расположения метеорологических величин будет соответствовать регламенту проведения метеорологических наблюдений на данной конкретной станции. Помимо ввода данных по окончанию проведения наблюдения будет произведена проверка на правильность вводимых параметров, а при нарушении, будет указана метеорологическая величина с сомнительными данными.

Определение и внесение поправок, а также заполнение итоговых документов (книжка КМ-1 и дневник погоды) осуществляется на рабочей станции. Вместе с этим должна формироваться стандартизированная электронная форма архива климатических данных для получения аэродромных климатических таблиц и сводок. В приложении А вышеупомянутого РД [1] приводится структура архива, используемая в ГУ «Гидрометцентр России», которая «может служить основой для создания архива на местах...» [2]. Таким образом, разработка стандартизированной структуры архива данных метеорологических наблюдений для расчета климатических характеристик является технической проблемой, которую следует решить в процессе проектирования СПО.

Разрабатываемое СПО предполагается использовать и для составления авиационно-климатических справок. Последние составляются по требованию руководящего, летного или технического состава, а также органов, занимающихся проектированием и строительством аэропортов. Их назначение заключается в быстрой и четкой подаче ответа на вопросы, связанные с учетом или использованием климатических особенностей в данном месте в течение определенного периода времени.

В настоящее время существуют проекты Автоматическая информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ) и программный комплекс автоматизированного рабочего места метеоролога-наблюдателя («ПЕРСОНА МИС АРМ»). Однако, первый проект используется для работы с архивами данных полученных на сети Росгидромета. Программный комплекс «ПЕРСОНА МИС» служит для ввода метеорологических величин на персональные компьютеры для станций без АМИС и ручного ввода метеорологических величин, не измеряемых датчиками (ВНГО, погода в срок и между сроками и др.). Аналогичная программа разработана Институтом Радарной Метеорологии [2]. Программная реализация автоматизированного расчета климатических показателей для создания авиационно-климатических описаний аэродромов Вооруженных сил Российской Федерации разработана в [3].

Технические вопросы и решения мобильного приложения предполагается отработать с помощью среды разработки Android Studio. Работа мобильного приложения моделируется с помощью эмулятора, который виртуально устанавливается на компьютер (рисунок 1). Тестовую версию программы для планшета (рабочее название демон наблюдателя) предполагается разрабатывать с помощью отечественной среды разработки, которую следует определить.

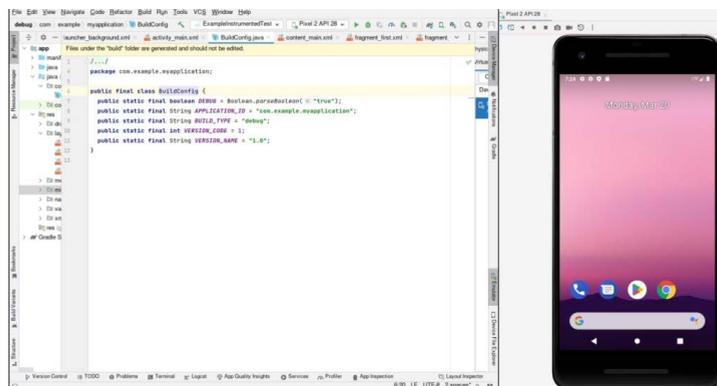


Рисунок 1 - Диалоговое окно разработчика в Android Studio

Программы для рабочей станции (для архивирования результатов наблюдений и для расчета климатических показателей) целесообразно разработать с использованием структурно-ориентированных языков программирования (Python, C++).

Фрагмент тестовой программы на языке Python, реализующий автоматическое внесение поправок в показания приземной температуры и сохраняющей исправленное значение в файле, представлен на рисунке 2. В данной программе поправки к термометру также содержатся в файле. Однако поскольку предполагается, что программа для архивирования результатов наблюдений также будет работать в постоянном режиме, то поправки для увеличения быстродействия работы программы следует разместить в структуре, которая будет находиться всегда в оперативной памяти.

Разработка и внедрение данных программ в оперативную практику авиационных метеорологических станций позволит сэкономить время как в процессе производства метеорологических наблюдений, а также при расчете климатических характеристик при обновлении климатических описаний. Аналогичные программы могут быть разработаны для проведения актинометрических, градиентных и других видов гидрометеорологических наблюдений. Кроме того, данные программы могут быть использованы для более качественного обучения при подготовке студентов.

```
import time
f = open('справка.txt', 'r')
lst = f.readlines()
f.close()

a = 0
while a != 1:
    temper = input('Впишите температуру в °C: ')
    try:
        temp = float(temper.replace(',', '.'))
        x = 0
        JlucT = lst[0].split()
        while JlucT[0] != 'vseo':
            if temp >= float(JlucT[0]) and temp <= float(JlucT[1]):
                temp += float(JlucT[2])
                a = 1
                break
            x += 1
            JlucT = lst[x].split()
        if JlucT[0] == 'vseo':
            print('Число выходит за пределы поправок!')
    except ValueError:
        print('Введены неправильные данные!')

temper = str(temp).replace('.', ',')

t = time.localtime()
current_time = time.strftime('Время %H:%M Дата %d.%m.%Y', t)

w = open('запись показателей.txt', 'a')
w.write(current_time)
w.write('\n' + temper + '°C')
w.write('\n ')
w.close()
```

*Рисунок 2 - Фрагмент тестовой программы для архивирования результатов наблюдений на языке Python*

### Список литературы

1. Руководящий документ РД 52.21.692–2007: Требования к составлению климатического описания аэродрома. – М.: Росгидромет, 2007. – 38 с
2. АИС Климат аэродрома / [Электронный ресурс] // Институт Радарной Метеорологии : [сайт]. — URL: [http://iram.ru/iram/all\\_main.php?js=1&list\\_par=23-0](http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=23-0) (дата обращения: 12.03.2023).
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618577 от 27.04.2022 В. С. Балакин, Ю. В. Шипко, О. В. Кольчев, Л. Н. Костылева. Автоматизированный расчет и представление специализированных климатических

## **ВНЕЗАПНОЕ СТРАТОСФЕРНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ В 2002 ГОДУ**

Лумпова Н.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт -  
Петербург  
*lms16@mail.ru*

*Аннотация.* В работе проанализирована термодинамическая ситуация в зимней стратосфере Южного полушария 2002 года. По среденезональным значениям температуры и зональной компоненты ветра определена дата наступления внезапного стратосферного потепления. Представлен анализ поведения планетарных атмосферных волн с волновыми числами 1, 2 и 3. Отмечается необычно высокая амплитуда планетарной волны с волновым числом 3 во время развития ВСП.

*Ключевые слова:* внезапное стратосферное потепление, динамика полярной стратосферы, планетарные волны, Южное полушарие

## **SUDDEN STRATOSPHERIC WARMING IN THE SOUTHERN HEMISPHERE IN 2002**

Lumpova N. S.

Russin State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

*Annotation.* The thermodynamic situation in the winter stratosphere of the Southern Hemisphere in 2002 is analyzed. According to the zonal mean values of temperature and the zonal wind component, the date of the onset of sudden stratospheric warming was determined. An analysis of the behavior of planetary atmospheric waves with wave numbers 1, 2, and 3 is presented. An unusually high amplitude of a planetary wave with wave number 3 during the development of the SSW is noted.

*Keywords:* sudden stratospheric warming, polar stratosphere dynamic, planetary waves, Southern Hemisphere

На сегодняшний день мы имеем достаточно ясное представление о строении атмосферы, о распределении метеорологических параметров в ней. Однако природа таких явлений, как внезапные стратосферные потепления, остается до конца неизученной. Внезапные стратосферные потепления (далее ВСП) являются одним из самых ярких примеров резкой смены термодинамического режима в зимней стратосфере. Они регулярно наблюдаются в арктических полярных регионах. Во время ВСП происходит резкое повышение температуры до 50 К в течение нескольких дней и ослабление западных ветров, а при очень сильном ВСП так и полное обращение зональной компоненты ветра. События ВСП регистрировались в Северном полушарии с тех пор, как стали проводить стратосферные наблюдения [Scherhag, 1952], но в текущих наблюдениях зарегистрировано только два события в Южном полушарии, в сентябре 2002 года [Manney et al., 2005] и в 2019 году того же месяца.

На примере анализа процессов, приводящих к возникновению ВСП в Южном полушарии, можем прийти к более полному пониманию возникновения событий ВСП в обоих полушариях. Знания о дополнительных факторах возникновения ВСП помогут правильно и качественно спрогнозировать его появление и скорректировать долгосрочный прогноз для приземных метеорологических характеристик.

Для анализа поля температуры, геопотенциальной высоты, зональной компоненты ветра были использованы данные ретроспективного анализа Modern-Era Retrospective

Analysis for Research and Applications [Modern-Era..., 2022]. Планетарные волны с волновыми числами 1, 2, 3 в поле геопотенциальной высоты были получены методом, описанным в работе А. Погорельцева [Pogoreltsev, 1999].

Для определения даты ВСП в Южном полушарии в 2002 году были рассмотрены следующие характеристики: среднезональная температура (К) на уровне 10 гПа на 77,5° ю.ш., среднезональная компонента ветра (компонента U) на уровне 1 гПа на 65° ю.ш., геопотенциальная высота на уровне 10 гПа. Анализируя график температуры (рис.1), можно сказать, что резкое повышение температуры с 218 К до 266 К началось 18–19 сентября. В эти же числа началось уменьшение скорости зональной компоненты ветра (рис. 2), а последующие обращение ветра с западного направления на восточное произошло примерно 24 сентября.



Рисунок 1 – Распределение среднезональной температуры (К) на уровне 10 гПа, на широте 77,5 ю.ш. в августе и октябре 2002 г.

Рисунок 2 – Распределение среднезонального ветра (компонента U) на уровне 1 гПа на широте 65 ю.ш. в августе и октябре 2002 г.

На рисунке 3 представлено распределение геопотенциальной высоты на высоте 30 километров. На первой картинке (сверху слева) в период с 7 по 20 сентября отчетливо прослеживается полярный вихрь над материком, также со стороны моря Дюрвиля происходит активное нагревание стратосферы, что и говорит о том, что именно в этот период произошло ВСП. С 21 сентября по 3 октября (рис. 3 сверху справа) полярный стратосферный вихрь разделился на два ядра, то есть после наступления события ВСП началось ослабление вихря. В последующие две недели средняя температура стратосферы увеличилась, а полярный вихрь почти полностью разрушился.

На рисунке 4 представлены амплитуды планетарных волн с волновыми числами 1, 2 и 3 (ПВ1, ПВ2 и ПВ3). Нас интересует поведение данных волн за две недели до наступления и в момент развития ВСП. Первая гармоника имела максимум амплитуды в период третьей декады августа, и максимальная амплитуда в этот период достигала 2500 геопотенциальных метров на высоте 40 км. Этот максимум как раз соответствует времени максимального развития ПВ1 до наступления ВСП, что часто наблюдается в Северном полушарии. Непосредственно перед и в момент развития ВСП амплитуда ПВ1 составила 1800 метров на высоте около 38 км. Вторая гармоника имела максимум амплитуды в период второй декады августа, максимальная амплитуда в этот период достигала 1200 метров на высоте 39 км. В момент развития ВСП амплитуда ПВ2 составила 800 метров на высоте около 32 км. Максимум амплитуды (ПВ3) третьей гармоники также пришелся на момент максимального развития ВСП и был равен 600 метров на высоте 30 км, что является очень нетипичной ситуацией для ВСП в Северном полушарии.

Геопотенциальная высота (км) на высоте 30 км над Антарктидой в 2002 году

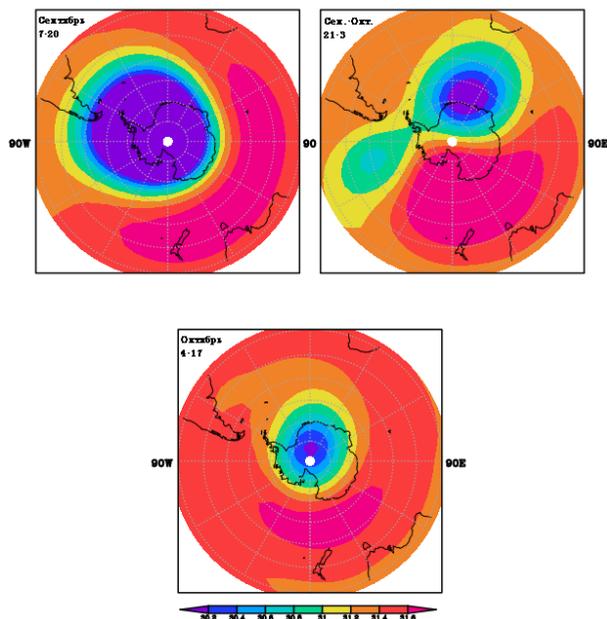


Рисунок 3 – Распределение геопотенциальной высоты на высоте 30 км, осредненной по двум неделям, верхняя левая панель 7-20 сентября, верхняя правая 21 сентября – 3 октября, нижняя 4 – 17 октября

Вероятно, такое высотное – временное распределение амплитуд планетарных волн связано с эффектом мигрирующих приливов, которые зарождаются в тропических зонах. Взаимосвязь приливов и амплитуд планетарных волн уже научно обоснована [Siddiqui et al., 2022].

В 2019 году также было ВСП в Южном полушарии. Но по изменению термодинамических характеристик и по значению амплитуд волн ПВ1, ПВ2, ПВ3 (рисунки не приводятся) оно было намного слабее описанного выше. ВСП 2019 года по всем прогнозам ожидалось такое же сильное, как и ВСП 2002 года. Но обращение зональной компоненты не произошло. Поведение планетарных волн с волновыми числами 1, 2 и 3 соответствует аналогичным волнам при ВСП в Северном полушарии. Однако фазы тропических периодических осцилляций, таких как квазидвухлетнее колебание (далее КДК), Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) и Тихоокеанское декадное колебание, по большей части одинаковы для событий ВСП в 2002 и 2019. В 2002 и 2019 фаза КДК сменялась с западной на восточную. Индекс, характеризующий интенсивность ЭНЮК, для 2002 и 2019 годов был положительным, что говорит об Эль-Ниньо. Но для окончательного заключения о причинах ВСП в Южном полушарии необходимо дополнительное исследование и анализ приливных колебаний и быстрых захваченных экваториальных волн.

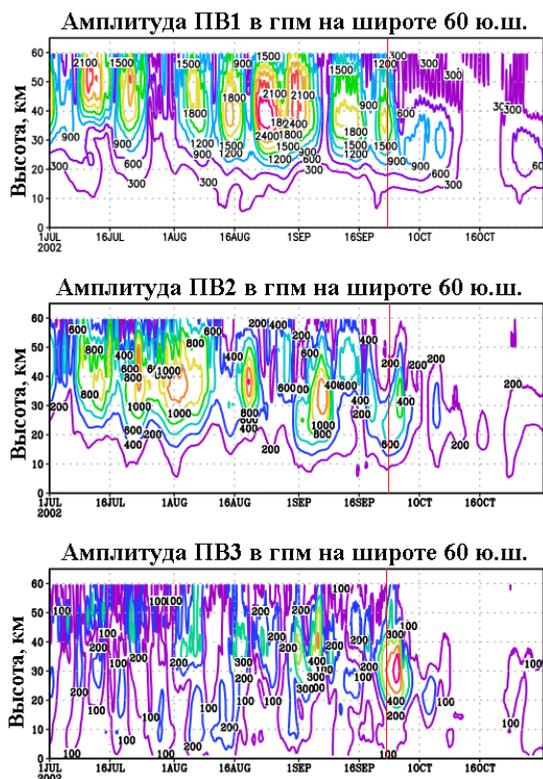


Рисунок 4 – Высотно-временное распределение амплитуды планетарной волны с волновым числом 1 (верхняя панель), планетарной волны с волновым числом 2 (средняя панель), планетарной волны с волновым числом 3 (нижняя панель); красной линией на рисунке отмечена дата ВСП

#### Список литературы

1. Scherhag R. Die explosionsartige Stratosphärenenerwärmungen des Spätwinters 1951/52 // Ber. Deut. Wetterdienstes. — 1952. — Vol. 6, № 38. — P. 51–63.
2. Manney G.L., Sabutis J.L., Allen D.R., Lahoza W.A., Scaife A.A., Randall C.E., Pawson S., Naujokat B., Swinbank R. Simulations of dynamics and transport during the september 2002 antarctic major warming // J. Atmos. Sci. — 2005. — Vol. 62. — P. 690–707.
3. Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 [Электронный ресурс] // Global Modeling and Assimilation Office. — National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center. — 2022. — URL: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/> (дата обращения 05.12.2022)
4. Pogoreltsev A.I. Simulation of planetary waves and their influence on the zonally averaged circulation in the middle atmosphere // Earth Planets Space. — 1999. — Vol. 51. — P. 773–784.
5. Siddiqui T.A., Chau J.L., Stolle C., Yamazaki Y. Migrating solar diurnal tidal variability during Northern and Southern Hemisphere Sudden Stratospheric Warmings // Earth, Planets and Space. — 2022. — Vol. 74. — Article number 101. <https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-022-01661-y> .

## АНАЛИЗ СОХРАНЕНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПОСРЕДСТВОМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Максимова С.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
sveta.maksimova.0303@mail.ru

*Аннотация.* Данная статья разработана с целью привлечения внимания к ООПТ различных правительственных структур для организации эффективного использования уникальных природных ресурсов без нанесения вреда экосистеме на примере национального парка «Красноярские столбы» и природного парка «Валаамский архипелаг». Проведен SWOT-анализ заказника «Западный Котлин».

*Ключевые слова:* особо охраняемые природные территории, сохранение природной среды, модернизация, устойчивое развитие

## **PRACTICAL ANALYSIS OF THE CONSERVATION OF PROTECTED AREAS THROUGH SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

Maksimova S.A.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. This article is designed to attract attention to protected areas of various government structures for the organization of effective use of unique natural resources without harming the ecosystem on the example of the Krasnoyarsk Pillars National Park and the Valaam Archipelago Natural Park. A SWOT analysis was carried out for the Zapadny Kotlin Nature Reserve.

Keywords: specially protected natural territories, preservation of the natural environment, modernization, sustainable development

В современном мире стоит важная задача по предотвращению изменения климата. Население планеты с каждым годом продолжает увеличиваться и стоит острый вопрос о сохранении видов и экосистем. Для этого создаются ООПТ, но присутствие человек не может быть полностью исключено, из-за этого возникает необходимость в принятии дополнительных адаптационных мер. Для их разработки оценивается степень уязвимости территории к антропогенным воздействиям, а также изменению климата в результате деятельности человечества. В настоящий момент разработаны и успешно апробированы методы оценки для некоторых природных зон.

В статье представлен практический анализ о проведенных адаптационных мерах и о необходимости их проведения на определенных территориях.

Анализ проведен для трех различных природных зон ООПТ: «Красноярские столбы» (Восточные Саяны), «Валаамский архипелаг» (Ладожское озеро) и «Западный Котлин» (Финский залив).

Красноярские столбы-национальный парк в Красноярском крае на северо-западных острогах Восточного Саяна, площадь 48066 га.

Пример развития ООПТ Красноярские столбы можно считать эталонным, поскольку прослеживаются изменения в национальном парке до и после введения адаптационных мер.

Красноярские столбы за 2021 год посетило 905 тысяч человек. Это один из самых посещаемых туристско-рекреационных объектов в регионе, в котором удастся сохранить многие виды животных и растения, занесенные в Красную книгу России.

В период 2019-2021 на территории национального парка проведено много улучшений. Так была создана двухкилометровая экотропа, построен научно-познавательный центр для изучения экологии и экологических проблем. Уже существующие экотропы были оснащены новым покрытием и новыми туристическими ловушками (спортивные и игровые площадки, беседки). Национальный парк располагает модернизированной экотропой для маломобильных групп населения.

В Красноярских столбах ученые имеют возможность следить за изменением погодных условий: на ООПТ расположены метеостанции, а летопись погоды ведется с момента основания парка.

ООПТ развивается с соответствием с программой устойчивого развития. Все слои общества - от детей до старшего поколения, от рабочих до ученых- все участвуют в сохранении и развитии территории парка. Невзирая на высокий природоохранный статус, скалы могут увидеть все желающие, пока одни любуются фантастическими пейзажами и

причудливыми очертаниями загадочных исполинов, другие их покоряют, цепляясь за выступы сиенитовых столбов.

Валаамский архипелаг- природный парк регионального значения. Площадь 24700 га.

Во время летней учебной практики были собраны данные об острове Валаам, самом крупном острове в ООПТ Валаамский архипелаг.

На территории ООПТ производятся исследования экологического характера. На территории острова вблизи залива Красный располагается метеорологическая станция, с постоянно работающими наблюдателями, что позволяет прогнозировать неблагоприятные погодные условия. Также свои исследования проводят экологи и зоологи. Экологи по мере необходимости производят химический анализ вод, забор воды с глубин внутренних и внешних озер. Зоологи в весеннее время проводят подсчет птиц, лосей и наблюдают за кольчатыми нерпами для отслеживания популяций.

В целом территория Валаамского природного парка прекрасно подходит для экотуризма, при соблюдении всех предписаний к содержанию ООПТ. Для обеспечения постоянных жителей электричеством, был проведен с материка электрический кабель, были введены в работу солнечные панели, что благоприятно повлияло на экологическую обстановку, поскольку до этого, использовались дизельные генераторы. Также производится санитарная чистка леса, на территории используются биотуалеты, вывоз бытовых отходов

Контроль за туристами осуществляется посредством подсчета сходящих с кораблей пассажиров. Так в навигацию 2021 года 313 круизных судов привезли на Валаам 57898 путешественников. Для отдыхающих предусмотрена программа посещения историко-культурных объектов и знакомство с уникальной с природой архипелага. При соблюдении тишины, есть возможность понаблюдать как за лосями и различными видами птиц, так и за нерпами.

Валаамский природный парк может служить примером для развития других ООПТ.

Западный Котлин- государственный природный заказник регионального значения, площадь 102 га.

Во время обучения в Летней школе МГИМО-РГГМУ «Международные отношения и устойчивое развитие» было проведено исследование «Модернизации процесса благоустройства экологической тропы заказника «Западный Котлин»» с выездом на место.

В ходе проекта были выявлены как сильные, так и слабые стороны ООПТ Западный Котлин с помощью SWOT-анализа.

К сильным сторонам заказника относится уникальная местность, отличающаяся биологическим разнообразием, наличием редких видов флоры и фауны, расположенная в черте города. На территории имеется орнитологическая вышка с оборудованным центром, где могут проводиться открытые уроки для обучающихся школ и студентов. Заказник имеет огромную социальную важность, поскольку именно этот участок острова практически не видоизменялся с момента создания города.

ООПТ Западный Котлин важная часть острова, которая подвержена ухудшению экологического состояния природных объектов в следствии рекреационного воздействия. На территории ООПТ присутствует экотропа, но выглядит она непрезентабельно, а отдельные участки неудобны и небезопасны для передвижения. Присутствуют сломанные доски, на поворотах мостки наклонены, некоторые доски выпирают или заросли сорной травой, поручни расположены на большом расстоянии от края настила примерно на 10 см, то есть даже двум людям трудно разойтись. Также слабой стороной является отсутствие необходимого количества беседок, скамеек, развеелок и указателей. Стенды малочисленны, неудобно расположены и не несут необходимой информации. Нет оборудованных мест для людей с ОВЗ. Эти факторы являются сильными недостатками.

Территория ООПТ обладает значительным туристско-рекреационным потенциалом и имеет все предпосылки для организации большинства видов рекреационной и туристической деятельности: в летнее время - купание, виндсерфинг, осмотр эстетически ценных ландшафтов, пеший и велосипедный туризм, финская ходьба; в зимнее время - лыжные

прогулки, наблюдение за уникальной флорой и фауной. Основным фактором, лимитирующим развитие экологического туризма в ООПТ, является отсутствие хорошо разработанных экскурсионных маршрутов и элементов эко-туристской инфраструктуры

Для развития данного заказника необходимо привлечь к сотрудничеству:

- Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности (партнер в данное время)
- Государственное казенное учреждение «Дирекция особо охраняемых природных территорий Санкт Петербурга»
- Национальный проект «Образование»
- Культурно-просветительский проект «Открытый город»
- Государственная программа РФ «Доступная среда»
- Государственное частное партнерство
- ТВ СПб
- Холдинг «РЖД» и ПАО «Газпром»
- Волонтеров -студентов и студенческих отрядов для участия в благоустройстве

Провести:

- Восстановительные работы на экотропе;
- Создание детских площадок и мест отдыха;
- Развитие инфраструктуры;

Для устойчивого развития территории мало красивых природных ландшафтов или наличия разнообразных видов животных и растений. Для человека важно, чтобы у него было место, куда он может приходить и отдыхать от городской суеты, постигая разнообразие природного мира. Этот результат может быть достигнут только путем интеграции всех структур общества в жизнь ООПТ, всех слоев населения, от мала до велика.

## **СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ И В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ ЕТР**

Малыгина Т.И., Кашлева Л.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*malyginatianaiva@yandex.ru*

*Аннотация.* Рассматривается процесс формирования электрической структуры грозового облака. Производится анализ молниевой активности грозовых облаков, находившихся на территории северо-западного и южного регионах Российской Федерации.

*Ключевые слова.* Грозовое облако, электрическая структура грозового облака, генератор зарядов, молниевая активность.

## **COMPARISON OF ELECTRICAL ACTIVITY OF THUNDERCLOUDS IN THE NORTH CAUCASUS AND IN THE NORTH-WESTERN REGION OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA**

Malygina T.I., Kashleva L.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The process of forming the electrical structure of a thundercloud. Analysis of lightning activity of thunderclouds on the territory of the north-western and southern regions of the Russian Federation.

*Keywords.* Thundercloud, electrical structure of a thundercloud, charge generator, lightning activity.

Введение. Грозовые облака представляют собой комплексное и опасное явление погоды. При этом электрическая активность грозовых облаков – одно из наиболее опасных

проявлений грозы. Поэтому изучение и прогноз электрической активности облака чрезвычайно значимы.

Молния – это искровой разряд, возникающий в результате достижения критических значений напряженности электрического поля в облаке. В свою очередь напряженность электрического поля определяется зарядами, накапливаемыми в основных заряженных областях облачного диполя. Поэтому, для диагноза электрической активности облака без использования данных грозопеленгаторов, нужно выявить области генерации заряда в основных зонах облачного диполя.

#### 1. Описание процесса электризации грозового облака.

Кратко процесс электризации грозового облака можно представить следующим образом. Отметим, что формирование облачных зарядовых структур протекает в два этапа: сначала заряжаются частицы в облаке, а потом они разделяются в пространстве, т.е. положительно заряженные частицы накапливаются в одном, а отрицательно заряженные частицы в другом макрообъеме облака. Как известно, существует большое количество механизмов заряжения облачных гидрометеоров. Можно считать доказанным фактом, что основной процесс, приводящий к формированию верхнего и центрального заряда в облаке – это заряжение частиц при столкновении и разделении облачных крупинки или градины с облачными кристаллами. При этом происходит направленное заряжение: крупинки или градины заряжаются отрицательно, а кристаллы – положительно. Параллельно протекает второй этап, когда уже заряженные гидрометеоры перераспределяются в объеме всего облака, когда кристаллики, увлекаемые восходящим потоком, переносятся вверх, а крупинки и градины, преодолевая поток из-за большой массы, опускаются вниз.

Таким образом формируется диполь, верхняя часть которого заряжена положительно, а нижняя отрицательно.

Из этого следует, что слой генерации заряда в облаке – это слой отрицательных температур, а точнее слой выше изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$ , который называют уровнем интенсивной электризации [1, 2].

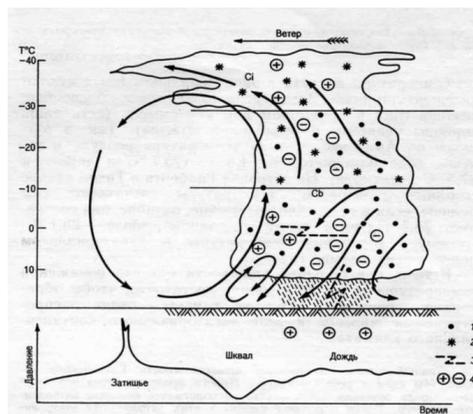


Рисунок 8 - Образование и распределение зарядов в кучево-дождевом облаке

#### 2. Анализ электрической активности грозовых облаков.

Приведенное выше краткое описание процесса электризации грозового облака позволяет сделать вывод, что чем ниже температура на верхней границе облака или чем толще всё облако, тем большую протяженность имеет слой генерации заряда – а, следовательно, тем больше электрическая активность исследуемого кучево-дождевого облака.

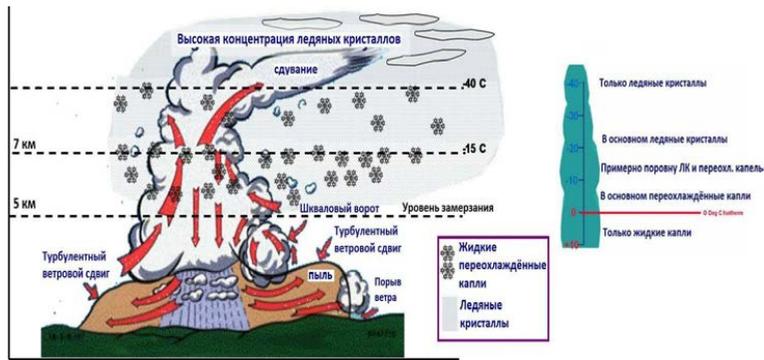


Рисунок 9 - Образование и распределение зарядов в кучево-дождевом облаке

Именно это суждение позволило Колину Прайсу в своих исследованиях использовать следующую закономерность для вычисления частоты молниевых разрядов в минуту:

$$F = 3,44 \cdot 10^{-5} \cdot H^{4,9} \quad (1)$$

$F$  — частота молниевых разрядов в минуту,  $H$  — высота вершины облака в км [3].

Также заметим, что формула применима для расчета частоты разрядов в континентальном грозовом облаке в умеренных широтах Северного полушария.

В качестве примеров для расчета были отобраны следующие случаи явления грозы (по данным архива сайта gr5.ru): Ростов-на-Дону 08.07.2020 15:00 и Санкт-Петербург 28.07.2020 15:00. Бали использованы архивные данные фактической погоды и данные радиозондирования атмосферы.

Результаты анализа данных радиозондирования представлены на рисунках 3 и 4.

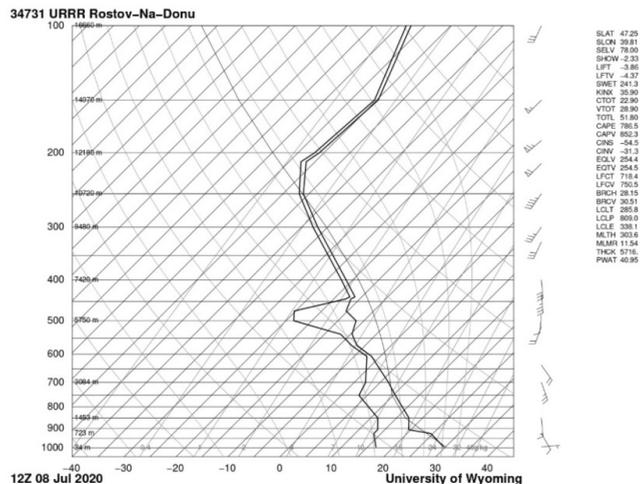


Рисунок 10 - Данные зондирования станции 34731 Ростов-на-Дону за 12ч по UTC 08 июля 2020г

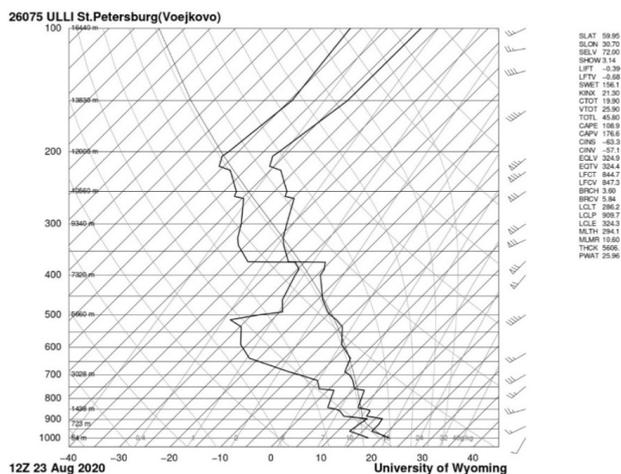


Рисунок 11 - Данные зондирования станции 26075 Санкт-Петербург за 12ч по UTC 23 августа 2020г.

Значения высоты верхней границы облачности и ее температуры находим с данных зондирования по критерию Equilibrium Level using virtual temperature, то есть уровень выравнивания виртуальных температур на верхней границе облака и температуры окружающей атмосферы. Для Ростова-на-Дону этот критерий равен 254,53 гПа, что соответствует высоте верхней границы облачности – 10,72 км, для Санкт-Петербурга 324,40 гПа с соответствующей высотой 8,813 км.

Для расчета частоты молниевых разрядов подставляем значения наших высот в формулу Прайса. Получаем следующие результаты: для Ростова-на-Дону – 3,84 разрядов в минуту, для Санкт-Петербурга (станция Войеково) - 1,47 разрядов в минуту.

Заклучение. В работе был описан процесс формирования электрической структуры грозового облака. Показано, какие факторы определяют особенности слоя генерации основных зарядов.

Представлены современные методы оценки молниевой активности грозового облака.

Выполнен анализ молниевой активности грозовых облаков, находившихся на территории северо-западного и южного регионах Российской Федерации. Получены количественные характеристики. Показано, что молниевая активность облаков в южном регионе выше активности грозовых облаков в северо-западном регионе в 2 и более раза.

### Список литературы

1. *Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П.* Атмосферное электричество. Учебное пособие.- СПб.: РГГМУ, 2019. – 226 с.
2. *Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Павар С.Д., Гопалакришнан В., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Богданов Е.В., Куров А.Б., Аджиев А.Х., Малкарова А.М., Абшаев А.М.* Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза и диагноза электрического состояния облаков // Метеорол. и гидрол. 2017. № 6. С. 31–45.
3. *Price C. and Rind D.* A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions. — J. Geophys. Res., 1992, vol. 97, No. D9, pp. 9919—9933.

## О СНИЖЕНИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОБЪЕКТОВ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В САНКТ- ПЕТЕРБУРГЕ

Павловский А.А., Медведева А.Я.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург  
*a.a.pavlovsky@spbu.ru, angelm2001@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматривается ситуация с возможностью снижения выбросов парниковых газов от сектора по обращению с твердыми коммунальными отходами в Санкт-Петербурге.

*Ключевые слова.* Изменение климата, парниковые газы, твердые коммунальные отходы.

## ON REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM SOLID MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT FACILITIES IN THE ST. PETERSBURG

Pavlovskii A.A, Medvedeva A.Y.

St Petersburg University, St. Petersburg

*Annotation.* The article considers the situation with the possibility of reducing greenhouse gas emissions from the solid municipal waste management sector in St. Petersburg.

*Keywords.* Climate changes, greenhouse gases, solid municipal waste.

Первая четверть XXI века характеризуется увеличением темпов развития глобальных и региональных климатических изменений. В продолжительных рядах данных основных индикаторов глобального потепления (содержание парниковых газов в атмосфере, температура приземного воздуха, атмосферные осадки, характеристики криосферы, теплосодержание вод Мирового океана) отмечаются значимые тренды. Последствия происходящих изменений климата способны повлиять, как на наземные, морские экосистемы Земли, так и на различные отрасли экономики (*МГЭИК, Третий оценочный доклад Росгидромета*).

Разработка срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями является одной из взаимовыязанных целей устойчивого развития человеческой цивилизации, сформулированных Генеральной ассамблеей ООН (<https://www.un.org/>).

Наша страна является последовательным и ответственным участником международных соглашений по противодействию развитию климатических изменений и адаптации к ним. В качестве наиболее знаковых этапов в этом процессе можно отметить: ратификацию Рамочной конвенции об изменении климата в 1994 году, Киотского протокола и Парижского соглашения к ней в 2004 году и 2019 году, соответственно. Важнейшим целеполагающим национальным документом явилось принятие Климатической доктрины Российской Федерации в 2009 году.

Основной целью существующих международных соглашений, в том числе предусматривающих масштабное сокращения выбросов парниковых газов, является недопущение повышения средней глобальной температуры приземного воздуха более чем на 1,5–2 °С над ее нормой за период 1850–1900 годы (*МГЭИК, 2018*).

В соответствии с Указом Президента РФ от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов», в целях реализации условий Парижского соглашения РФ необходимо обеспечить к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов до 70 процентов относительно уровня 1990 года с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем и при условии устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития РФ. Суммарный выброс парниковых газов в нашей стране в 1990 году составлял более 3 млрд тонн CO<sub>2</sub>-экв. в год (*Interagency Commission of the Russian Federation on climate change problems, 1995*).

В России на сектор «Отходы» приходится более 6% от общего валового выброса парниковых газов (около 95 млн тонн CO<sub>2</sub>-экв. в год). При этом за последнее десятилетие

выброс парниковых газов от «Отходов» увеличился более чем на 50% (<https://rosstat.gov.ru/>). С учетом наблюдающихся тенденций увеличения выбросов и принципиальных возможностей человечества управлять образующимся мусором целесообразно именно в секторе обращения с твердыми коммунальными отходами реализовывать зеленый переход к ресурсоэффективной экономике.

Одной из целей Стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года по направлению «Повышение качества городской среды» является «Обеспечение экологического благополучия и благоустройства территории Санкт-Петербурга», одна из задач которой – это «Создание эффективной системы размещения, утилизации, обработки, обезвреживания отходов производства и потребления». Заявленные цель и задачи соответствуют национальному проекту «Экология» ([https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy\\_proekt\\_ekologiya/](https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/)).

Согласно Федеральному закону от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», к твердым коммунальным отходам (далее – ТКО) относятся отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К ТКО также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами.

Обезвреживание отходов – уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, за исключением сжигания, связанного с использованием твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов), и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду (*Федеральному закону от 24.06.1998 №89-ФЗ*).

Обработка отходов – предварительная подготовка отходов к дальнейшей утилизации, включая их сортировку, разборку, очистку (*Федеральному закону от 24.06.1998 №89-ФЗ*).

Утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация), а также использование твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки, соответствующих требованиям (*Федеральному закону от 24.06.1998 №89-ФЗ*).

В соответствии с действующим экологическим законодательством РФ, реализация мер по сокращению выбросов парниковых газов от российской экономики и по повышению эффективности управления в области обращения с отходами производства и потребления должны быть осуществлены к 2030 году. За имеющееся время необходимо сократить долю захораниваемых и увеличить процент обрабатываемых ТКО, внедрить технологии максимального использования исходных сырья и материалов.

По данным исследования по учету выбросов парниковых газов в Санкт-Петербурге, выполненного НИИ «Атмосфера» по заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, по состоянию на 2016 год на сектор «Отходы» приходилось 6,4% от общей массы их ежегодной эмиссии (<https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/news/103769/>). После вывода из эксплуатации и начала рекультивации полигона «Новоселки» (рядом с пос. Левашово) на сектор «Отходы» в границах Санкт-Петербурга, как субъекта РФ, стало приходиться менее 3% от суммарного выброса парниковых газов. Однако фактический выброс от обращения с ТКО на территории агломерации Санкт-Петербурга и Ленинградской области не сократился.

По данным государственной программы Санкт-Петербурга «Благоустройство и охрана окружающей среды в Санкт-Петербурге», в настоящее время на обработку поступает 29,14% общего объема ТКО, на утилизацию – 11,58% от общего объема ТКО, на захоронение – 88,42% от общего объема ТКО (<https://www.gov.spb.ru/gov/gos-programmy-spb/>).

По прогнозу социально-экономического воздействия Санкт-Петербурга к 2035 года доли обработанных, утилизированных, обезвреженных твердых коммунальных отходов должна составить на 2030 год в целевом варианте – 100,0%, в варианте «базовый плюс» – 84,6%. К 2035 год этот показатель вне зависимости от сценария развития должен составить 100%.

Согласно Территориальной схеме обращения с отходами производства и потребления, утвержденной распоряжением Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности от 15.06.2022 № 361-р, в Санкт-Петербурге ежегодно образуется около 2,4 млн тонн твердых коммунальных отходов. Данное количество отходов будет практически стабильным до начала 2030 годов.

Доля обработанных, утилизированных, обезвреженных ТКО в их общем объеме должна составлять: в настоящее время – 38,4%, в 2024 году – 48,7%, в 2030 году – 100%, в 2035 – 100%. Предполагается, что в 2023–2027 годы доля направленных на утилизацию отходов, выделенных в результате раздельного накопления и обработки (сортировки) ТКО, в общей массе образованных ТКО, составит 11,1% (*Территориальная схема*).

Объем выбросов вредных веществ и парниковых газов от полигонов ТКО зависит от доли биоразлагаемых отходов, поступающих на захоронение, а также от климатических условий мест их расположения.

Климатические параметры, влияющие на интенсивность разложения органического вещества и соответственно на выброс биогаза от полигона ТКО: продолжительность теплого периода года, дни; средняя месячная температура теплого периода года, °С. В основном биогаз состоит из следующих веществ: метан, углерода диоксид, толуол, аммиак, ксилол, углерода оксид, азота диоксид, формальдегид, ангидрид сернистый, этилбензол, бензол, сероводород, фенол (*Методика, 2004*).

По данным о морфологическом составе ТКО в агломерации Санкт-Петербурга и Ленинградской области, содержание биоразлагаемой органики (пищевых, садово-парковых отходов) в общем количестве ТКО составляет 22%, бумаги – 13,5%, картона – 4,5% (*Единая концепция обращения с ТКО, 2021*).

Основным мероприятием по снижению выбросов от захоронения является внедрение раздельного сбора ТКО, особенно в части биоразлагаемых компонентов. В связи с этим, например, Директивой Совета Европейского Союза 1999/31/ЕС от 26.04.1999 г. по полигонам захоронения отходов, установлен следующий целевой показатель – количество биологически разлагаемых отходов, поступающих на захоронение в ЕС, не должно превышать 35% от их массы по состоянию на 1995 год.

В целях реализации имеющихся планов Территориальной схемой обращения с отходами запланировано строительство, реконструкция пяти комплексов по переработке отходов: два на территории г. Санкт-Петербург (в пос. Левашово, на земельных участках с кадастровыми номерами: 78:36:0013404:8, 78:36:0013404:7; на Волхонском шоссе, д. 116, на земельном участке с кадастровым номером 78:40:0008603:4) и три в Ленинградской области. Производственная мощность запланированных предприятий – 600 тыс. тонн ТКО/год. Вид деятельности по обращению с отходами на объектах в г. Санкт-Петербург: обработка, обезвреживание, утилизация; в Ленинградской области к ним добавляется – размещение.

Как было показано в работе (*Павловский, 2020*), размещение объектов по утилизации, обезвреживанию, обработке отходов на землях поселений требует комплексного учета различных градоэкологических, санитарно-гигиенических, социальных и авиационно-орнитологических факторов. Они относятся к объектам государственной экологической экспертизы, а также требуют установления для них санитарно-защитных зон. К сожалению,

сложившаяся многолетняя ситуация с нарушением экологических норм при обращении с ТКО в последние годы приводит к социальной напряженности на селитебных территориях в ответ планы по размещению вблизи от них мусоросортировочных, мусороперерабатывающих предприятий и, особенно, мусоросжигательных заводов.

Однако, несмотря на имеющиеся со стороны общественности, как обоснованные, так и субъективные опасения, связанные с размещением объектов по утилизации, обезвреживанию, обработке отходов, данные разрешений на выбросы вредных в атмосферный воздух свидетельствуют, что годовые эмиссии от полигонов ТКО в десятки раз превышает аналогичные значения для мусороперерабатывающих или мусоросжигательных предприятий (Павловский, 2020).

В контексте решения задачи по сокращению выбросов парниковых газов от сектора «Отходы» наиболее значимыми мероприятиями представляются: сокращение образования ТКО, внедрение системы их раздельного накопления и сбора, вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве сырья, строительство высокотехнологичных предприятий по утилизации и обработке мусора.

Следует отметить, что различные дополнительные мероприятия в области обращения с ТКО, направленные на сокращение выбросов парниковых газов, при условии соблюдения требований действующего законодательства РФ, могут быть отнесены к климатическим проектам, а их результаты в виде углеродных единиц размещены в соответствующем реестре и монетизированы (<https://carbonreg.ru/>).

Таким образом, в условиях глобального потепления, приводящего к интенсификации биотермического разложения органики и увеличению выбросов от полигонного типа размещения отходов возрастает потребность в соблюдении сроков достижения целевых показателей национального проекта «Экология» в части формирования комплексной системы обращения с ТКО. Отделение биологически разлагаемых фракций ТКО от потенциального вторичного сырья, доведение доли обработанных, утилизированных, обезвреженных отходов до 100% будет способствовать реализации интенсивного социально-экономического сценария развития Санкт-Петербурга и России.

### Список литературы

1. Государственная программа Санкт-Петербурга «Благоустройство и охрана окружающей среды в Санкт-Петербурге», утвержденная постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 17.06.2014 г. № 487.
2. Единая концепция обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (с возможностью разделения потоков ТКО). СПб. ИПЭиГ, 2021.
3. МГЭИК, 2018 г.: Резюме для политиков. Содержится в публикации: Глобальное потепление на 1,5 °С. Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °С выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте укрепления глобального реагирования на угрозу изменения климата, а также устойчивого развития и усилий по искоренению бедности. Всемирная метеорологическая организация, Женева, Швейцария, 35 стр.
4. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. М., 2004.
5. Павловский А.А. К вопросу о размещении мусороперерабатывающих объектов на территории крупнейших городов России. Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 4 (58). С. 44–56.
6. Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления, утвержденная распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности от 15.06.2022 № 361-р.

7. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научно-технологические, 2022. – 676 с.
8. Федеральный закон от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».
9. Interagency Commission of the Russian Federation on climate change problems (1995). First National Communication to UNFCCC. Available at <http://www.unfccc.de>.

## **СРАВНЕНИЕ СУДОВЫХ И АВТОНОМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАНАЛЕ ВИМА, РАЗЛОМЕ РОМАНШ И ПРОХОДЕ КЕЙН**

Мехова О. С.<sup>1,2</sup>, Смирнова Д. А.<sup>1,3</sup>, Фрей Д. И.<sup>1,4,5</sup>

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

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>4</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

<sup>5</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный

*osmeh@yandex.ru*

*Аннотация.* В работе проведено сравнение данных, полученных двумя способами: автономными заякоренными буйковыми станциями и CTD/LADCP-зондированиями с научно-исследовательских судов в глубоководных каналах Атлантического океана.

*Ключевые слова.* Антарктическая донная вода, CTD, LADCP, автономные заякоренные станции.

## **COMPARISON OF SHIP AND AUTONOMOUS OBSERVATIONS IN THE VEMA CHANNEL, ROMANCHE FRACTURE ZONE, AND KANE PASSAGE**

O. S. Mekhova<sup>1,2</sup>, D. A. Smirnova<sup>1,3</sup>, D. I. Frey<sup>1,4,5</sup>

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

<sup>2</sup>St Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>4</sup>Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol

<sup>5</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

*Annotation.* The paper compares the data obtained by two methods: autonomous moored buoy stations and CTD/LADCP measurements from research vessels.

*Keywords.* Antarctic bottom water, CTD, LADCP, autonomous moored stations.

Антарктическая донная вода (ААДВ) формируется в основном в море Уэдделла и имеет потенциальную температуру менее 2°C [1]. ААДВ распространяется на север в придонном слое западной части Атлантического океана. Достигая района экватора, часть этих вод попадает в восточную Атлантику через глубоководные разломы Срединно-Атлантического хребта [2, 3, 4]. Другая часть антарктических вод продолжает свое движение в западной части Атлантики на север [5, 6, 7, 8]. В работе рассматриваются потоки, которые распространяются из Аргентинской котловины через канал Вима в Бразильскую котловину, продолжают движение к экватору и пересекают Срединно-Атлантический хребет через разлом Романш. Далее, попадая в котловину Сьерра-Леоне, продолжают движение через проход Кейн в котловину Зеленого Мыса [9].

В данной работе сравниваются одномоментные измерения температуры донных вод и скорости течений, полученные с помощью CTD/LADCP-профилографов, и данные с датчиков заякоренных станций. Для работы были выбраны канал Вима, разлом Романш и проход Кейн, где работы погружным оборудованием совпадали по времени с работой

заякоренных станций. STD-зондирования выполнялись с помощью зонда SBE 19 plus SEACAT фирмы SeaBird, предназначенного для работы на глубинах до 6800 м. Параллельно с STD-зондом для измерения вертикального профиля скоростей использовался погружной акустический доплеровский профилограф течений LADCP модели Workhorse Sentinel 300 kHz. Буйковые заякоренные станции были оснащены измерителями течений и серией датчиков температуры на тросе, натянутом между якорем на дне и глубоководной плавучестью. Измерения течений велись автономно с интервалом от 10 минут до 2 часов на разных горизонтах.

В работе используются данные, полученные по пяти STD/LADCP-зондированиям, выполненным в канале Вима в 2005 г., по пяти STD/LADCP-зондированиям, выполненным в 2006 г., и по двум заякоренным станциям, которые работали в этот период в районе выполнения разрезов. В разломе Романш используются данные с одиночных погружных станций, выполненных в 2013 и в 2014 гг., и с заякоренной станции, координаты которой совпадают с координатами зондирований. В проходе Кейн используются данные погружных и заякоренной станции за 2010 и 2011 гг. Для определения потенциальной температуры на буйковых станциях были взяты значения температуры, полученные с помощью интерполяции данных STD-зондирований в точки, соответствующие местоположению датчиков заякоренных станций (рисунок 1).

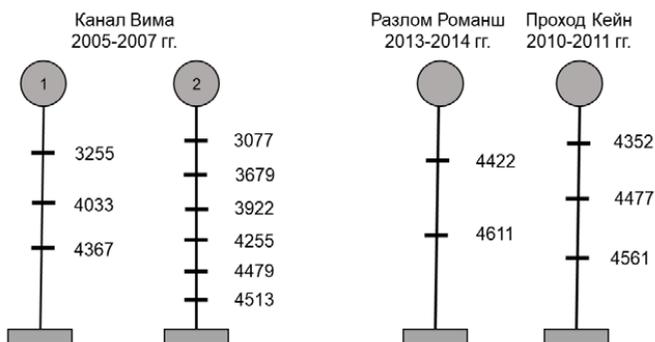


Рисунок 1 – Схемы и время работы буйковых заякоренных станций. Серыми кругами обозначены элементы плавучести. Цифрой 1 обозначена автономная станция у западного склона канала Вима, цифрой 2 – у восточного. Черными поперечными линиями показаны датчики температуры и акустические профилографы скорости течений, цифрами справа от них указана их глубина.

Сравнение измерений, полученных в ходе STD/LADCP-зондирований, с измерениями на заякоренных станциях в 2005 г. в канале Вима показало, что, практически на всех рассматриваемых горизонтах, значения температуры по данным STD-зондирования больше, чем зафиксировали датчики заякоренных станций (таблица 1). Канал Вима имеет меридиональное направление, поэтому  $V$ -компонента скорости является основной и должна быть значительно больше  $U$ -компоненты. Измерения показали, что это условие практически всегда выполняется. Разница между данными скоростей, полученных разными методами, в слое ААДВ увеличивается с уменьшением глубины: от  $-4$  см/с до  $6.7$  см/с для  $U$ -компоненты и от  $-4.9$  см/с до  $6$  см/с для  $V$ -компоненты скорости у восточного склона; от  $-4.7$  см/с до  $5.5$  см/с и от  $-9.5$  см/с до  $7.7$  см/с для  $U$ - и  $V$ -компонент, соответственно, у западного склона.

Сравнение данных по потенциальной температуре, полученных в 2006 г., так же, как и в 2005 г., показывают частое завышение значений с STD-зондов (таблица 2). При сравнении компонент скорости видно, что наибольшее расхождение у меридиональной компоненты составляет  $14.5$  см/с, а у зональной —  $17.7$  см/с.

Таблица 1 – Данные по потенциальной температуре,  $U$ - и  $V$ -компонентам скорости в канале Вима по результатам CTD/LADCP-зондирований (станция 1704 располагается в восточной части канала, станция 1707 – у западного склона) и по измерениям двух заякоренных станций. Приведены разницы между значениями CTD/LADCP и датчиками заякоренных станций. Измерения проводились в 2005 г. Прочерком показано отсутствие данных.

№ станций	Канал Вима, 2005 г.							
	1704					1707		
Горизонты, м	3077	3679	3922	4255	4479	3255	4033	4367
$\theta$ (буй), °C	2.476	1.550	0.913	-0.014	-0.120	2.435	0.115	-0.071
$\theta$ (CTD), °C	2.534	1.652	1.006	-0.006	-0.119	2.448	0.255	-0.089
$\Delta\theta$ , °C	0.058	0.102	0.093	0.008	0.001	0.013	0.140	-0.018
$U$ (буй), см/с	2.2	3.9	3	-2	—	0.2	-2.6	2.3
$U$ (LADCP), см/с	-2	10.6	7.2	-6	—	-2.7	2.9	-2.4
$V$ (буй), см/с	-6.4	-7.2	-1.9	30.1	—	0.3	15.9	20.8
$V$ (LADCP), см/с	-2	-1.2	3.6	25.2	—	-2.6	6.4	28.5
$\Delta U$ , см/с	-4.2	6.7	4.2	-4	—	-2.9	5.5	-4.7
$\Delta V$ , см/с	4.4	6	5.5	-4.9	—	-2.9	-9.5	7.7

Таблица 2 – Данные по потенциальной температуре,  $U$ - и  $V$ -компонентам скорости в канале Вима по результатам CTD/LADCP-зондирований (станция 1860 располагается в восточной части канала, станция 1863 – у западного склона) и по измерениям двух заякоренных станций. Приведены разницы между значениями CTD/LADCP и датчиками заякоренных станций. Измерения проводились в 2006 г.

№ станций	Канал Вима, 2006 г.							
	1860				1863			
Горизонты, м	3077	3679	3922	4255	3255	4033	4367	
$\theta$ (буй), °C	2.438	1.661	1.110	-0.093	2.367	0.033	-0.101	
$\theta$ (CTD), °C	2.488	1.799	1.153	-0.120	2.371	0.162	-0.109	
$\Delta\theta$ , °C	0.050	0.138	0.043	-0.027	0.004	0.129	-0.008	
$U$ (буй), см/с	3	-1.9	-4.2	-1.4	-1.7	-6	-4.7	
$U$ (LADCP), см/с	2.3	15.8	15.3	2	-2.9	-16.1	-9.7	
$V$ (буй), см/с	-8.7	0	5.5	28.8	-13.7	22	31.5	
$V$ (LADCP), см/с	-18.9	2.2	3.2	16.7	0.8	19.5	24.5	
$\Delta U$ , см/с	-0.7	17.7	19.5	3.4	-1.2	-10.1	-5	
$\Delta V$ , см/с	-10.2	2.2	-2.3	-12.1	14.5	-2.5	-7	

В разломе Романш в 2013 и 2014 г. были сделаны серии измерений. В работе анализируются данные, полученные с CTD/LADCP на станциях 2513 (2013 г.) и 2537 (2014 г.), выполненных на седловине в западной части разлома. Измерения на этих станциях проводились при постановке и поднятии заякоренной буйковой станции. Для сравнения измерений рассматриваются два горизонта внутри канала (4422 и 4611 м). Оба горизонта находятся в слое ААДВ (таблица 3). Несоответствия между двумя методами измерения скорости могут достигать 17.7 см/с. Разница в потенциальной температуре достигает 0.179°C, при этом CTD-измерения чаще дают более высокие значения.

Таблица 3 – Данные по потенциальной температуре,  $U$ - и  $V$ -компонентам скорости в разломе Романш по результатам CTD/LADCP-зондирований и по измерениям заякоренной станции. Приведены разницы между значениями CTD/LADCP и датчиками заякоренной станции. Измерения проводились в 2013 и 2014 гг.

	Разлом Романш 2013 г.		Разлом Романш 2014 г.	
№ станций	2513		2537	
Горизонты, м	4422	4611	4422	4611
$\theta$ (буй), °C	0.920	0.511	0.911	0.511
$\theta$ (CTD), °C	0.886	0.543	1.090	0.527
$\Delta\theta$ , °C	-0.034	0.032	0.179	0.016
$U$ (буй), см/с	-9.6	12.5	-2.4	9.7
$U$ (LADCP), см/с	8.1	15.8	-5.5	2.8
$V$ (буй), см/с	20.1	47.8	19.7	45.2
$V$ (LADCP), см/с	9.9	38	16.9	46.1
$\Delta U$ , см/с	17.7	3.3	-3.1	-6.9
$\Delta V$ , см/с	-10.2	-9.8	-2.8	0.9

В проходе Кейн заякоренная станция стояла в 2010–2011 гг. При ее постановке и снятии выполнялись CTD/LADCP-зондирования. Несоответствия потенциальной температуры не превышают  $-0.022^{\circ}\text{C}$ , а разница в измерениях компонент скорости достигает  $9.3$  см/с (таблица 4).

Таблица 4 – Данные по потенциальной температуре,  $U$ - и  $V$ -компонентам скорости в проходе Кейн по результатам CTD/LADCP-зондирований и заякоренной станции. Приведены разницы между значениями CTD/LADCP и датчиками заякоренной станции. Измерения проводились в 2010 и 2011 гг.

	Проход Кейн, 2010 г.	Проход Кейн, 2011 г.	
№ станций	2424	2464	
Горизонты, м	4352	4352	4477
$\theta$ (буй), °C	1.880	1.870	1.883
$\theta$ (CTD), °C	1.870	1.882	1.861
$\Delta\theta$ , °C	-0.010	0.012	-0.022
$U$ (буй), см/с	4.3	-8.4	-0.3
$U$ (LADCP), см/с	-3.3	0.5	-1
$V$ (буй), см/с	2.6	-8.5	-6.9
$V$ (LADCP), см/с	10.7	0.8	0.1
$\Delta U$ , см/с	-7.6	8.9	-0.7
$\Delta V$ , см/с	8.1	9.3	7

Проведенное сравнение показало, что несоответствия между данными, полученными двумя разными методами, могут существенно превышать инструментальную точность приборов. Разницы значений, наблюдаемые в канале Вима, разломе Романш и проходе Кейн, имеют один порядок величины. Это говорит о том, что полученные качественные результаты, вероятно, применимы для любых абиссальных каналов с интенсивными придонными потоками ААДВ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-77-20004 (обработка и анализ данных CTD/LADCP зондирований; анализ данных автономных станций и сравнение результатов).

### Список литературы

1. *Wüst G.* Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans (ed. Defant A.) Wissenschaftliche Ergebnisse, Deutsche Atlantische Expedition auf dem Forschungs – und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925-1927. // Berlin. 1936. Walter de Gruyter & Co. 6(1).
2. *Mantyla A.W., Reid J.L.* Abyssal characteristics of the World Ocean waters // Deep-Sea Research. 1983. V. 30(8). P. 805–833. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(83\)90002-X](https://doi.org/10.1016/0198-0149(83)90002-X)
3. *Mercier H., Speer K.G.* Transport of bottom water in the Romanche Fracture Zone and the Chain Fracture Zone // Journal of Physical Oceanography. 1998. V. 28(5). P. 779–790. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028%3c0779:TOBWIT%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028%3c0779:TOBWIT%3e2.0.CO;2)
4. *Morozov E.G., Tarakanov R.Y., Frey, D.I. et al.* Bottom water flows in the tropical fractures of the northern Mid-Atlantic Ridge // Journal of Oceanography. 2018. V. 74(2). P. 147–167. <https://doi.org/10.1007/s10872-017-0445-x>
5. *Klein B., Molinari R.L., Muller T.J., Seidler G.* A transatlantic section at 14.5°N: Meridional volume and heat fluxes // Journal of Marine Research. 1995. V. 53. P. 929–957. <https://doi.org/10.1357/0022240953212963>
6. *Rhein M., Stramma L., Krahnemann G.* The spreading of Antarctic Bottom Water in the tropical Atlantic // Deep Sea Research Part I. 1998. V. 45. P. 507–527. [https://doi.org/10.1016/s0967-0637\(97\)00030-7](https://doi.org/10.1016/s0967-0637(97)00030-7).
7. Morozov E. G., Tarakanov R. Y., Frey D. I. Bottom Gravity Currents and Overflows in Deep Channels of the Atlantic Ocean: Observations, Analysis, and Modeling. – Springer International Publishing, 2021.
8. Frey D. I. et al. Regional modeling of Antarctic bottom water flows in the key passages of the Atlantic // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2019. – Т. 124. – №. 11. – С. 8414-8428. <https://doi.org/10.1029/2019JC015315>
9. *Morozov E.G., Tarakanov R.Y., van Haren H.* Transport of Antarctic Bottom Water through the Kane Gap, tropical NE Atlantic Ocean // Ocean Sci. 2013. V. 9. P. 825–835. <https://doi.org/10.5194/os-9-825-2013>.

### АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДНОЙ СРЕДЕ НЕВСКОЙ ГУБЫ

Миронова Д. В.<sup>1</sup>, Ершова А. А.<sup>1</sup>, Дворников А. Ю.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский филиал Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН  
*daria.mironova317@gmail.com*

*Аннотация.* Целью данной работы является исследование пространственного распределения частиц микропластика в водной среде р. Невы и Невской губы. Для достижения этой цели выполнены следующие задачи: изучены данные мониторинга загрязнения микропластиком акватории Невской губы; путем численного моделирования получена картина распространения частиц микропластика в исследуемой акватории; произведено сравнение с результатами мониторинга и данными ранее производимых исследований.

*Ключевые слова.* Микропластик. Морской мусор. Моделирование распределения взвеси.

### ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF MICROPLASTICS IN THE WATER ENVIRONMENT OF THE NEVA BAY

Mironova D. V.<sup>1</sup>, Erhova A. A.<sup>1</sup>, Dvornikov A. U.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

<sup>2</sup> St. Petersburg Branch of Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Science

*Annotation.* The purpose of this work is to study the spatial distribution of microplastic particles in the aquatic environment of the river Neva and Neva Bay. To achieve this goal, the following tasks were

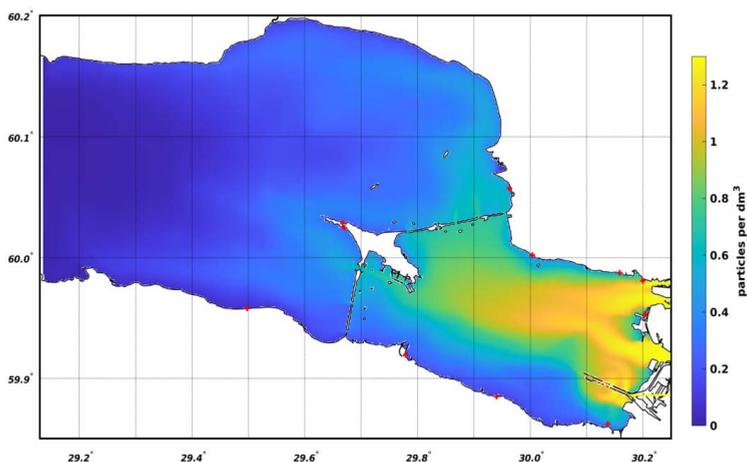
performed: the data of monitoring of microplastic pollution in the Neva Bay water area were studied; by means of numerical simulation, a picture of the distribution of microplastic particles in the study area was obtained; a comparison was made with the results of monitoring and data from earlier studies.  
*Keywords.* Microplastic. Marine debris. Modeling of suspension distribution.

Микропластиком принято называть частицы пластика диаметром менее 5 мм. Его источниками могут быть как промышленные предприятия, так и выбросы на различных стадиях жизненного цикла товаров. Опасность, исходящая от микропластика обусловлена его медленными темпами разложения, токсикантами, входящими в его состав и накапливающимися на его поверхности, его включением в пищевые цепи [1]. Проблема загрязнения водной среды Балтийского моря микропластиком активно изучается. Ежегодный мониторинг предоставляет количественные и качественные данные о содержании частиц микропластика в прибрежных водах Невской губы и на пляжах. Невская губа – это западный участок Финского залива Балтийского моря, изолированный проточный водоем. В её восточной части в Невскую Губу впадают рукава реки Невы и 8 других рек, опресняя её. Наличие комплекса защитных сооружений значительно затрудняет водообмен с остальным Финским заливом [2]. Данная акватория подвержена сильной антропогенной нагрузке. Совокупность этих факторов обуславливает Способность накапливать и длительное время удерживать различные загрязнители.

Методы. Для работы были использованы данные, полученные в ходе мониторинга загрязнения прибрежных вод и песка летом 2020 г. Они были обработаны при помощи трехмерной гидродинамической модели океана ROM. При моделировании было рассмотрено поведение двух типов взвеси. Они имитировали частицы микропластика с различной плотностью примесь нейтральной плавучести и оседающая взвесь. При сравнении плотности различных видов полимеров с плотностью воды в Финском заливе ( $1,001 - 1,002 \text{ кг/м}^3$  [3] ) можно сделать вывод, что оседать на дно должны такие полимеры, как полиэтилентерефталат, поливинилхлорид и полистирол. Сохраняют плавучесть полиэтилен высокой плотности, низкого давления; полиэтилен низкой плотности, высокого давления; полипропилен.

Источником взвеси в обоих случаях является сток р. Невы. Задавалась постоянная объемная концентрация  $10^{-6}$ , что эквивалентно содержанию  $1 \text{ см}^3$  частиц микропластика в  $1 \text{ м}^3$  воды. Так как на момент произведения расчетов реальные концентрации в водной среде р. Невы не были известны, была принята условная концентрация. Скорость оседения задавалась равной 0,2 м/с. Результаты моделирования распределения примеси нейтральной плавучести оказались не репрезентативными. Далее будет рассматриваться только полученное распределение оседающей взвеси.

Результаты. В ходе работы была получена картина пространственного распределения частиц в водной среде Невской губы (рисунок 1). Были определены зоны осаждения частиц при заданной скорости оседания. Максимальная толщина донного слоя осевших частиц наблюдалась около устьевых рукавов р. Невы, с продвижением на запад толщина уменьшалась. Также следует отметить тренд к осаждению частиц преимущественно в северной части модельной области. Данная оценка была сопоставлена с натурными данными и признана адекватной.



*Рисунок 1 - Среднемесячное (08.2020) модельное распределение объемной концентрации оседающей примеси, среднение по вертикали*

Сравнив полученные данные с данными мониторинга загрязнения пляжей (таблица 1) можно сделать вывод о том, что модель правильно оценивает тренд распределения частиц, большая часть морского мусора была обнаружена на пляжах северной части восточного побережья Финского залива.

Основываясь на данных полученных путем моделирования, для наглядности исследуемая акватория была разбита на несколько полигонов со схожими концентрациями микропластика (рисунок 2).

Натурные концентрации во многих точках несколько выше модельных. Данное разделение может быть использовано при определении мест для будущего мониторинга. Однако для этого следует учитывать больше факторов с целью получения более точных модельных данных. Так, интерес представляет область Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга. Концентрации на станциях Тарховка и Большая Ижора находятся за западнее Комплекса защитных сооружений. Именно в этих точках разница модельных и натуральных концентраций самая значительная.

Полученные результаты подтверждают значительное влияние речного стока на зональность формирования областей повышенного накопления частиц микропластика как в водной толще, так и в донных отложениях. Результаты моделирования согласуются с данными ранее производимых исследований [4].

**Заключение.** Полученную картину распределения микропластика можно использовать для оптимизации будущего мониторинга загрязнения вод частицами микропластика прибрежных вод и пляжей Невской губы. Однако следует отметить, что модель несколько преуменьшает концентрации частиц микропластика в водной среде. Этого отклонения можно избежать путем получения натуральных данных непосредственно из р. Невы, а также учетом других источников загрязнения микропластиком исследуемой акватории. Среди них сбросы с водоочистных сооружений, сток рек, расход которых намного меньше расхода р. Невы, ветровой перенос.

Для получения более точных модельных данных в ходе работ по мониторингу загрязнения микропластиком летом 2022 г. были отобраны пробы воды из р. Невы. Результаты обработки этих проб позволят задать более точную концентрацию частиц, поступающих со стоком р. Невы, что позволит получать более адекватные рассчитанные данные для всей акватории Невской губы.

Таблица 1 - Сравнение данных наблюдений с рассчитанной объемной концентрацией оседающих частиц

Дата	Станция	Долгота	Широта	Глубина измерений	Концентрация, выявленная при наблюдениях, частиц/л	Среднемесячное (август 2020) рассчитанное значение, осредненное по вертикали, частиц/л
14.08.2020	Жемчужный	30,14	59,86	0,5	0,33	0,391
14.08.2020	Александрия	29,94	59,88	0,7	0,38	0,144
14.08.2020	Ораниенбаум	29,78	59,92	0,7	0,54	0,145
14.08.2020	Большая Ижора	29,50	59,96	0,7	0,41	0,077
14.08.2020	Кронштадт, Северный пляж	29,67	60,03	0,5	0,38	0,232
14.08.2020	Кронштадт, Южный пляж	29,67	60,02	0,5	0,37	0,268
15.08.2020	Приморская	30,20	59,95	0,5	1,3	0,751
15.08.2020	Парк 300-летия	30,20	59,98	0,5	0,81	0,943
15.08.2020	Лахта	30,16	59,99	0,5	0,76	0,536
15.08.2020	Лисий нос	30,00	60,00	0,5	0,82	0,424
15.08.2020	Тарховка	29,96	60,06	0,8	1,87	0,448

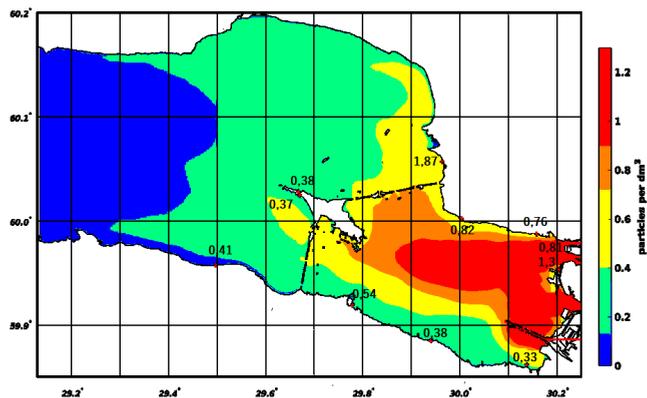


Рисунок 2 – Сравнение концентраций, полученных путем моделирования и натуральных данных

### Список литературы

1. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. / Duis K. – Environ. Sci. Eur. – 2016 – vol. 28 – p. 2. DOI: 10.1186/s12302-015-0069-y.
2. Бродский, А.К., Кудрявцева М.В. Исследование влияния Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений на биоту эстуария реки Невы / А.К. Бродский, М.В. Кудрявцева. – СПб.: 2009. – [http://ecosafe.spbu.ru/Nature/KZS/kzs\\_cp.htm](http://ecosafe.spbu.ru/Nature/KZS/kzs_cp.htm) (дата обращения: 24.04.2022).
3. Sailing Seas of Plastic. — Текст : электронный // Sailing Seas of Plastic : [сайт]. — URL: <https://app.dumpark.com/seas-of-plastic-2/> (дата обращения: 20.04.2022).

4. Мартыанов С.Д., Рябченко В.А., Ершова А.А., Ерёмина Т.Р., Мартин Г. К оценке распространения микропластика в восточной части Финского залива // Мартыанов С.Д., Рябченко В.А., Ершова А.А., Ерёмина Т.Р., Мартин Г. – СПб.: Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 32—41.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭВОЛЮЦИИ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОГОДУ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ**

Озерова Н. А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*nadinalex19@mail.ru*

*Аннотация.* Приводятся результаты исследования тропических циклонов северо-западной части Тихого океана. Особое внимание уделяется тайфунам, имевшим нехарактерную траекторию перемещения – так называемые петляющие тропические циклоны. Подробно рассматриваются три тропических циклона: тайфун Лайонрок, тропический шторм Миндулл и тропический шторм Компасу. Исследуется взаимовлияние тайфунов при их взаимодействии – эффект Фудзивары. Также ставится вопрос о том, насколько верно предположение о том, что три рассматриваемых барических образования имели взаимное влияние друг на друга. Взаимодействие тропических циклонов отмечается путем математического моделирования с использованием мезомасштабной численной модели WRF-ARW.

*Ключевые слова.* Тайфун, северо-западная часть Тихого океана, эффект Фудзивары, модель WRF-ARW.

## **EVOLUTION OF TROPICAL CYCLONES AFFECTING THE RUSSIAN FAR EAST WEATHER**

Ozerova N. A.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Abstract.* The article contains results of a study of tropical cyclones in the northwestern part of the Pacific Ocean. Specific attention is paid for typhoons that had an unusual trajectory of movement - the so-called looping typhoons. Three tropical cyclones are discussed in details: Typhoon Lionrock, Tropical Storm Mindull and Tropical Storm Kompas. The typhoon influence on each other during their interaction, or Fujiwara effect, is investigated. The question of how true the initial assumption of all three baric formations had a mutual influence on each other is stated. Tropical cyclone interactions is studied by the WRF-ARW mesoscale model.

*Keywords.* Typhoon, northwestern part of the Pacific ocean, Fujiwara effect, WRF-ARW model.

Тропические циклоны – это атмосферные вихри в тропических широтах с пониженным атмосферным давлением в центральной части. С тропическими циклонами связаны ураганные скорости ветра, выпадение большого количества осадков, нередко превышающего месячную норму в несколько раз, наводнения и прочие катастрофические явления. Поэтому тропический циклон – это природное явление, достаточно опасное для человека и требующее детального изучения.

Тайфуны обычно проводят свой жизненный цикл в тропических широтах. Из-за этого большая часть территории России не страдает от последствий, вызываемых тропическими циклонами. Единственная территория страны, которая находится под влиянием данных атмосферных вихрей, это Дальний Восток. Тропические циклоны могут выходить сюда как в своей непосредственно тропической форме, так и в форме внетропических циклонов после регенерации на полярном фронте. Второй вариант наблюдается чаще [1].

В год в пределах северо-западной части Тихого океана образуется около 30 тайфунов. Причем до дальневосточной территории России ежегодно в среднем доходит 2 – 4 циклона.

Каждый из вихрей приносит с собой ухудшение погодных условий: резкое усиление ветра и выпадение большого количества осадков, нередко приводящее к наводнениям.

Поэтому целью работы является детальное изучение и прогнозирование всех стадий развития тропического циклона и элементов погоды, связанных с ним, для предотвращения ущерба или его минимизации [1].

Прогноз траектории перемещения тропических циклонов является одной из самых сложных задач, связанных с тайфунами. Большинство образующихся циклонов имеют сходные траектории движения. В соответствии с характером движения воздушных масс в Северном полушарии ураганы и тайфуны движутся над океаном сначала к западу, а затем, по мере приближения к восточным берегам Северной Америки и Азии, начинают смещаться к северо-западу и северу [2].

Но помимо стандартных траекторий иногда встречаются тайфуны-аномалии. Один из таких примеров рассмотрен в данной работе.

Для примера рассмотрим тайфун Лайонрок, существовавший в Тихом океане с 18 по 30 августа 2016 года. Данный тайфун имел необычную траекторию. Его петлеобразность является исключением из общепринятых правил перемещения циклонов.

В более ранних исследованиях автора [1] считалось, что необычная траектория тайфуна Лайонрок (рисунок 1) связана исключительно с синоптическими процессами.

До 19 августа шторм двигался в северо-западном направлении. Следующие пять дней Лайонрок перемещался на юго-запад в связи с зарождением системы повышенного давления северо-западнее. Достигнув своей самой южной точки траектории 26 августа, тайфун продолжал углубляться. В то же время он начал движение на северо-восток в связи с углублением внетропического циклона на северо-востоке Китая. 28 августа Лайонрок достиг своей максимальной интенсивности с минимальным давлением равным 940 гПа. 30 августа тайфун резко повернул на северо-запад и над Японским морем трансформировался во внетропический циклон [1].

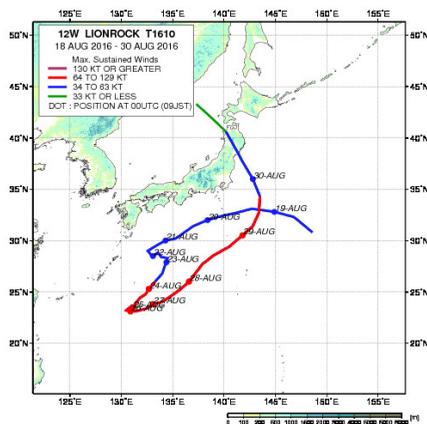
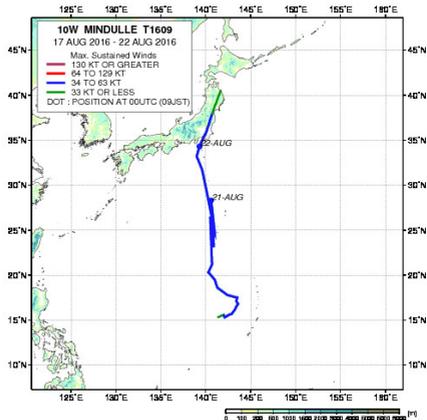


Рисунок 1 – Траектория перемещения тайфуна Лайонрок [3]

По мере изучения процессов, связанных с циклоном Лайонрок, был сделан акцент на влияние на него двух других барических образований – тропических штормов Миндулл и Компасу, существовавших в пределах изучаемой территории с 17 по 23 августа 2016 года и с 18 по 21 августа 2016 года соответственно. Траектории штормов Миндулл и Компасу представлены на рисунках 2а и 2б.

а



б

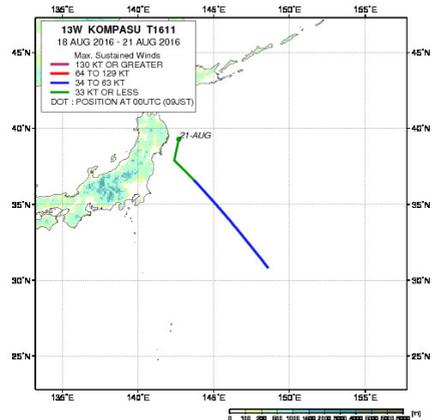


Рисунок 2 – Траектория перемещения тропического шторма Миндулл (а) и Компасу (б) [3]

На перемещение тропических циклонов в пространстве влияет больше количество факторов. Для объяснения взаимовлияния циклонов на перемещение было введено понятие «эффект Фудзивары». Присутствие других тропических циклонов в радиусе влияния изучаемого шторма может определять движение шторма, потому что циклоны будут взаимодействовать друг с другом, вращаясь друг вокруг друга [4].

Эффект Фудзивары – достаточно редкое явление. К тому же он проявляется на незначительное время, как, например, в данном случае, на период в несколько суток. Но, несмотря на это, он имеет большое влияние на все тропические циклоны, участвующие во взаимодействии. Это проявляется как в изменении интенсивности тайфунов, так и в коррекции их траекторий. На примере тайфуна Лайонрок можно увидеть, что до взаимодействия с двумя тропическими штормами он также достигал стадии развития тропического шторма (рисунок 1). Просуществовав в стадии шторма 4 дня (с 18 по 21 августа), он имел тенденцию к заполнению и выходу на территорию юго-востока Китая. Но, получив достаточный приток энергии от штормов Компасу и Миндулл при взаимодействии соответственно 20 и 21 августа (рисунки 3а-г), Лайонрок изменил свою траекторию перемещения, повернув до более южной составляющей. Также эффект Фудзивары повлиял на стадию развития тайфуна: уже через день после взаимодействия, к 23 августа, Лайонрок от стадии тропического шторма углубился до стадии тайфуна.

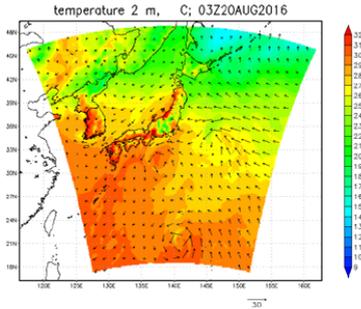
Взаимодействие тропических штормов было изучено с использованием мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW.

В качестве исходных данных были использованы данные модели GFS с шагом сетки  $0,25^\circ$  за период с 17 августа по 30 августа 2016 года для постановки начальных и граничных условий при моделировании тайфуна Лайонрок и тропических штормов Миндулл и Компасу. Для моделирования была выбрана область, охватывающая регион  $10^\circ - 50^\circ$  с. ш.,  $110^\circ - 160^\circ$  в. д.

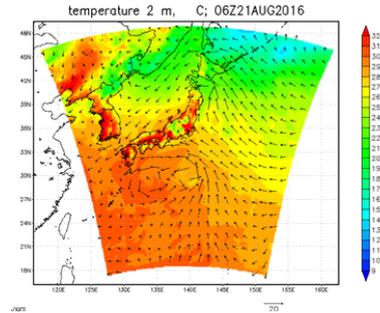
На рисунках 3а-г представлены результаты моделирования наиболее показательных сочетаний метеорологических характеристик изучаемой области.

Исходя из результатов, представленных на рисунках 3а-г, можно сделать вывод о том, что на изменение траектории тайфуна Лайонрок в большей степени влиял именно шторм Миндулл, взаимодействие которых произошло 21 августа 2016 года. Максимальное проявление их взаимовлияния изображено на рисунках 3б-г. Здесь можно увидеть, что барические образования имеют общую замкнутую изобару в поле давления (рисунок 3в) и соответствующую циркуляцию ветра (рисунок 3б). Также отчетливо заметно проявление связи двух циклонов в поле функции тока (рисунок 3г).

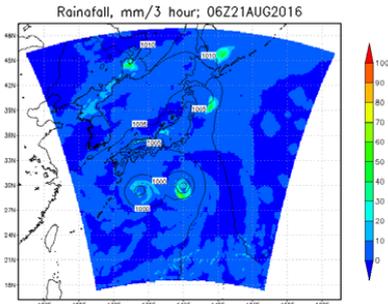
a



б



в



г

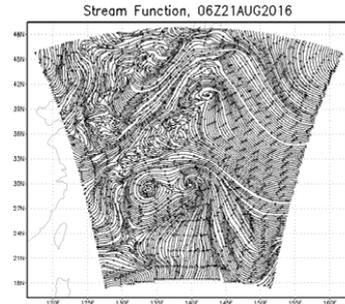


Рисунок 3 – Результаты моделирования температуры и ветра 20 августа 2016 (а), температуры и ветра 21 августа 2016 (б), осадков и давления 21 августа 2016 (в), функции тока 21 августа 2016 (г)

Аналогичного явного проявления влияния тропического шторма Компасу на тайфун Лайонрок не прослеживается. Их взаимодействие происходило 20 августа 2016 года. Из рисунка 3а можно видеть, что в поле ветра между циклонами не наблюдается аналогичной циркуляции в поле ветра.

В дальнейшем планируется продолжение изучения влияния эффекта Фудзивары с применением мезомасштабной модели WRF-ARW, где будут исследованы метеорологические элементы тайфуна Лайонрок и тропических штормов Миндулл и Компасу в моменты их взаимодействия. Но уже на данный момент можно опровергнуть теорию о том, что на тайфун Лайонрок повлияли оба тропических шторма: и Миндулл, и Компасу.

### Список литературы

1. Озерова Н. А. Исследования тропических циклонов северо-западной части Тихого океана: Выпускная квалификационная работа (ВКР). Бакалаврская работа. – СПб, 2021. – 106 с.
2. Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. – Л.: Наука, 1969. – 487 с.
3. JAXA/EORC Tropical Cyclone Database [Электронный ресурс]. – URL: [https://sharaku.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/typ\\_db/typ\\_track.cgi?lang=e&area=WP](https://sharaku.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/typ_db/typ_track.cgi?lang=e&area=WP) (дата обращения 27.02.2021).
4. Liou Y.-A., Pandey R.S. Interactions between typhoons Parma and Melor (2009) in North West Pacific Ocean // Weather and Climate Extremes. Volume 29. 2020. 100272. ISSN 2212-0947.

## **«ЗИМНИЕ ГРОЗЫ» КАК ОПАСНОЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ**

Пронив Е.Н.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*proniv2014@yandex.ru*

*Аннотация.* Исследованы физические и синоптические условия образования «зимних гроз», рассмотрены случаи образования данного явления в различных регионах России.

*Ключевые слова.* опасное явление погоды, условия образования, «зимние грозы».

## **"WINTER THUNDERSTORMS" AS A DANGEROUS METEOROLOGICAL PHENOMENON**

Proniv E.N.

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*Annotation.* The physical and synoptic conditions of the formation of "winter thunderstorms" are investigated, the cases of the formation of this phenomenon in various regions of Russia are considered.

*Keywords.* Dangerous weather phenomenon, formation conditions, "winter thunderstorms".

Современную деятельность человека невозможно представить без фактических сведений о состоянии атмосферы. Точность метеорологических наблюдений позволяет качественно и своевременно обеспечивать метеорологической информацией различных отраслей хозяйственной деятельности, а также контролировать и прогнозировать изменения в окружающей среде.

При этом существуют метеорологические явления, которые и в настоящее время достаточно сложно прогнозировать. К таким явлениям можно отнести грозовую активность.

Гроза – это атмосферное явление, которое представляет собой разновидность осадков, при которых в облаках, над ними и под ними формируются электрические разряды – молнии, влекущие за собой гром. Грозовую активность часто сопровождают такие явления, как сильный ветер, град, ливневый дождь (при развитии кучево-дождевых облаков) [1].

В настоящее время метеорологические службы научились прогнозировать грозы. Однако, существует такое явление, как «зимняя гроза», которое может встречаться поздней осенью, зимой или ранней весной. Явление довольно малоизученное и редко встречаемое.

В данной работе представлены условия образования «зимних гроз», география их образования, рассмотрены примеры случаев данного метеорологического явления.

«Зимняя гроза» – метеорологическое явление, при котором отмечается выпадение ливневого снега, ледяного дождя или ледяной крупы. Как известно, на суше преобладают летние грозы, над океанами – зимние. Но в последнее время такое определение становится размытым и неактуальным, т.к. все чаще зимние грозы наблюдаются над материковой частью различных стран, в том числе и в России [2].

«Зимние грозы» можно привычно наблюдать над южными территориями нашей страны (Кавказ, Краснодарский край), где зимы достаточно теплые. Но в последнее время фиксируются случаи наблюдения гроз и в нетипичных для них регионах – север европейской части России, Сибирь, Центральная Россия, Арктическая зона РФ.

По данным Гидрометцентра России, зимние грозы фиксируются раз в пять лет. При этом чаще всего они бывают в феврале и первом весеннем месяце - марте, который в средней полосе России больше напоминает зимний. Синоптики связывают это явление с особенностями местного климата, который отличается своими параметрами, например, сильной неустойчивостью из-за близкого расположения к водоемам, горам или резким перепадом атмосферного давления, влиянием барических образований и др. [2].

Явления погоды конвективного происхождения, опасные в зимний период, мало изучены и сложно прогнозируемы, особенно в условиях редкой сети наблюдательных станций. Обнаружить участки грозовых очагов можно с помощью метеорологических

локаторов (МРЛ), спутникового зондирования и радиозондирования. В России, например, недостаточное распределение МРЛ, особенно на востоке страны, поэтому заранее спрогнозировать зимние грозы практически невозможно.

Хочется отметить, что отсутствие методик прогноза такого редкого явления, является причиной необходимости создания некоего алгоритма по прогнозированию опасных конвективных явлений холодного периода.

Для авиационной отрасли очень важно знать метеоусловия по маршруту полёта. Воздушным судам запрещено влетать в грозовые (конвективные) облака, т.к. связанные с ними мощные восходящие и нисходящие потоки воздушных масс, турбулентность, обледенение, ливневые осадки, град, шквалистый ветер могут привести к разрушению или повреждению летательного аппарата [3].

За последнее время количество зимних гроз значительно увеличилось. В частности, в условиях современного глобального потепления климата, выражающегося в первую очередь в росте зимних температур [4], отмечается увеличение количества случаев данного опасного явления.

Рассмотрим несколько случаев:

19 февраля 2022 года, около 4 часов утра, в течение 1,5-2 часов над Калининградской областью можно было наблюдать грозы со шквалом. Причиной этого явления стало прохождение холодного фронта циклона «Юнис». Гроза сопровождалась шквалистым усилением ветра до 28 м/с и выпадением ледяной крупы [6]. На метеостанции «Калининград-Низовье» с 23:00 предыдущего дня по 02:00 местного времени отмечалось повышение температуры (с 2,8 °С до 6,8 °С), падение атмосферного давления (с 740,2 мм.рт.ст. до 735,8 мм.рт.ст.).

Расчитав индексы неустойчивости для прогнозирования гроз, по данным зондирования пункта «Leva» (Польша), можно отметить, что по методу Вайтинга, Vertical Totals, Cross Totals, Total Totals, Severe Weather Threat Index (SWEAT) грозы прогнозировались.

- Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 25,60 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;

- Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 29,80 – грозы вероятны;

- Индекс неустойчивости Cross Totals равен 28,30 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются очень сильные грозы.

- Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 58,10 – прогнозируются сильные грозы с сильными смерчами.

Индекс SWEAT равен 352,9 – вероятность сильных гроз.

Стоит отметить, что в Краснознаменском районе Калининградской области наблюдались торнадоопасные мезоциклоны.

9 января 2023 года в городе Назарово Красноярского края в дневное время суток была зафиксирована грозовая активность [7]. Связано явление с прохождением фронта окклюзии, а затем холодного фронта (резкое падение атмосферного давления с 733,5 мм.рт.ст. в 04:00 часа местного времени до 717,2 мм.рт. ст. в 13:00 часов, а затем повышение до 733,9 в 04:00 часа следующего дня. Изменение температуры от -7,9°С за 04:00 местного времени до +2,2°С в 16:00, а затем понижение до -3,8 к 04:00 следующего дня.

По данным зондирования аэропорта Емельяново (130 км западнее г. Назарово) за 09.01.2023 срок 00:00Z по методу Вайтинга ( $K=15$ ) и SWEAT грозы не ожидалось. По индексам Cross Totals, Total Totals – грозы прогнозировались. По индексу Vertical Totals (25,80), что является граничным значением (при  $VT \geq 26,0$  – грозы прогнозируются).

В ночь с 8 на 9 ноября 2012 года около 01:00-01:30 местного времени в г. Пермь была зафиксирована гроза с ливнем и слабым шквалом. Город находился в тылу циклона в холодной и влажной воздушной массе с большими вертикальными градиентами температуры воздуха. Центр циклона расположен в районе Новой Земли. Стоит отметить,

что перед прохождением фронта температура воздуха повысилась до  $+7,4^{\circ}\text{C}$ , холодный фронт прошел с небольшим понижением температуры.

Ночью к границам Пермского края с запада подошел вторичный холодный фронт, который связан с хорошо выраженной барической ложбиной. За холодным фронтом адвекция холода на высотах еще более интенсивная, чем перед ним – по данным радиозондирования атмосферы на станции Киров, температура на уровне АТ500 упала до  $-36,5^{\circ}$ . Контраст температуры между уровнями АТ850 и АТ500 (около 1,5 км и около 5,5 км в данных условиях) приблизился к  $30^{\circ}$ . На фоне высокой влажности это способствует развитию конвекции. А холодный фронт и сходимость потоков эту конвекцию усилили, и в результате сформировались кучево-дождевые облака, которые дали локальные ливни и грозы.

По расчетам модели GFS (прогон от 12 UTC) 8 ноября, вероятность гроз в Перми и к северу от города составляла 20-40%, максимальное значение индекса Вайтинга ожидалось севернее Перми [8].

Стоит отметить, что во всех случаях образования «зимней грозы» наблюдалось при быстром прохождении атмосферного фронта – отмечался контраст температуры, атмосферного давления, влажности. Стратификация атмосферы была неустойчива. Образование зимних гроз не может обходиться без развития конвекции или того, что создает восходящие потоки, запасы влаги, достаточные для образования облачности и осадков, а также структуры, в которых одна часть облачных частиц будет находиться в жидком состоянии, а вторая – в ледяном. Такое возможно, если нижняя часть облака формировалась при температуре выше  $0^{\circ}\text{C}$ . В верхней части облака при попадании частиц воды в зону отрицательных температур постепенно формируются кристаллы льда. Смешанный состав облака приводит к укрупнению его элементов и формированию грозовой облачности [5].

Также необходимым условием образования «зимних гроз» является ветер переменного направления. Осадки, образованные в восходящем потоке, переносятся по верхнему уровню облака в зону нисходящего потока. Таким образом, зоны восходящего и нисходящего потоков оказываются разделенными в пространстве, что обеспечивает развитие грозового облака.

Подводя итог вышеперечисленного, можно выделить синоптические условия, которые могут быть предикторами для образования «зимних гроз»:

- прохождение холодного фронта или фронта окклюзии;
- контраст давления;
- контраст температур;
- достаточно быстрая конвекция теплой влажной воздушной массы при прохождении фронта (воздух перед прохождением фронта должен быть теплым для пункта прогнозирования);
- положительная энергия неустойчивости в атмосфере.

#### Список литературы

1. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Основы метеорологии. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2006 – 228 с.
2. Смирнов С.Э., Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Особенности зимних гроз на Камчатке [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://vk.com/doc137842236\\_640066486?hash=Bis7vYRMk9NotVOcqy1RYFBTeJrDUBL4RBxozs2ZR90&dl=0Sai1HUjvIlyj0FR609cs336Ioh0kulM6VN7gc9I0Lg](https://vk.com/doc137842236_640066486?hash=Bis7vYRMk9NotVOcqy1RYFBTeJrDUBL4RBxozs2ZR90&dl=0Sai1HUjvIlyj0FR609cs336Ioh0kulM6VN7gc9I0Lg)
3. Позднякова В.А. «Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для летного и диспетчерского состава ГА» учебник - Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. — 113 с.
4. Подгорная Е.В., Мельник В.И., Комаровская Е.В. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия. Труды Гидрометцентра России. 2015;358:112–120.

5. *Пряхина С. И., Котова А. А.* Синоптические условия формирования снежных гроз на территории Западной Сибири // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 3. с.166–168.
6. Погода и метеоявления в Калининградской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://vk.com/wall-166301441\\_24255](https://vk.com/wall-166301441_24255)
7. Зимняя гроза разразилась в Назарово [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tvknews.ru/publications/news/70591/>
8. Нежданная ноябрьская гроза в Перми [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://accident.perm.ru/index.php/novosti/68-nezhdannaya-noyabrskaya-groza-v-permi>

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕГЕ И ВОДОУТРАТЫ**

Ситникова Я.А.

Научный руководитель к.т.н., доцент Хаустов В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*vitaly.khaustov3@mail.ru*

*Аннотация.* В работе рассматривается апробация модели формирования запасов воды в снеге для ряда метеорологических станций Северного края России. Решая обратную задачу, выполнена параметризация модели и дана оценка согласия фактических и расчетных суточных значений снеготопливных запасов. На их основе рассчитаны водоотдача из снега и в целом внутригодовая суточная водоподача на водосборы за многолетний период.

*Ключевые слова.* Математическая модель, параметризация модели, запасы воды в снеге, водоотдача из снега, водоподача на водосбор, оценка эффективности расчета.

## **MODELING OF PROCESSES OF FORMATION OF WATER RESERVES IN SNOW AND WATER LOSS**

Ya. A. Sitnikova

Supervisor, Ph.D., Associate Professor V.A. Khaustov

Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg

*vitaly.khaustov3@mail.ru*

*Abstract.* The paper considers the testing of a model for the formation of water reserves in snow for a number of meteorological stations in the Northern Territory of Russia. Solving the reverse problem, parameterization of the model was performed and the agreement of the actual and calculated daily values of snow reserves was assessed. On their basis, water production from snow and, in general, annual daily water supply to watersheds for a multi-year period are calculated.

*Keywords.* Mathematical model, parameterization of model, water reserves in snow, water loss from snow, water supply to water collection, estimation of calculation efficiency.

Введение. Начиная со второй половины 70-х годов XX в., на Европейской территории России происходят значимые изменения во внутригодовом распределении стока большинства рек. Поэтому одной из главных целей в гидрологии становится прогноз большой водности. Её главной составляющей на Европейской территории России в большинстве случаев является весеннее половодье. Основным фактором формирования максимального стока в этот период является водоотдача из снежного покрова, определяющаяся количеством твердых осадков в холодный период и приземной температурой воздуха [1].

Целью работы является параметризация модели формирования запасов воды в снеге, расчет ежедневных снеготопливных запасов, водоотдачи из снега и внутригодовой водоподачи на водосбор.

Исходные данные. Объектом исследования был выбран водосбор реки Мезень. Она расположена в северной части России и берет свое начало на западных склонах Тиманского кряжа и впадает в Мезенскую губу Белого моря. Длина реки составляет 966 км, площадь водосбора – 79 650 км<sup>2</sup>. Территория бассейна расположена в трех административно-территориальных областях: Архангельской, Коми и Ненецком автономном округе.

Предметом исследования являлись запасы воды в снеге и водоотдача из него в весенний период. В качестве исходных данных использовались ежедневные: 1) приземная температура воздуха ( $T$ , °C), 2) осадки ( $X$ , мм); 3) запасы воды в снеге ( $S$ , мм) по материалам маршрутных снегомерных съемок; 4) характеристики снежного покрова (высота  $h$ , см).

В исследовании использованы метеорологические данные шести станций расположенные на водосборе р. Мезень и близлежащие за период 16 лет с 2006 по 2021 гг. (см. таблицу 1 и рисунок 1).

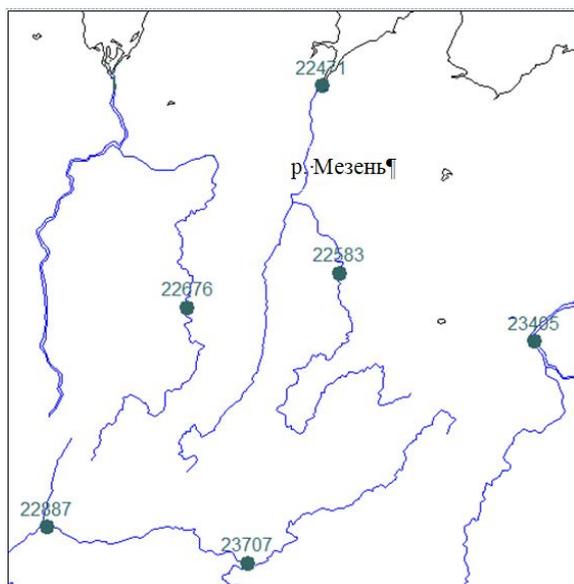


Рисунок 1– Схема расположения метеостанций

Таблица 1– Список метеостанций и метеорологических данных

№ п/п	№ станции	Станция	Характеристики		
			$T, X$	$S$	$h$
1	22471	Мезень	v	v	v
2	22583	Койнас	v	v	v
3	22676	Сура	v	v	v
4	22887	Котлас	v	v	v
5	23405	Усть-Цильма	v	v	v
6	23707	Усть-Вымь	v	–	v

Методика и результаты расчетов. На первом этапе исследования выполнено определение дат начала снегонакопления на водосборе. За эту дату принималось начало устойчивого перехода температуры через 0 °C к отрицательным значениям. Эта дата определялась по дате после характерного пика (максимального значения) на графике суммы температур в переходный период. В качестве примера на рисунке 2 приведен пример в виде хронологического графика температур и сумм температур за период с 06.09.2008 по 04.01.2009 гг. для станции Мезень.

На втором этапе являлся расчет запасов воды в снеге ( $S$ ) как суммы выпавших твердых осадков (снега) с учетом водоотдачи в период оттепелей. С даты устойчивого перехода температур к устойчивым отрицательным значениям выполнялось суммирование твердых осадков  $X^{TB}$  с коэффициентом потерь  $kf$ , минимизирующим разницу между данными снегосъемок, проводящимися по маршруту, и метеостанции. В период оттепелей водоотдача учитывалась посредством температурного коэффициента  $kt$ , показывающим сколько мм слоя снега тает на  $1^\circ\text{C}$  положительной температуры ( $t^+$ ). Расчет заканчивался на дату полного отсутствия снега на станции, которая определялась по высоте снежного покрова равным нулю. Таким образом элементарная модель формирования запасов воды в снеге и её конечно-разностная аппроксимация выглядит следующим образом:

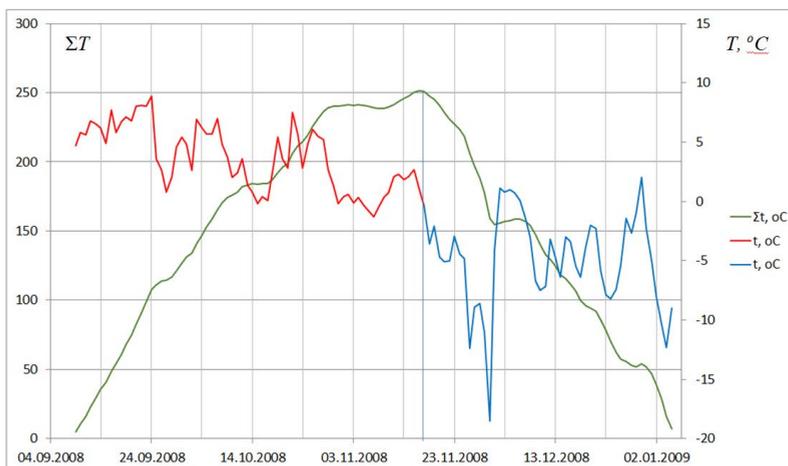


Рисунок 3 – Определение даты устойчивого перехода для станции Мезень в 2008 году

$$\frac{dS}{dt} = kf \cdot X^{TB} - kt \cdot t^+,$$

$$S_{i+1} = S_i + kf \cdot X_i^{TB} - kt \cdot t_i^+.$$

Параметры модели  $kf$  и  $kt$  определялись при решении обратной задачи по известным запасам воды в снежном покрове, температуре и осадкам. Оптимизация выполняется с помощью процедуры «поиска решения» MS Excel и системы линейных уравнений с переопределенной матрицей [2] по специально разработанной программе. Водоотдача из снега рассчитывалась как разница между смежными численными значениями запасов воды в снеге в сторону убывания. Оценкой согласия фактических, расчетных и прогнозных значений запасов воды в снеге служил критерий  $S/\sigma$ , численные значения которого не должны превышать 0,8 [3].

На рисунке 4 представлены результаты моделирования запасов воды в снеге и водоотдачи на примере станции Койнас для холодного периода 2007-2008 гг. Дата устойчивого перехода температуры через ноль 03.11.2007, с которой началось снегонакопление, а 30.05.2008 снег полностью растаял, что видно по высоте снежного покрова. Водоотдача продолжалась с 27.03.2007 по 30.05.2008, когда фиксировались потери общих запасов воды в снеге при положительных температурах, причем устойчивый переход через ноль к положительным температурам наступил лишь 17.04.2008. Пунктирная кривая рассчитанных снеготолщин хорошо согласуется с фактическими точками и высотой снежного покрова, что свидетельствует о высокой точности расчетов.

При решении обратной задачи определены оптимальные значения исследуемых параметров модели:  $kf = 0.93$ ,  $kt = 2.20$  мм/1°С. В качестве примера на рисунке 5 представлена многолетняя изменчивость численных значений параметров модели формирования снегов запасов  $kf$  и  $kt$  за весь рассматриваемый период для станции Койнас.

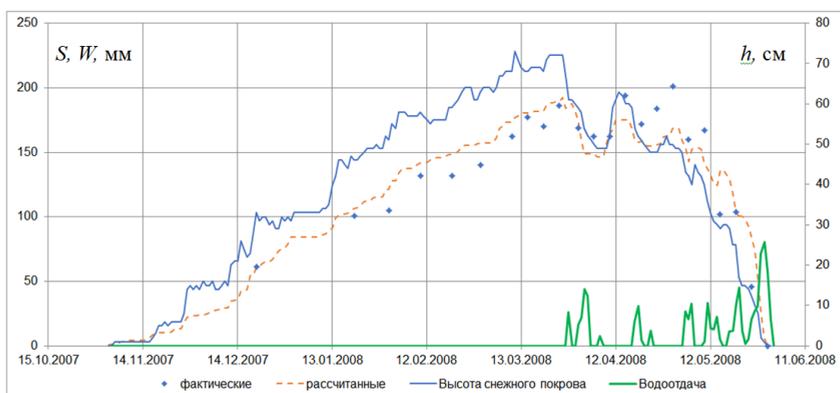


Рисунок 4 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге ( $S$ ), водоотдачи из снежного покрова ( $W$ ) и его высоты ( $h$ ) станции Койнас для холодного периода 2007-2008 гг.

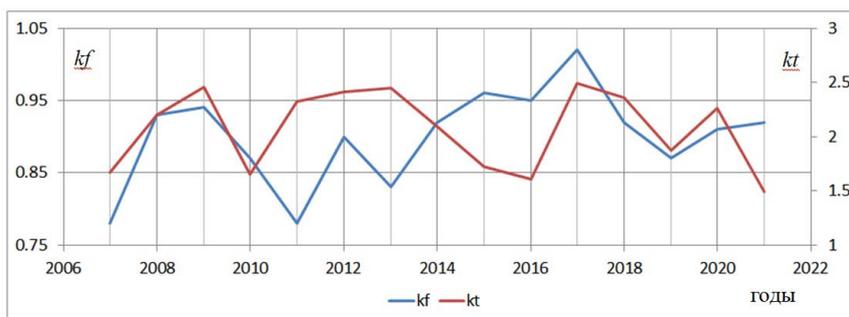


Рисунок 5 – Многолетняя изменчивость численных значений параметров  $kf$  и  $kt$  за весь рассматриваемый период для станции Койнас

В таблице 2 представлена сводная информация по оценке согласия фактических и расчетных значений запасов воды в снеге для рассматриваемых станций.

Отдельная задача решена для станции Усть-Вымь, на которой отсутствовали фактические значения запасов воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок. На том основании, что математическая модель формирования снегов запасов показала хорошую оценку согласия с расчетными значениями, выполнен их расчет с целью получения нулевого значения запасов воды в снеге к дате отсутствия залегания на метеостанции. На рисунке 6 представлен пример хронологических графиков, рассчитанных запасов воды в снеге, водоотдачи и высоты снежного покрова для холодного периода 2007-2008 гг. При решении обратной задачи определены оптимальные значения исследуемых параметров модели:  $kf = 0.82$ ,  $kt = 2.64$  мм/1°С. Качественная оценка хода снегов запасов и высоты снежного покрова показала хорошую сходимость для всех исследуемых холодных периодов.

Конечной etapом исследования являлся расчет водоотдачи ( $X_{вп}$ ) на водосбор, как водоотдачи из снега в холодный и начало теплого периода, а также жидких осадков – в теплый (после окончания водоотдачи и до устойчивого перехода температуры через ноль

осенью). Температура выступает в данном случае как фильтр, перераспределяющий твердые осадки с холодного периода в начало теплого. На рисунке 7 представлен пример указанного перераспределения от осадков (жидких и твердых) до водопада на водосбор для станции Койнас за период с 2006 по 2011 гг.

Таблица 2 – Численные значения критерия  $S/\sigma$  и оценка расчета

№ п/п	№ станции	Станция	Число снегосъемок	$S/\sigma$	Оценка расчета
1	22471	Мезень	248	0.46	хорошая
2	22583	Койнас	282	0.28	хорошая
3	22676	Сура	296	0.25	хорошая
4	22887	Котлас	118	0.30	хорошая
5	23405	Усть-Цильма	343	0.26	хорошая

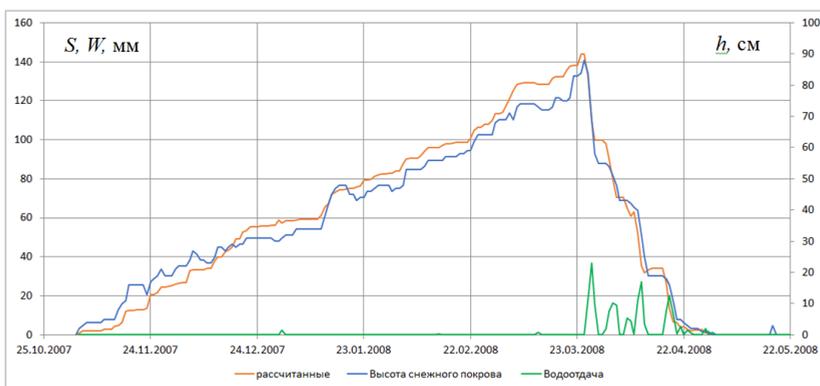


Рисунок 6 – Хронологические графики расчетных запасов воды в снеге ( $S$ ), водоотдачи из снежного покрова ( $W$ ) и его высоты ( $h$ ) станции Усть-Вымь для холодного периода 2007-2008 гг.

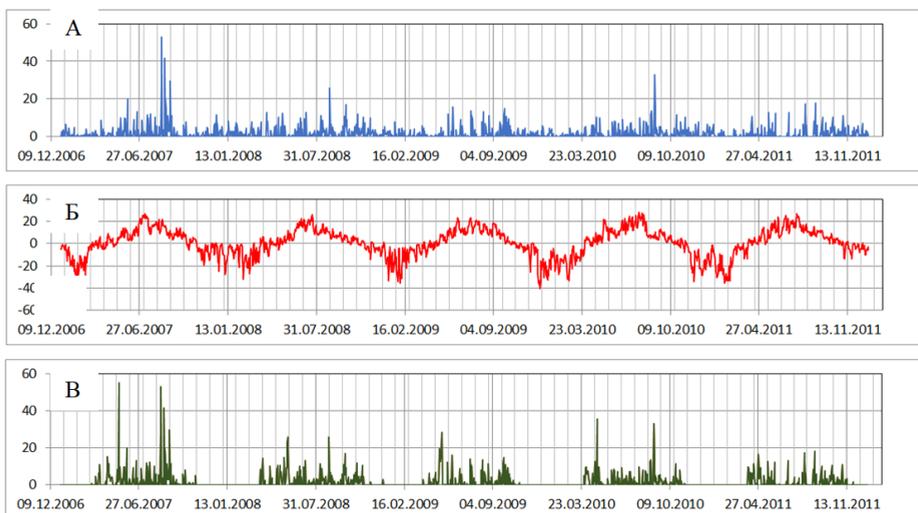


Рисунок 7 – Графики хода осадков (А), температур (Б) и водоотдачи на водосбор (В) для станции Койнас

**Выводы.** В результате проведенного исследования апробирована модель формирования запасов воды в снеге для ряда станций Северного края вблизи и на водосборе р. Мезень, которая дала хороший результат при решении обратной задачи по критерию  $S/\sigma$ . Рассчитаны ежедневные снеготопоты и водоотдача из снега. С целью дальнейшего моделирования и прогнозирования речного стока рассчитано внутригодовое распределение водопада на водосбор. Решена отдельная задача параметризации модели формирования снеготопоты при отсутствии данных маршрутных снеготопот для станции Усть-Вымь за многолетний период.

### Список литературы

1. Хаустов В.А., Ромашова К.В., Хренов А.А. Оценка многолетних изменений максимальных снеготопоты и водоотдачи Северного края России // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации / Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции, 2019.
2. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ, 1989.
3. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы, 2007.

### АНАЛИЗ СМОГА В ПЕКИНЕ

Сергеева Н.О.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*natasha-sergeeva@autorambler.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются экологические проблемы и данные загрязнения воздуха в Пекине с целью выявления смога с помощью спутниковых изображений. Проверяется модель цветового синтеза Sevir Ash/Dust RGB.

*Ключевые слова.* Смог, спутниковые снимки, обработка, загрязнения, экология.

### SMOG ANALYSIS IN BEIJING

Sergeeva N.O.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

*Annotation.* Considers environmental issues and Beijing air pollution data to identify smog using satellite imagery. The Sevir Ash/Dust RGB color synthesis model is tested.

*Keywords.* Smog, satellite images, processing, pollution, ecology.

Экологическая проблема – одна из глобальных проблем человечества. Она включает в себя загрязнение воды, деградацию почв, разрушение озонового слоя, вырубку лесов, неправильное обращение с отходами, химическое воздействие и многое другое. Все эти ситуации существенно влияют на жизни и здоровье людей.

Само по себе загрязнение воздуха является одной из самых серьезных экологических угроз для человека. Повышается риск заболеваний, таких как инсульт, болезни сердца, рак легких и хронические или острые респираторные заболевания. Последствия загрязнения воздуха – глобальны. Каждый год от заболеваний, связанных с ними, умирают миллионы людей.

Различные примеси в воздухе появляются по вине самого человека. По данным ЮНЕП (программа ООН), загрязнения вызваны, в основном, пятью видами деятельности: сельским хозяйством, транспортом, промышленностью, отходами и домашним хозяйством. К основным видам загрязнения воздуха относятся:

*Дисперсные частицы (ДЧ)*

Концентрация ДЧ является часто используемым косвенным показателем уровня загрязнения воздуха. Основными компонентами являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлорид натрия, сажа, минеральная пыль и вода. Можно выделить тонкодисперсные частицы (PM<sub>2,5</sub>) и крупнодисперсные, вдыхаемые частицы (PM<sub>10</sub>).

#### *Окись углерода (CO)*

Окись углерода представляет собой бесцветный токсичный газ без запаха и вкуса, образующийся при неполном сгорании углеродосодержащих видов топлива, таких как древесина, бензин, древесный уголь, природный газ и керосин.

#### *Озон (O<sub>3</sub>)*

Приземный озон – не следует путать с озоном в верхних слоях атмосферы – является одной из основных составляющих фотохимического смога и образуется в результате реакции с газами на солнечном свете.

#### *Диоксид азота (NO<sub>2</sub>)*

NO<sub>2</sub> представляет собой газ, который обычно выделяется при сжигании топлива на транспорте и в промышленности.

#### *Двуокись серы (SO<sub>2</sub>)*

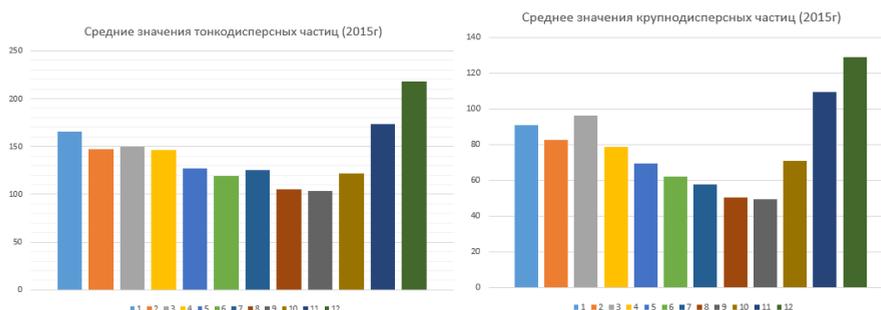
SO<sub>2</sub> представляет собой бесцветный газ с резким запахом. Он образуется при сжигании ископаемых видов топлива (угля и нефти) или плавке минеральных руд, содержащих серу.

Наибольшее загрязнение воздуха наблюдается в странах Юго-Восточной Азии и странах Западной части Тихого океана [1]. Связанно это с уровнем жизни и огромным количеством людей, проживающих на одной территории. Данную экологическую проблему можно рассмотреть на примере Пекина. Например, на 2021 год, население Китая составляло 1,412 миллиарда человек. Несмотря на численность населения, по уровню загрязнений на 2021 год, Китайская Народная Республика находилась на 22 месте с превышенной нормой загрязнения воздуха в 5-7 раз.

Загрязнение воздуха оценивалось как сильное в 28,5% городов КНР и среднее — в 58,1%. Воздух в северных (Ланьчжоу, Синин, Сиань) и крупных промышленных центрах (Ухань, Чунцин, Чанша) загрязнён больше, чем в приморских городах. Особенно страдают от загрязнения воздуха города, лежащие в слабо продуваемых ветрами котловинах (Чунцин, Ухань, Пекин, Нанкин).

Основной причиной загрязнений в Китае принято считать образование мельчайших частиц, которые появляются от сжигания угля без предварительной очистки, а также выхлопные газы автомобилей и дым от промышленных производств и топок.

В ходе выполнения работы был сформирован архив ежедневных данных по концентрации в воздухе тонко и крупнодисперсных частиц, двуокиси серы, диоксид азота, озона, окиси углерода. Анализ данных за 2015-2019 годы показал следующие результаты:



*Рисунок 1 – Гистограммы среднего содержания частиц в воздухе (2015г)*

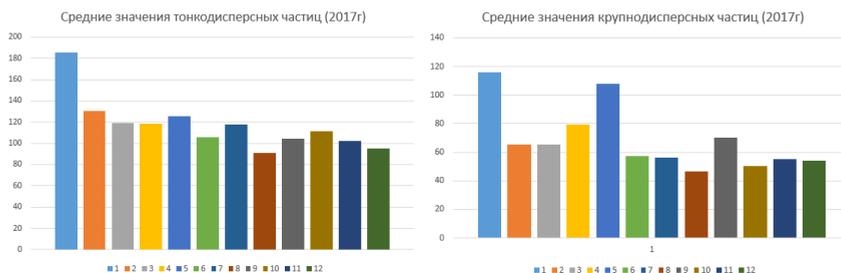


Рисунок 2 – Гистограммы среднего содержания частиц в воздухе (2017г)

На примере четырех диаграмм (рис.1 и рис.2), где рассматриваются средние значения каждого месяца за 2015 и 2017 годы можно увидеть, что содержание тонко и крупнодисперсных частиц в воздухе во много раз превышает нормы (таб.1).

На основании полученных данных были выявлены дни с максимальными значениями загрязнителей. В целях дистанционного выявления смога с высокими концентрациями крупных частиц в дни с их высокими показателями были получены спутниковые снимки MODIS/Aqua, Terra и применена модель цветового синтезирования Sevir Ash/Dust RGB, разработанную для выделения пыльных бурь и вулканических выбросов на спутниковых изображениях [2]. На Рис. 3 представлен фрагмент обработанного с использованием Ash/Dust RGB снимка Пекина от 04.05.2017. Анализ обработанных изображений показал целесообразность использования данного вида тематической обработки. На изображении смог в районе Пекина выделяется пурпурным цветом, в то время как поверхность земли имеет синий цвет, что повышает возможность наблюдения за распространением облака смога.

Таблица 1 - Нормы содержания частиц в воздухе

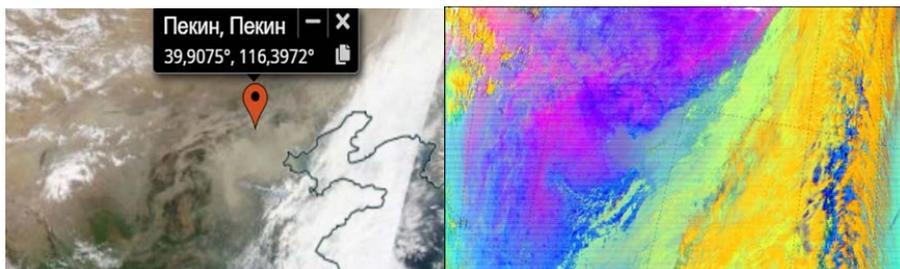
Нормы (микрограммы на кубический метр)	
Хорошо	0-50
Удовлетворительно	51-100
Нездоровый для чувствительных групп	101-150
Нездоровый	151-200
Очень нездоровый	201-300
Опасный	300+

Модель Sevir Ash/Dust RGB основана на использовании трех ИК-тепловых каналов:

1. IR12.0–IR10.8 (кодируется красным цветом) помогает отличить пыль от ледяных и водяных облаков. Красный сигнал будет высоким для пыли, низким для тонких перистых облаков и средним для всех других типов облаков. Кроме того, это разностное изображение помогает идентифицировать тонкие (средние и высокие) облака и предоставляет визуальную информацию о границах низкого уровня влажности в безоблачных районах.

2. IR10,8–IR8,7 (кодируется зеленым цветом) помогает отличить пылевые облака от безоблачной поверхности пустыни. Также позволяет отличить ледяные облака от водяных.

3. Интенсивность синего сигнала (IR10.8) зависит от толщины и температуры пылевого облака (и от температуры подстилающая поверхности). Пурпурный цвет пылевых облаков над теплой землей является результатом большого вклада синего сигнала. Использование этого канала позволяет отличить густую воду от ледяных облаков по температуре их поверхности



*В естественных цветах*

*Dust/Ash RGB*

*Рисунок 3 – Фрагмент снимка Смога в Пекине (04.05.2017 год)*

### Список литературы

1. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) - [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
2. Fedoseeva N.V., Lvov A.L. - Principal component analysis applied to satellite imagery for volcanic plume detection over Kuril and Kamchatka region // European Journal of Natural History. – 2022. – № 1. – С. 4-9; URL: <https://world-science.ru/ru/article/view?id=34224> (дата обращения: 31.03.2023).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОРОГРАФИЧЕСКИХ ВОЛН И БЕЗРАЗМЕРНОГО ЧИСЛА ФРУДА

Соловых А.Д., Симакина Т.Е.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*dovagurda@yandex.ru*

*Аннотация.* Выполнено исследование числа Фруда для двух вершин горного массива Атлас, на подветренной стороне которого часто образуются орографические волны. Числа Фруда рассчитаны для 12 случаев по аэрологическим измерениям температуры и скорости ветра. Показано, что в восьми случаях орографические волны в горах Атлас возникали при числе Фруда 1.0-1.5, что обусловлено устойчивой стратификацией атмосферы и большой скоростью ветра.

*Ключевые слова.* Орографические облака, подветренные волны, число Фруда.

## THE STUDY OF OROGRAPHIC WAVES AND THE VERTICAL FROUDE NUMBER

A.D. Solovykh, T.E. Simakina

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* A study of the Froude number was performed for two peaks of the Atlas mountain range, on the leeward side of which orographic waves are often formed. The Froude numbers are calculated for 12 cases based on aerological measurements of temperature and wind speed. It is shown that in eight cases orographic waves in the Atlas Mountains occurred at the Froude number 1.0-1.5, which is due to the stable stratification of the atmosphere and high wind speed.

*Keywords.* Orographic clouds, leeward waves, Froude number.

Горные или орографические волны формируются за препятствиями и являются опасным видом атмосферных движений при эксплуатации воздушных судов. Исследования процесса образования горных волн, установление закономерностей его протекания, нахождение зависимостей, необходимых для анализа структуры волн, можно проводить методом подобия. В работе рассчитан один из критериев подобия – безразмерное число Фруда – для анализа горных волн в горах Атлас.

Горная система Атлас простирается по северной оконечности африканского континента от Атлантического океана с запада на восток вдоль побережья Средиземного моря через Марокко, Алжир и Тунис. Длина гор 2300 км, ширина более тысячи км, высота самой высокой точки 4165 м (гора Тубкаль) [1]. Атласские горы являются местом встречи двух разных воздушных масс – влажных и холодных полярных воздушных масс, приходящих с севера, и горячих и сухих тропических воздушных масс, приходящих с юга.

Число Фруда, введенное Уильямом Фрудом в 1870 году [2], применяется в случаях, когда существенно воздействие внешних сил, и характеризует соотношение между силой инерции и внешней силой, в поле которой происходит движение. Число Фруда определяется по формуле:

$$Fr = \frac{\bar{V}}{NH} \quad (1)$$

где  $\bar{V}$  – средняя скорость ветра [м/с],  $H$  – высота барьера [м] относительно высоты воздушного потока и  $N$  – частота Брента-Вейсяля [с<sup>-1</sup>].

Частота Брента-Вейсяля (частота плавучести) описывает частоту колебаний объема воздуха в стабильной атмосфере [3]:

$$N = \sqrt{\frac{g}{\theta} \frac{d\theta}{dz}} \quad (2)$$

где  $\theta$  – потенциальная температура,  $g$  – ускорение свободного падения,  $z$  – высота.

Структура волнового процесса при различных числах Фруда представлена на рис. 1.

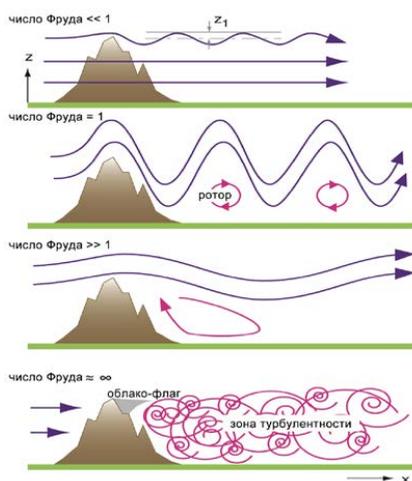


Рисунок 1 - Структура волнового процесса при различных числах Фруда

Заметно, насколько различен вид и параметры горных волн при разных числах Фруда. Таким образом, структура горных волн определяется скоростью ветра и градиентом потенциальной температуры.

Исследование выполнено на основе аэрологических данных и цифровой модели рельефа (рисунок 2а). Аэрологическая станция DAAG Dar-El-Beida расположена на наветренном склоне Атласских гор (отмечена на рисунке 2а).

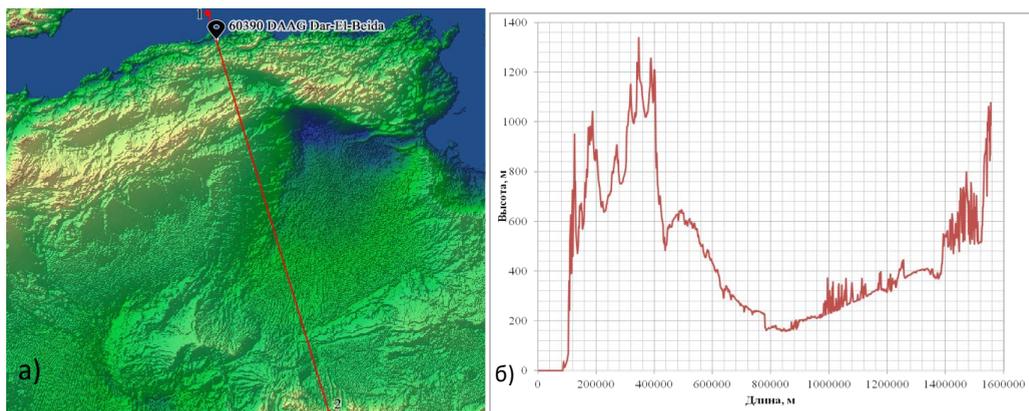


Рисунок 2 - Расположение аэрологической станции DAAG у подножия Атласских гор (а) и высотный профиль местности по направлению, обозначенному красной линией (б)

Поскольку горные волны образуются в большинстве случаев при перпендикулярном направлении ветра к горному хребту, для расчёта числа Фруда проведем перпендикуляр по цифровой модели рельефа через точку станции DAAG Dar-El-Beida к горному массиву (красная линия на рисунке 2а). Профиль высот по проведенному перпендикуляру, представленный на рис. 2б, имеет несколько вершин, с которыми должен столкнуться воздушный поток при движении по наветренной стороне склона. Рассмотрим две заметные вершины, которые располагаются на высотах 890, 1340 м.

По формулам (1) и (2) рассчитаны частоты Брента-Вяйсяля  $N$  и числа Фруда  $Fr$  для 12-ти случаев наблюдения горных волн и построены гистограммы повторяемости числа Фруда на вершинах 890 м – рисунок 3а, 1340 м – рисунок 3б.

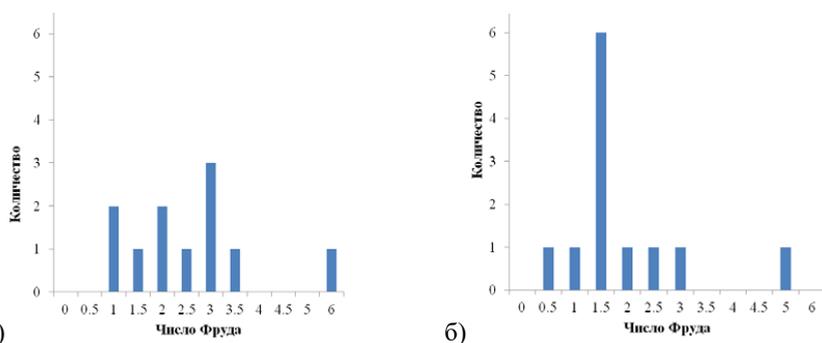


Рисунок 3 - Гистограмма повторяемости числа Фруда на высоте 890 м (а) и 1340 м (б)

Из 12 рассмотренных случаев в двух число Фруда оказалось меньше единицы, в восьми – около единицы и в двух – больше единицы. По аэрологическим данным со станции DAAG построены высотные профили потенциальной температуры и скорости ветра при разных числах Фруда – рисунок 4.

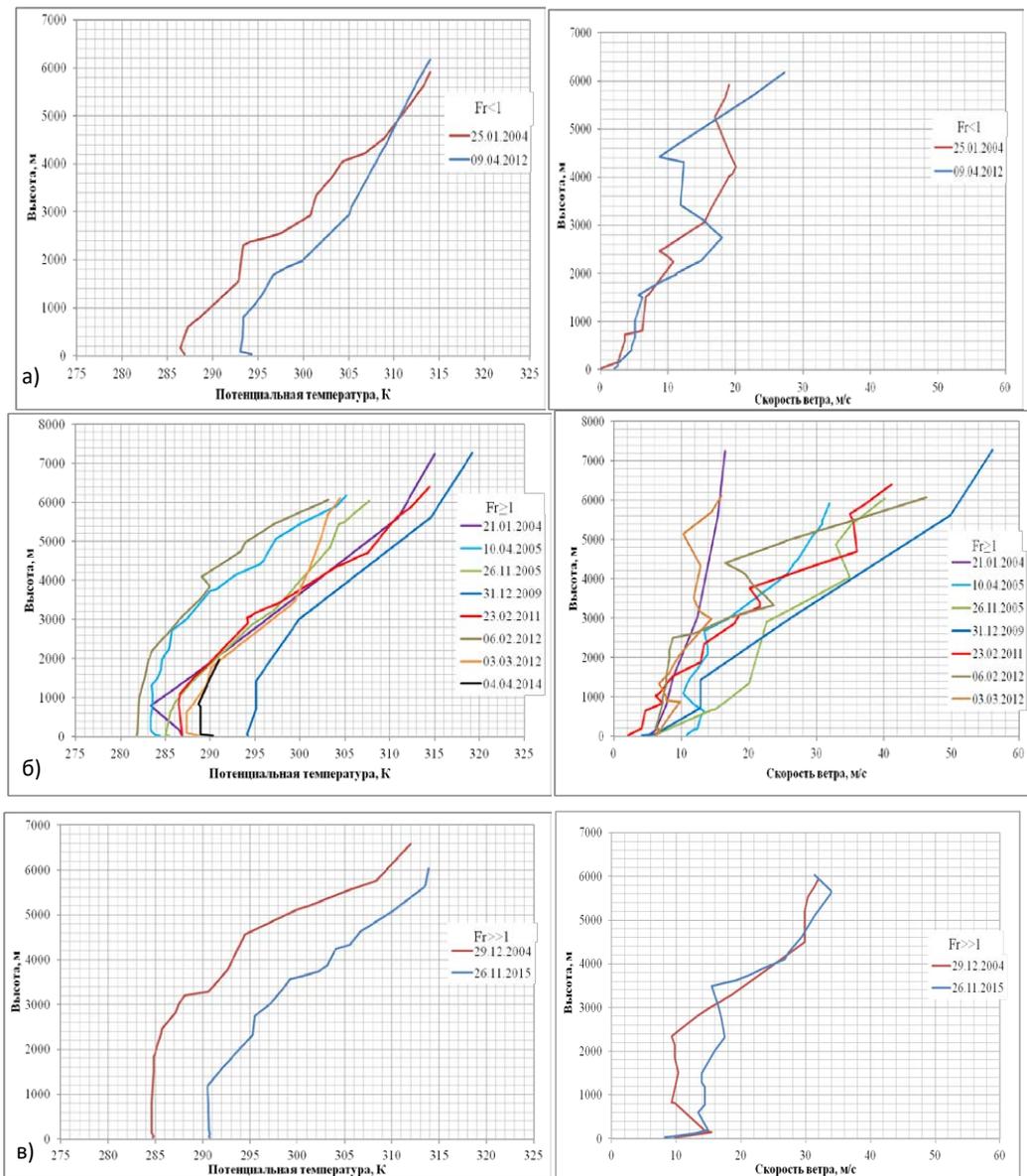


Рисунок 4 - Высотные профили потенциальной температуры и скорости ветра при разных числах Фруда:  $Fr < 1$  (а),  $Fr \geq 1$  (б),  $Fr \gg 1$  (в)

Число Фруда  $< 1$  для двух случаев (25.01.2004 и 29.09.2012). Это характерно для условий сильной устойчивости и/или слабом ветре. На рисунке 4а видно, что от подножия до вершин гор скорость ветра меняется в диапазоне от 0 до 6 м/с. Потенциальная температура значительно росла с высотой в слое образования горных волн, из чего можно сделать вывод о сильно устойчивой стратификации. Длина волны будет короче ширины горного хребта, часть потока воздуха заблокирована с наветренной стороны и не сможет пересечь вершину.

Наибольшее число случаев орографических волн (8 из 12) в горах Атлас возникало при числе Фруда  $\geq 1$ . Стратификация атмосферы является устойчивой (рисунок 4б), в слое дуют сильные ветра (от 2 до 16 м/с).

Наблюдалось два случая (29.12.2004 и 26.11.2015), когда число Фруда равнялось 4–6 ( $Fr > 1$ ). Это характерно для условий слабой устойчивости и сильного ветра, что и подтверждает рисунок 4в. Скорость воздушного потока находится в диапазоне 8–14 м/с, а потенциальная температура практически постоянна до высоты 1,1 км. Воздушный поток будет проходить горный хребет с небольшими амплитудными колебаниями.

Таким образом, в Атласских горах число Фруда чаще всего имело значение  $Fr=1.0-1.5$ , что соответствует ситуации устойчивой атмосферы с сильными ветрами, в результате чего происходят сильные восходящие и нисходящие волновые колебания – длина волны совпадает с шириной горы.

### Список литературы

1. Атлас (горы) [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлас\\_\(горы\)#cite\\_ref-4](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлас_(горы)#cite_ref-4) (дата обращения 27.12.2021).
2. Faculty of Science Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences [Электронный ресурс]: UBC ATSC 113 - Weather for Sailing, Flying & Snow Sports. – Режим доступа: [https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/flying/met\\_concepts/03-met\\_concepts/03d-mountain\\_waves](https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/flying/met_concepts/03-met_concepts/03d-mountain_waves) (дата обращения: 10.12.2022).
3. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Основы теоретической атмосферной оптики: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Физический ф-т СПбГУ, 2007. – 152 с.

### ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛОЩАДИ ЛЬДА КАРСКОГО МОРЯ

Степина А.А., Подрезова Н.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*nasty.stepina0102@gmail.com*

*Аннотация:* В работе исследуется межгодовая изменчивость площади льда Карского моря, а также рассчитывается классификация зим по суровостям.

*Ключевые слова:* ледовитость, Карское море, Арктика, СГДМ.

### ESTIMATION OF THE VARIABILITY OF THE ICE AREA OF THE KARA SEA

Stepina A.A., Podrezova N.A.

The Russia State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Abstract:* The paper investigates the interannual variability of the ice area of the Kara Sea, and also calculates the classification of winters by severity.

*Keywords:* ice coverage, Kara Sea, Arctic, CCD

Карское море – окраинное море Северного Ледовитого океана. Омывает берега северо-восточной части Европы, Западной Сибири, полуострова Таймыр, архипелагов Новая Земля и Северная Земля. Имеет выход к Арктическому бассейну Северного Ледовитого океана.

В нашей стране Карское море занимает первое место по площади, равное 883 тыс.км<sup>2</sup>, и имеет важное стратегическое значение. Карское море является одним из самых исследуемых северных морей, так как, помимо Северного морского пути, в данном море находится большое количество буровых платформ, а добыча нефти, в свою очередь занимает ведущую роль в нашей стране. Акватория используется также и для рыболовецкого промысла. Знание ледового режима Карского моря позволит прогнозировать ледовые условия в регионе для последующего планирования работ.

В работе исследуется межгодовая изменчивость площади льда Карского моря. Исходными данными послужили среднемесячные значения площади льда Карского моря с

1978 по 2022 года (National Centers for Environmental Information), а так же ежедневные значения температуры атмосферы – п. Диксон, г. Амдерма, м. Голомянный, м. Болванский нос, м. Стерлегова и о. Визе за тот же период (Специализированные массивы для климатических исследований) для расчета суммы градусо-дней мороза (СГДМ) [1,2].

График среднегодовой ледовитости Карского моря показывает отрицательный тренд, сокращение льда составляет 57тыс.км<sup>2</sup> за 10 лет (рисунок 1). Максимальная площадь льда 784 тыс.км<sup>2</sup> наблюдалась в 1981 году. Минимальная площадь льда – чуть более 445тыс.км<sup>2</sup> наблюдалась в 2012 году. Следует отметить, что с 2003 по 2012 год площадь льда уменьшалась с 757тыс.км<sup>2</sup> до 445тыс.км<sup>2</sup>, однако с 2015 года наблюдается некоторое колебание площади льда около среднего значения – 560тыс.км<sup>2</sup>.

Графики среднегодовых температур атмосферы на исследуемых станциях - п. Диксон, г. Амдерма, м. Голомянный, м. Болванский нос, м. Стерлегова и о. Визе, наоборот показывают положительные тренды (рисунок 2). Наибольший положительный тренд наблюдается на о. Визе, повышение температуры там составляет 1,5 °С за 10 лет. Повышение температуры на м. Голомянный составляет 1,2 °С за 10 лет, на м. Стерлегова и м. Болванский нос составляет 1°С за 10 лет и в г. Амдерма 0,9 °С за 10 лет.

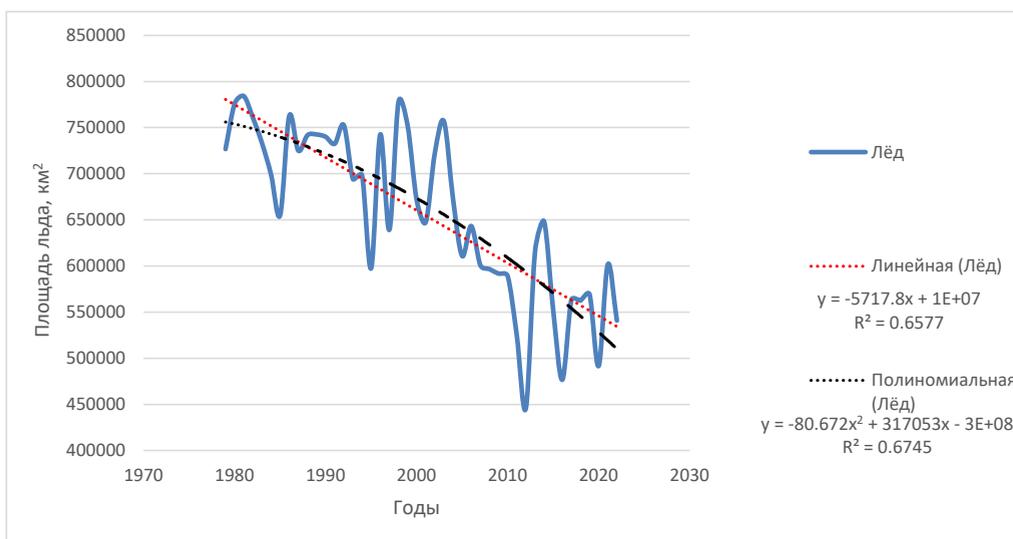
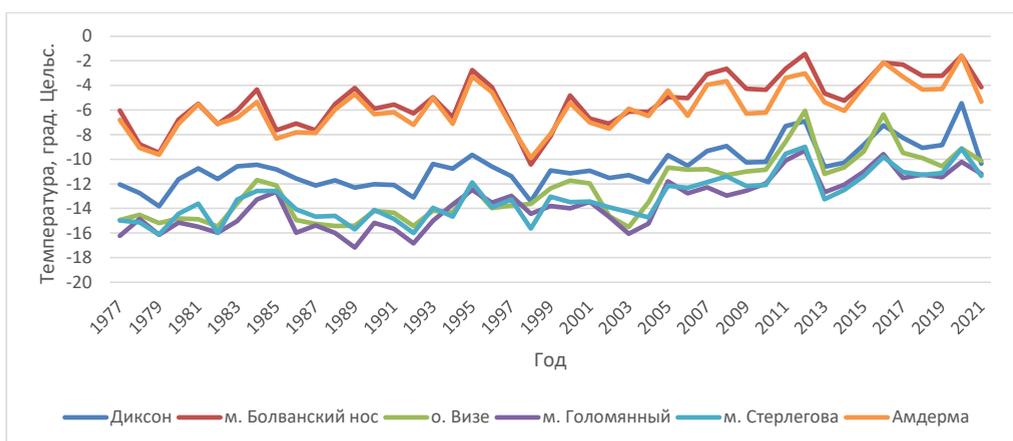


Рисунок 1 – График среднегодовой ледовитости Карского моря



## Рисунок 2 – График среднегодовых значений температуры воздуха Карского моря

Отметим 1998 и 2012 года. В 1998 году наблюдаются среднегодовые температуры ниже на 3 – 4 °С линии тренда на всех станциях, площадь льда в этот год почти достигает максимума и составляет 777 тыс.км<sup>2</sup>. В 2012 году наблюдается обратная ситуация, среднегодовые температуры выше линии тренда на 2 – 3 °С на всех станциях и, как следствие, уже отмечалось выше, наблюдается минимальная площадь льда.

По данным СГДМ был произведен кластерный анализ с целью определения трех классов суровости зим (суровая, умеренная и мягкая) по всем станциям. Для п. Диксон получили следующие результаты: мягкая зима до 3300 СГДМ, умеренная зима от 3301 до 4500 СГДМ и суровая зима более 4501 СГДМ. За рассмотренный период, наблюдалось по 42% мягких и умеренных зим, 16% - суровых. Отметим, что последняя суровая зима была в 2004 году.

По выбранным мягкой (2018-2019г) и умеренной (1989-1990г) зимам был построен график ледовитости Карского моря (рисунок 3). По графику видно, что на начало осенне-зимнего периода в умеренную зиму уже наблюдается лед площадью около 400 тыс.км<sup>2</sup>, в то время как в мягкую зиму лед появляется с октября. В умеренную зиму максимальная ледовитость наблюдается с декабря по апрель, а в мягкую зиму только с февраля по апрель. Уменьшение льда начинается с апреля, не зависимо от класса зимы. К августу в мягкой зиме лед полностью растаял, в то время как в умеренную зиму лед имеет площадь чуть менее 400 тыс.км<sup>2</sup>.

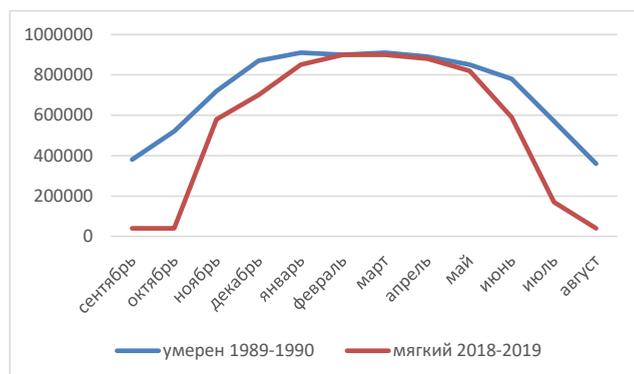


Рисунок 3 – График ледовитости Карского моря в мягкую и умеренную зимы

### Список литературы

1. National Centers for Environmental Information [сайт]. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/> (дата обращения: 06 января 2023).
2. Библиотека климатических данных [сайт]. URL: [aisori.meteo.ru](https://aisori.meteo.ru) (дата обращения: 06 января 2023).

### АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДА ВОРОНЕЖА

Трапина Т.В., Маслова Н.В.

Воронежский государственный университет инженерных технологий  
[tranina.tatyana43@gmail.com](mailto:tranina.tatyana43@gmail.com), [maslovanatvl@mail.ru](mailto:maslovanatvl@mail.ru)

*Аннотация.* Изучены экологические проблемы и состояние окружающей среды города Воронежа. Проведена оценка уровней загрязнения атмосферы от различных источников. Представлены предложения для улучшения экологической безопасности.

*Ключевые слова.* Экологическая среда; загрязнение; городская атмосфера; водные ресурсы; экологическая безопасность.

## ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE CITY OF VORONEZH

Tronina T.V., Maslova N.V.

Voronezh State University of Engineering Technologies, Faculty of Secondary Vocational Education

*Annotation.* Environmental problems and the state of the environment of the city of Voronezh have been studied. The assessment of the levels of atmospheric pollution from various sources was carried out. Proposals for improving environmental safety are presented.

*Keywords.* Ecological environment; pollution; urban atmosphere; water resources; environmental safety.

В условиях современной урбанизации проблемы мониторинга экологического состояния городской среды неизменно сохраняют высокую актуальность. В последние годы рост загрязнения атмосферы и почвы способствовали снижению качества жизни в городской среде. Эти проблемы актуальны для многих крупных промышленных центров России, в том числе и города Воронежа.

Одним из главных условий нормализации экологического баланса является наличие значительных территорий с лесными участками, которые преимущественно выполняют природоохранные функции. Проведён анализ ситуации с лесными участками в Воронежской области, расположение в аграрном регионе с высокой плотностью населения определили сильное преобразование коренной растительности. По преобладающему составу пород лесные массивы представляют собой чистые сосновые или смешанные леса.

Состояние лесной растительности в настоящее время удовлетворительное, за исключением мест массового длительного или кратковременного отдыха, где наблюдаются различные стадии нарушения структуры ландшафтов. Лесные территории, примыкающие к жилой застройке и автомагистралям, сильно замусорены промышленными и бытовыми отходами [1].

Значительное влияние на показатели воздушных масс оказывает автомобильный транспорт, выбросы от которого достигают 90 % суммарного загрязнения городской атмосферы. Главной причиной загрязнения атмосферы транспортом является совокупность недоразвитости дорожных сетей и высокой плотности транспортного потока. Для улучшения текущего экологического состояния актуальным становится анализ напряжённости транспортных систем, который следует рассматривать в качестве основы поиска эффективных мер по разгрузке городских магистралей и снижению концентрации различных вредных веществ, поступающих с выхлопными газами (рисунок 1) [2].

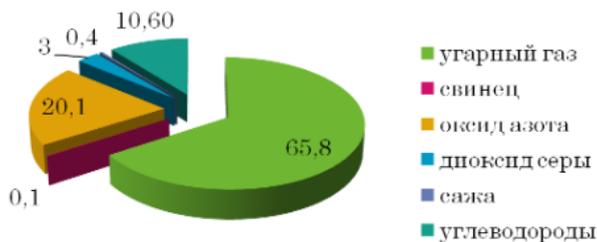


Рисунок 1 – Загрязняющие вещества от выхлопных газов автотранспорта, в %

Ещё одной главной проблемой Воронежской области является утилизация отходов. Многочисленные нелегальные свалки, склады отходов не только являются источником

загрязнения окружающей среды, но и причиной возникновения пожаров в летний период. По последним данным за 2021 год выявлено около 3000 нарушений в отношении окружающей среды.

Воронежское водохранилище является одним из крупнейших в Черноземье. Оно создано в 1972 году для использования поверхностных вод в развивающейся промышленности и сельском хозяйстве. Интенсивное воздействие на поверхностные водные ресурсы вблизи крупных промышленных городов приводит к ухудшению качества воды.

Для Воронежа который расположен в регионе с интенсивным техногенным воздействием на водные ресурсы, слабой естественной защищенностью источников водопользования от антропогенного загрязнения и достаточно низким качеством питьевого и рекреационного водопользования в целом, эта проблема и её решение является актуальным.

Недостаточно очищенные сточные воды коммунальных и промышленных предприятий являются основными источниками загрязнения и засорения водоема. Большой объем выносимых загрязняющих веществ негативно влияет на процессы самоочищения в водохранилище. На данный момент из 13 промышленных предприятий, расположенных в левобережной части г. Воронежа имеют свои выпуски в водохранилище. Наибольший вклад в химическое загрязнение водохранилища вносят АО «Воронежсинтезкаучук»[3].

Анализируя экологическую среду Воронежской области можно прийти к выводу, что сейчас приоритетными направлениями в области региональной экологической политики является сокращение загрязнения окружающей среды. В Российской Федерации разработана серьезная нормативная база для сотен вредных химических веществ в виде предельно допустимых концентраций, ориентировочных безопасных уровней воздействия, ориентировочных допустимых уровней и концентраций: в атмосферном воздухе более 2200, в водной среде более 1900, в почве более 180, в жилой среде 16 регламентированных величин.

Несмотря на столь обширную и в своем роде уникальную нормативную базу, необходимо отметить, что в мире ежегодно создается более 1000 новых химических соединений. В работах Куролапа С.А. и др. приведен анализ содержания летучих органических веществ в воздухе, водных объектах, почве, в более чем в 100 городах, 25 реках, 14 озерах и водохранилищах было выявлено наличие множества разных химических соединений, из которых от 66 до 90% оказались вообще не обеспеченными гигиеническими нормативами [4].

В работе оценка состояния растительного покрова в санитарно-защитной и селитебной зоне химически опасного объекта, путем определения содержания продуктов распада углеводородного топлива в листьях деревьев и кустарников.

Для определения массовой концентрации загрязняющих веществ отбор образцов растительности проводили два раза в год. Значительную долю в загрязнении окружающей среды вносят соединения формальдегида, нитратов и нитритов.

Не значительные концентрации нитратов за исследуемый период времени зафиксировано на территориях металлургического производства, испытательного комплекса АО «КБХА». Высокие концентрации азота и формальдегида в растительности пос. Малышево объясняются расположенной в нем свалкой бытовых отходов, являющимися мощным источником поступления вредных веществ в атмосферу. Содержание нитрит-ионов более 0,4 мг/м<sup>2</sup> определены на территории дачного поселка «Сады», в котором интенсивно проходят процессы нитрификации за счет близкого расположения химически опасного объекта.

Изученные источники вредных поступлений в окружающую среду при фактическом нарастании интенсивности выбросов могут привести в отсутствии реализуемой программы по их понижению, что будет способствовать к появления локального экологического бедствия [5].

На основании проведенных исследований и совокупности преобладающих факторов загрязнений для повышения экологической безопасности в Воронежской области можно внести следующие предложения:

- действия, направленные на повышение качественных характеристик питьевой воды, а также реабилитационные и восстановленные мероприятия для улучшения состояния водных объектов;
- ужесточение штрафных санкций за загрязнение территорий, увеличение запретных зон для посещения населения на продолжительный период до фиксируемого изменения отношения граждан к сохранности природного ландшафта;
- создание системы по переработке вторичных ресурсов и устранение нелегальных свалок;
- расширение озеленённых территорий;
- мероприятия по развитию экологического просвещения и формированию экологической культуры населения;
- создание условий по сбережению и восстановлению сохранившихся на территории области природных систем.

### Список литературы

1. *Агафонов В. А.* Адвентивный компонент флоры города Воронежа: существующие и потенциальные угрозы / В. А. Агафонов // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития : Сборник статей II международной научно-практической конференции, Воронеж, 29–30 августа 2018 года. – Воронеж: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2018. – С. 10-12.
2. Состояние окружающей среды и экологических условий жизнедеятельности населения Воронежской области / Т. В. Щукина, К. В. Гармонов, М. Н. Жерлькина [и др.] // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 4(3). – С. 76-84.
3. *Романенко А. К.* Оценка безопасности вод Воронежского водохранилища для рекреационных нужд населения / А. К. Романенко // Экология и управление природопользованием: Сборник научных трудов Первой всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Вып. 1, Томск, 24–25 ноября 2016 года / Под ред. А.М. Адама. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью "Литературное бюро", 2017. – С. 43-44.
4. Интегральная экологическая оценка состояния городской среды / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов, Т.И. Прожорина, М.А. Клевцова, Л.А. Яблонских, Л.М. Акимов, Л.О. Серета, М.О. Маслова; под общ. ред. С.А. Куролапа, О.В. Клепикова - Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2015. - 235 с.
5. Материалы LX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год [Текст] : В 3 ч. Ч. 1. / под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2022. – 174 с.

## НАХОЖДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕХОДА ОТ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ К ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОВ ДЛЯ МЕТЕОР 50DX

Тюриков И.А., Саенко А.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

*ityurikovman@mail.ru, amk@rshu.ru*

*Аннотация.* Рассматривается возможность получения переводных коэффициентов для перехода от радиолокационной отражаемости к интенсивности осадков путем решения простой системы уравнений, основанной на формуле Маршалла-Палмера.

*Ключевые слова.* Радиолокация, интенсивность осадков, отражаемость.

# DETERMINATION OF TRANSFER COEFFICIENTS FROM RADAR REFLECTIVITY TO PRECIPITATION INTENSITY FOR METEOR 50DX

Tyurikov I.A. , Saenko A.G.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The possibility of obtaining transfer coefficients from radar reflectivity to precipitation intensity is considered by solving a simple system of equations based on the Marshall-Palmer formula.

*Keywords.* Radar, precipitation intensity, reflectivity.

Еще с середины XX века ведущими учеными метеорологами активно разрабатывались и совершенствовались радиолокационные методы наблюдения за погодными условиями. Получаемая в ходе наблюдений радиолокационная отражаемость является одним из наиболее информативных показателей при изучении различных метеорологических целей.

В данной статье была предпринята попытка уточнения коэффициентов перехода от радиолокационной отражаемости к интенсивности осадков.

Интенсивность осадков можно измерять [1]

$$I = \frac{\pi\rho}{6} \int_0^{\infty} N(d) d^3 V(d) dd \quad (1)$$

$$Z = \int_0^{\infty} N(d) d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 dd \quad (2)$$

где

$\rho$  – плотность вещества

$N(d)$  – закон распределения капель по размерам

$d$  - диаметр частиц

$V(d)$  – закон распределения скоростей падения частиц

$m$  – комплексный коэффициент преломления частиц

Однако в повседневности применяется формула Маршала-Палмера [1], связывающая отражаемость  $Z$  [ $\text{мм}^6/\text{м}^3$ ] и интенсивность осадком  $I$  [ $\text{мм}/\text{час}$ ].

$$= A * I^b \quad (3)$$

Для автоматической корректировки коэффициентов можно использовать решение системы уравнений:

$$\begin{cases} Z_1 = A * I_1^b \\ Z_2 = A * I_2^b \end{cases} \quad (4)$$

$$b = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)}{\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)} \quad (5)$$

$$A = \frac{Z_1}{I_1^b} \quad (6)$$

Радиолокационные измерения были проведены с помощью метеорологического радиолокатора Meteor 50DX производства компании SELEX Sistemi Integrati (до 2005 года известная под именем GEMATRONIK). Программное обеспечение «МЕТЕОР-Метеоячейка М2» было предоставлено компанией Институт Радарной метеорологии [2]. Данный локатор установлен на крыше РГМУ и работает непрерывно, предоставляя данные с дискретностью в 10 минут. Были получены данные об радиолокационной отражаемости на 11 уровнях (1000 – 11000 метров), высоте нижней границе облачности и метеоявлении, определяемом автоматически вышеупомянутым программным обеспечением.

Информация о наблюдаемых выпавших осадках была получена с АИС «Осадки», которая является совокупностью пунктов наблюдения за осадками. Из всей сети были выбраны 5 осадкомеров OTT Pluvio 200. Отбор производился по принципу наиболее точного и однозначного местонахождения осадкомера в единичном участке (2км x 2км) наблюдаемом радиолокатором. Таким образом снижается вероятность влияния ветра. Данные наблюдений OTT Pluvio 200 обладают дискретностью в 5 минут для каждого осадкомера.



Рисунок 1 – Карта установленных осадкомеров и станций, включенных в АИС «Осадки»

На рисунке 1 отмечены пять выбранных для анализа осадкомеров. Как видно из рисунка четыре из пяти установок находятся в пределах Санкт-Петербурга.

Для расчетов использовались данные за летние месяцы 2019 года. Пример данных, содержащих информацию о радиолокационной отражаемости в дБз представлены в таблице 1.

Таблица 1 – пример данных, полученных с локатора.

Дата	Время	Погодное явление	Z1
02.06.2019	7:58:00	Слабые ливневые осадки	26
02.06.2019	9:00:00	Слабые осадки	23
02.06.2019	9:00:00	Слабые осадки	19
07.06.2019	13:00:00	Сильные ливневые осадки	49

Пример данных, содержащих информацию о количестве выпавших осадков, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – пример данных, полученных с сети АИС «ОСАДКИ».

Дата	Время	Номер осадкомера	Количество выпавших осадков
02.06.2019	0:50:00	1006	0.19
02.06.2019	9:20:00	1006	0.04
02.06.2019	22:20:00	1012	0.05

В условиях имеющихся данных информацию о распределении и размерах частиц внутри отражающего объема можно лишь косвенно извлекать из одного из шести принятых в «Метеоячейке» явлений погоды. Таким образом имеет смысл ввести границы для количества выпавших осадков, зафиксированных дождемерами.

Из данных локатора можно заметить, что:

- Слабые осадки {18 дБz <= z1 <= 29 дБz}
- Умеренные осадки {30 дБz <= z1 <= 45 дБz}
- Сильные осадки {46 дБz <= z1 <= 63 дБz}
- Слабые ливневые осадки {18 дБz <= z1 <= 29 дБz}
- Умеренные ливневые осадки {30 дБz <= z1 <= 45 дБz}
- Сильные ливневые осадки {46 дБz <= z1 <= 63 дБz}

Тогда при использовании формулы Маршалла-Палмера (3) можно выбрать соответствующие данным граничным условиям отражаемости условия интенсивности осадков.

Так мы приходим к тому, что в расчете будут участвовать только дожди, зафиксированные как наземным наблюдательным пунктом, так и на радиолокационной станции.

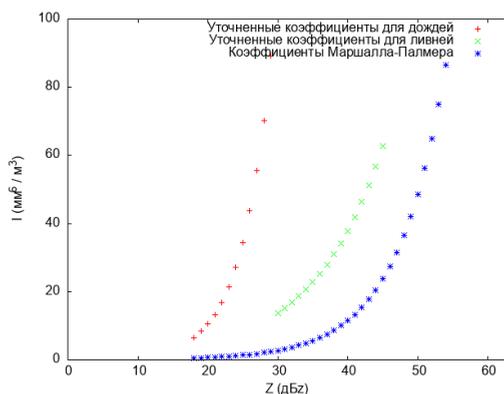


Рисунок 2. Данный график показывает распределение полученной с помощью тех или иных коэффициентов интенсивности осадков в зависимости от отражаемости.

Таким образом можно сказать, что в ходе работы было установлено, что нахождение коэффициентов A и b (5, 6) путем решения системы уравнений (4) не может быть использовано на практике. Это можно объяснять неустойчивостью формулы к выбросам, а также неспособностью такого метода учитывать интегральную составляющую формулы интенсивности (1) и отражаемости (2).

### Список литературы

1. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды. (атмосферы). Учебник. - СПб., изд. РГГМУ, 2004. - 429 с. ISBN 5-86813-063-4. 426 с.

## РЕВОЛЮЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ФОРМИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО МЕТЕОРОЛОГИИ

Фурлетов Н.М.

Институт Радарной Метеорологии, Санкт-Петербург  
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
[meteofurletov@gmail.com](mailto:meteofurletov@gmail.com)

*Аннотация.* Рассматриваются некоторые инновационные приложения искусственного интеллекта в метеорологии, такие как разработка более точных моделей для прогнозирования погодных условий в глобальном масштабе.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, метеорология, машинное обучение, прогноз погоды, классификация погодных явлений, большие данные.

## AI REVOLUTION: SHAPING THE FUTURE OF METEOROLOGY

Furletov N.M.

Institute of Radar Meteorology, St.Petersburg  
Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

*Annotation.* Some innovative applications of artificial intelligence in meteorology are considered, such as the development of more accurate models for predicting weather conditions on a global scale.

*Keywords:* artificial intelligence, meteorology, machine learning, weather forecast, weather classification, big data.

### 1. Сверхкраткосрочное прогнозирование

Наукастинг (Nowcast) - это тип прогноза погоды, который делает предсказания на очень короткий период времени, обычно менее двух часов, в течение которого традиционное численное прогнозирование погоды может быть ограничено. Типичные подходы к наукастингу основаны на простых экстраполяционных моделях, применяемых к наблюдениям, в основном к данным метеорологического радара [7].

В последние годы свершились значительные достижения в применении искусственного интеллекта и машинного обучения для наукастинга осадков. Одним из таких применений является использование моделей нейронных сетей для анализа данных радаров и спутников и прогнозирования местоположения, интенсивности и движения осадков в реальном времени [1]. Методы глубокого обучения показали лучшую производительность по сравнению с традиционными подходами в этой области. Сверточные нейронные сети (CNN), долгосрочная краткосрочная память (LSTM) и рекуррентные нейронные сети (RNN) - это всего лишь несколько примеров методов глубокого обучения, которые были успешно применены в наукастинге [2, 3, 4]. Эти модели также могут быть объединены для создания более сложных алгоритмов, которые обеспечивают более точные прогнозы.

В дополнение к этим моделям, есть генеративно-состязательная сеть (GAN), которая отлично показала себя в области прогнозирования погоды. GAN-ы являются типом модели без учителя, которая использует две нейронные сети - генератор и дискриминатор, для генерации синтетических данных, похожих на реальные данные [5, 6]. В целом, достижения AI и ML значительно повысили точность и своевременность наукастинга в метеорологии.

### 2. Среднесрочный прогноз

В недавней статье "GraphCast: Learning Skillful Medium-Range Global Weather Forecasting" [8] совместная научно-исследовательская команда из DeepMind и Google представляет GraphCast - симулятор погоды на основе машинного обучения, который

способен генерировать прогноз на 10 дней менее чем за минуту и хорошо масштабируется с данными. Эта модель превосходит традиционные модели прогнозирования погоды на основе численных методов, которые являются время затратными и неэффективными с точки зрения затрат из-за необходимости ручного ввода от экспертов и неспособности эффективно масштабироваться с растущим объемом данных о погоде. GraphCast использует графовые нейронные сети (GNN) в конфигурации "кодирование-обработка-декодирование" для моделирования сложных физических динамических процессов жидкостей и других материалов, что делает его подходящим для среднесрочного прогнозирования погоды. GNN могут определять, какие части представления взаимодействуют с другими, позволяя моделировать произвольные пространственные взаимодействия на любом расстоянии. Чтобы обеспечить дальнедействующие взаимодействия в нескольких шагах передачи сообщений, команда вводит новый подход к внутреннему представлению многомерной сетки. Процедура симуляции GraphCast состоит из трех шагов: отображение входных данных с исходной сетки широты-долготы на обученные функции на многомерной сетке с использованием GNN, обучение передачи сообщений на многомерной сетке с использованием глубокой GNN с дальнедействующими гранями и отображение конечного многомерного представления обратно на сетку широты-долготы для вывода окончательных прогнозов. Команда оценила производительность GraphCast на одном устройстве Cloud TPU v4 и обнаружила, что он превосходит детерминированную оперативную систему с высоким разрешением прогнозирования на основе численных методов прогноза погоды Европейского центра среднесрочного прогнозирования погоды на 90 процентов из 2760 переменных и самую точную существующую модель прогнозирования погоды на основе машинного обучения на 99,2 процента из 252 целей. Исследователи считают, что успех GraphCast является важным шагом в улучшении моделирования погоды с помощью машинного обучения, открывая возможности для быстрого и точного прогнозирования погоды. Более того, эти достижения могут привести к применению ML-основных симуляций в других областях физических наук. В целом, работа исследовательской группы вносит многообещающий вклад в область искусственного интеллекта в метеорологии. [8]

### 3. Моделирование климата

В области моделирования погоды и климата традиционно использовались численные модели, основанные на физических законах, которые пытаются уловить сложные взаимодействия между множеством переменных в атмосфере. Эти модели требуют больших вычислительных ресурсов и высокой квалификации для их эффективного использования. Однако недавние успехи в области машинного обучения показывают, что подходы, основанные на данных, могут достигать сравнимой или даже более высокой производительности, обучаясь отображать входные данные в выходные с помощью глубоких нейронных сетей. Модель ClimaX представляет собой гибкую и обобщенную архитектуру глубокого обучения для науки о погоде и климате, которую можно обучать, используя гетерогенные наборы данных, охватывающие различные переменные, пространственно-временные покрытия и физические основы. Она расширяет архитектуру Transformer с новыми блоками кодирования и агрегации, которые позволяют эффективно использовать имеющиеся вычислительные ресурсы, сохраняя общую утилиту. Кроме того, ClimaX предварительно обучается с помощью самообучаемой целевой функции на наборах данных о климате, производных от SMIP6, широко используемого проекта сравнения климатических моделей. Затем предварительно обученную модель ClimaX можно настроить для решения широкого круга задач, связанных с погодой и климатом, включая те, которые включают атмосферные переменные и пространственно-временные масштабы, которых не было в наборах данных для предварительного обучения. По сравнению с существующими базовыми моделями, основанными на данных, ClimaX достигает более высокой производительности на эталонных тестах для прогнозирования погоды и климата, даже когда она предварительно обучается на более низких разрешениях и при ограниченных вычислительных возможностях. В целом, ClimaX представляет собой важный шаг в развитии данных, основанных на

подходах для моделирования погоды и климата, которые могут дополнять и потенциально улучшать существующие физические подходы. [9]

#### 4. Заключение

В заключение, прогресс в области искусственного интеллекта и машинного обучения улучшил точность и своевременность прогнозирования погоды. Искусственный интеллект и машинное обучение предоставили мощные инструменты для анализа больших объемов данных, обнаружения закономерностей и прогнозирования изменений погодных условий. Наукастинг получил выгоду от моделей нейронных сетей, которые анализируют данные радара и спутника и прогнозируют местоположение, интенсивность и движение осадков в режиме реального времени. Глубокие методы обучения, такие как сверхточные нейронные сети (CNN), долгая краткосрочная память (LSTM) и рекуррентные нейронные сети (RNN), успешно применяются в прогнозировании на ближайшее время. Кроме того, генеративно-состязательные сети (GAN) показали свою эффективность в генерации синтетических данных. Среднесрочные прогнозы от GraphCast, симулятора погоды на основе машинного обучения, который использует графовые нейронные сети (GNN) для моделирования сложной физической динамики жидкостей и других материалов, позволяют генерировать прогноз на 10 дней менее чем за минуту и масштабироваться в соответствии с данными. В целом, искусственный интеллект и машинное обучение предлагают потенциал для более надежных и точных прогнозов погоды, что может помочь смягчить последствия сильных погодных условий и улучшить общественную безопасность, но по-прежнему существуют вызовы, которые необходимо решать, такие как необходимость высококачественных наборов данных и разработка моделей, которые могут обрабатывать сложность и изменчивость атмосферных условий.

#### Список литературы

1. *Vadim Lebedev, Vladimir Ivashkin, Irina Rudenko, Alexander Ganshin, Alexander Molchanov, Sergey Ovcharenko, Ruslan Grokhovetskiy, Ivan Bushmarinov, and Dmitry Solomentsev.* Precipitation nowcasting with satellite imagery. CoRR, abs/1905.09932, 2019.
2. *Z. Xu, Y. Wang, M. Long, and J. Wang,* PredCNN: Predictive learning with cascade convolutions, in IJCAI, 2018, pp. 2940–2947.
3. *X. Shi, Z. Chen, H. Wang, D.-Y. Yeung, W.-K. Wong, and W.-c. Woo* Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting, in NeurIPS, 2015, pp. 802–810.
4. *Y. Wang, M. Long, J. Wang, Z. Gao, and S. Y. Philip* PredRNN: Recurrent neural networks for predictive learning using spatiotemporal lstms in NeurIPS, 2017, pp. 879–888
5. *C. Wang, P. Wang, P. Wang, B. Xue, and D. Wang* Using conditional generative adversarial 3-D convolutional neural network for precise radar extrapolation IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 14, pp. 5735–5749, May 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9440761>
6. *Ravuri, S., Lenc, K., Willson, M. et al.* Skilful precipitation nowcasting using deep generative models of radar. Nature 597, 672–677 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03854-z>
7. *R. Prudden, S. Adams, D. Kangin, N. Robinson, S. Ravuri, S. Mohamed, and A. Arribas* A review of radar-based nowcasting of precipitation and applicable machine learning techniques arXiv preprint arXiv:2005.04988, 2020.
8. *Remi Lam, Alvaro Sanchez-Gonzalez, Matthew Willson, Peter Wirnsberger, Meire Fortunato, Alexander Pritzel, Suman Ravuri, Timo Ewalds, Ferran Alet, Zach Eaton-Rosen, et al.* GraphCast: Learning skillful medium-range global weather forecasting In: arXiv preprint arXiv:2212.12794 (2022).
9. *Tung Nguyen, Johannes Brandstetter, Ashish Kapoor, Jayesh K. Gupta, and Aditya Grover.* ClimaX: A foundation model for weather and climate” In: arXiv preprint arXiv:2301.10343 (2023).

## ОБУЧАЮЩАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ПОГОДЫ

Хохлин А.О.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*senya.khokhlin@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматривается возможность дистанционного обучения детей школьного возраста и студентов работе с метеорологическими приборами на метеорологической площадке.

*Ключевые слова.* Образование, метеорологические приборы, метеорологическая площадка.

## EDUCATIONAL WEATHER MONITORING STATION

Khokhlin A.O.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The possibility of remote learning for school-aged children and students to work with meteorological instruments at the meteorological site is being considered.

*Keywords.* Education, meteorological instruments, meteorological site.

С массовым развитием компьютерных технологий появилась возможность проводить занятия дистанционно, используя только персональный компьютер. Но такой вид образования подходит не каждой специальности. Например, технические специальности не могут обойтись без изучения приборов и методов работы с ними. Так же техническому ВУЗу будет непросто увлечь учеников школ без демонстрации специального оборудования. Но такое оборудование очень тяжело транспортировать и установить. Ярким примером служит метеорологическая площадка. Так как для ее установки потребуется соблюсти большое количество условий.

Для решения этих проблем была разработана обучающая метеорологическая станция погоды (рисунок 1). Станция создавалась на базе программного обеспечения LabVIEW [1]. Такие программы называются — виртуальные приборы или просто ВП.

ВП не требует для запуска ничего кроме компьютера, что делает его доступным для показа в школах или ВУЗах. Программу можно переслать по почте или передать на flash-диске, что намного проще, чем установить полноразмерную метеорологическую площадку.

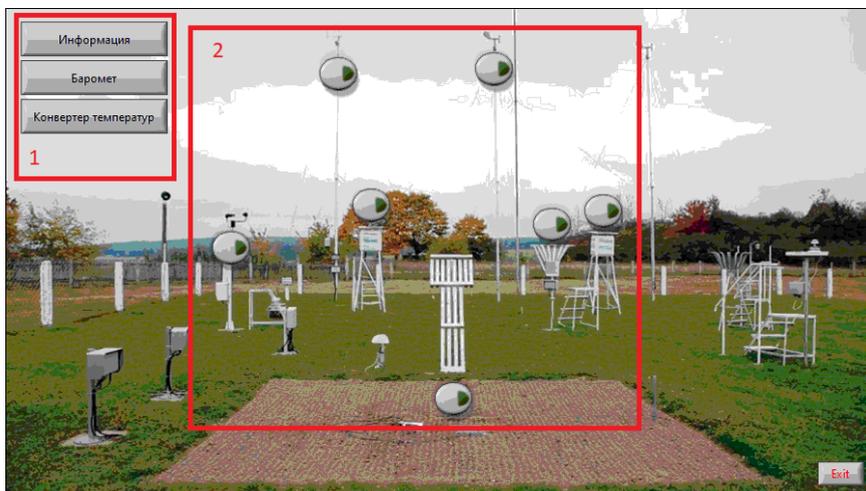


Рисунок 1 – Метеорологическая станция погоды

В программу были добавлены кнопки «Информация» «Барометр» и «Конвертер температур» (1). Кнопка информации выводит на экран краткую информацию о программе и о метеорологической станции (рисунок 2).

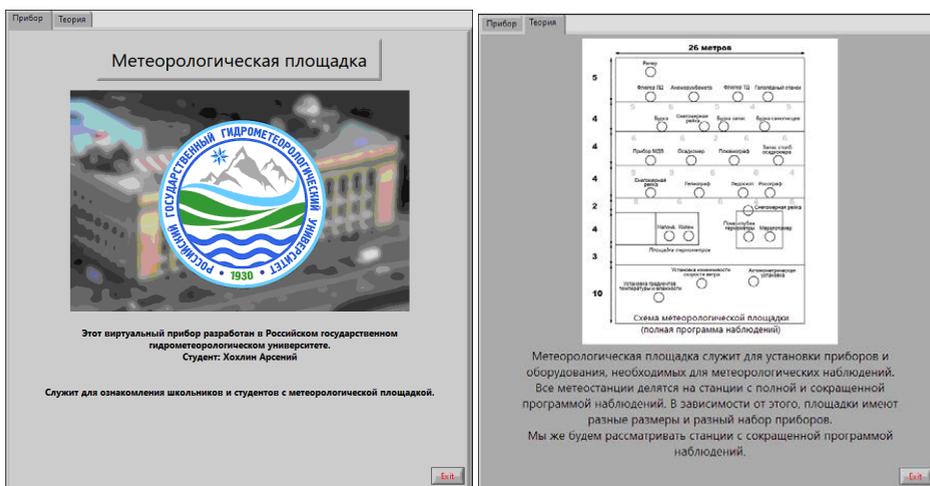


Рисунок 2 — Краткая информация

Модуль «Барометр» кроме знакомства с жидкостным чашечным барометром позволит проводить исследовательскую работу, например, получить зависимость давления от географической широты места измерения, высоты измерения над уровнем моря, температуры окружающей среды (рисунок 3).

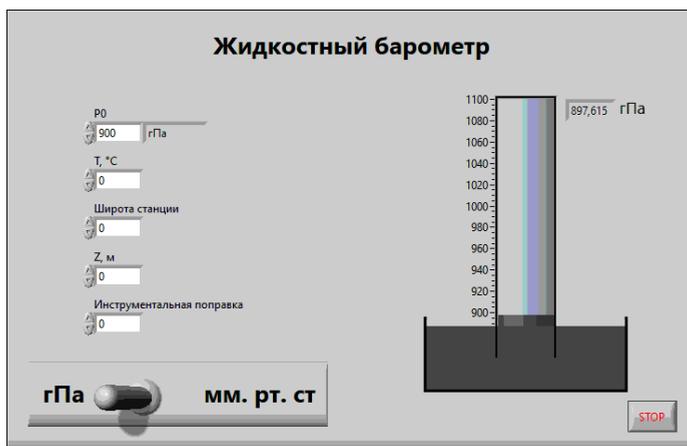


Рисунок 3 — Жидкостный барометр

Модуль «Конвертер температур» познакомит с различными шкалами температур - Цельсия, Фаренгейта, Кельвина, Реомюра, Рёмера, Ранкина, Гука, Дальтона, Ньютона, Делиля, Лейденского градуса [2] и переведет температуру из одной шкалы в другую (рисунок 4).

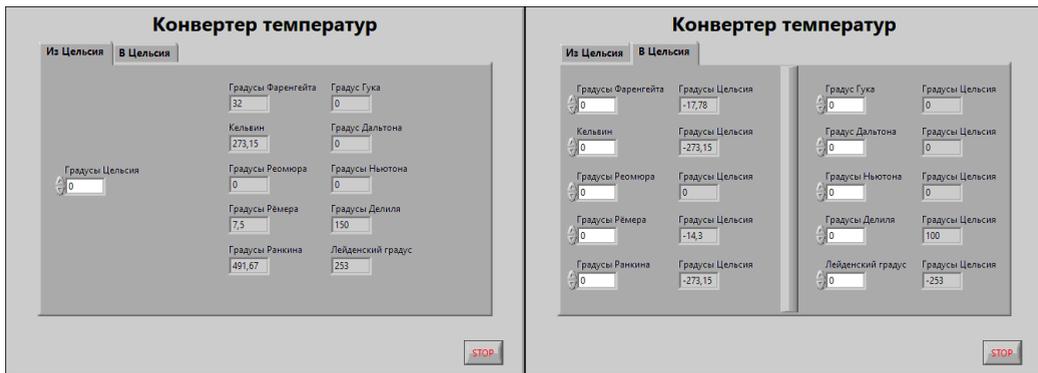


Рисунок 4 — Конвертер температур

Так же на станции погоды представлены следующие приборы:

- Геодезический репер станции
- Анеморумбометр
- Прибор МДВ
- Будка для самописцев
- Осадкомер
- Психрометрическая будка
- Напочвенные термометры
- Коленчатые термометры Савинова

Навигация по ним осуществляется с помощью кнопок (2). Каждый прибор имеет экспериментальную установку, которая выдает различные значения метеорологических величин. Ознакомимся подробнее с таким прибором на примере психрометрической будки. По нажатии на кнопку рядом с психрометрической будкой, появляется первая вкладка, на которой есть краткая информация о приборе (рисунок 5) и вторая вкладка с экспериментальной установкой, в которую входят: сухой и смоченный термометр, волосяной гигрометр, барометр, максимальный и минимальный термометр (рисунок 6). А на рисунке 7 представлена блок-схема этой установки. Элементы схемы отвечают за ввод, хранение и вывод информации.



Рисунок 5 — Краткая информация о приборе

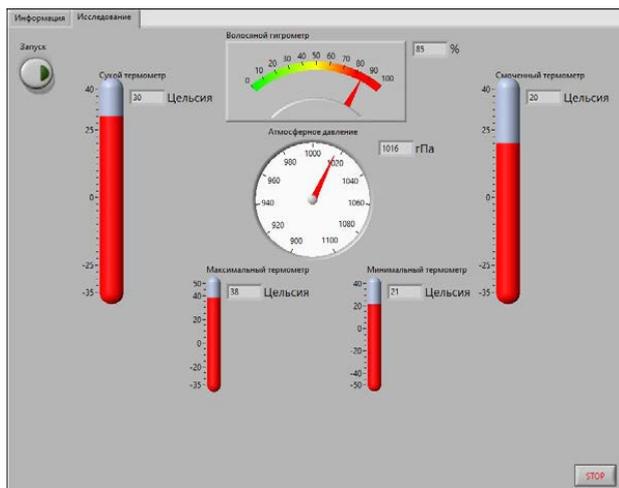


Рисунок 6 — Экспериментальная установка прибора

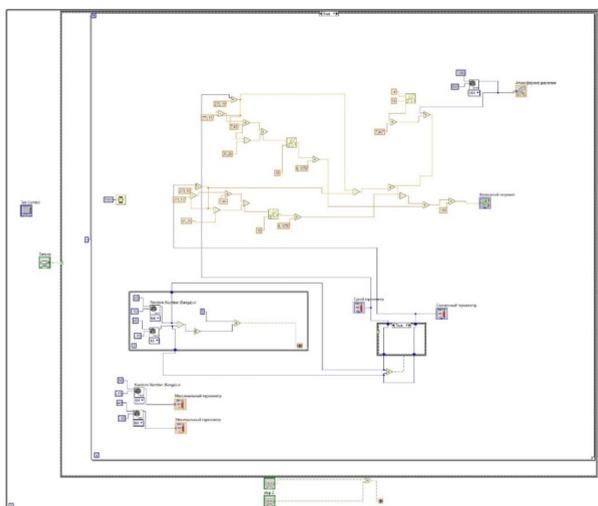


Рисунок 7 — Блок-схема виртуального прибора

Блок-схема содержит генератор случайных чисел, который, по нажатию на кнопку запуска, выдает значения температуры в пределах от  $-50$  до  $40$  °С и атмосферного давления в диапазоне от  $900$  до  $1100$  гПа. Данные значения в дальнейшем используются для нахождения других метеорологических величин. Для расчёта влажности воздуха реализована следующая формула [3]:

$$f = \frac{e}{E} = \frac{E_{cm} - A \cdot p \cdot (t - t_{cm})}{E}$$

Полученное значение влажности воздуха в процентах выводится в качестве показания гигрометра. Для расчёта давления насыщения в гПа использована формула Магнуса [3]:

$$E = 6,1 \cdot 10^{\frac{7,45t}{235+t}}$$

Таким образом, данная метеорологическая станция погоды подойдет учащимся школ в качестве удобного и познавательного тренажера. Поможет ознакомиться с нюансами работы на площадке и возможно вдохновит стать метеорологом.

Прежде всего станция поможет студентам заочной формы обучения освоить метеорологическую площадку, а также даст возможность проводить лабораторные работы преподавателю на основе значений, которые выдают приборы.

### Список литературы

1. Измерения в LabVIEW Руководство по применению. — Новосибирск, 2006. — 148 с.
2. Чертов А. Г. Единицы физических величин. — М.: «Высшая школа», 1977. — С. 203. — 287 с.
3. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. Учебник. — СПб.: изд. РГГМУ, 2012 — 306 с.

## ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СМЕЩЕНИЕ АРЕАЛОВ ПРОИЗРАСТАНИЯ ГРАНАТА

Чекасин М.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*maksimchekasin@mail.ru*

*Аннотация.* Выполнено исследование климатических характеристик, влияющих на возможность выращивания граната в различных регионах Российской Федерации.

*Ключевые слова.* Гранат, глобальное потепление, активные температуры.

## IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON DISPLACEMENT OF POMEGRANATE AREAS

Chekasin M.A.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

*Annotation.* A study was made of climatic characteristics that affect the possibility of growing pomegranate in various regions of the Russian Federation.

*Keywords.* pomegranate, climate change, active air temperatures

Климатические условия являются одним из главных факторов влияния на жизнь не только человека, но и многих видов растений и животных. Их (климатических условий) анализ за прошедшие годы может подтолкнуть к новым решениям: к переезду в другой регион, разведению нового для этого региона вида живности, а также выращиванию теплолюбивых видов растений в более северных частях земного шара. Тем более о глобальном потеплении мы слышим практически отовсюду. На территории России все чаще выращивают теплолюбивые культуры. Это в разы удешевляет продукцию для покупателей, ведь не нужно тратить большие деньги на доставку плодов издалека.

Последствия глобального потепления обширны и разнообразны. Одним из наиболее значительных последствий является повышение уровня моря, вызванное таянием ледников и ледяных шапок. Повышение уровня моря может вызвать наводнения и эрозию, что приведет к перемещению миллионов людей. Глобальное потепление также вызывает изменения в погодных условиях, что приводит к более частым и сильным стихийным бедствиям, таким как ураганы, наводнения и засухи.

Кроме того, глобальное потепление может оказать существенное влияние на экосистемы и биоразнообразие. По мере повышения температуры воздуха многие виды могут оказаться не в состоянии адаптироваться к изменениям, что приведет к их

исчезновению. Эта утрата биоразнообразия может иметь серьезные последствия для функционирования экосистем и благосостояния людей. Несмотря на отрицательное влияние глобального потепления на процессы в атмосфере, можно и нужно использовать его во благо. Так многие растения благодаря глобальному потеплению могут получить новые, более северные, ареалы произрастания. Именно этот эффект последствия глобального потепления рассматривается в данном исследовании.

Гранатовое растение, известное с научной точки зрения как *Punica granatum*, представляет собой плодоносящий листопадный кустарник или небольшое дерево, произрастающее на Ближнем Востоке и в Южной Азии. Растение может вырасти до 6 метров в высоту и дает красные плоды с жесткой кожистой кожурой и сотнями съедобных семян внутри.

Для изучения возможности (по метеорологическим условиям) произрастания гранатовых деревьев в непривычных для них северных регионах в данном исследовании был произведен анализ влияния глобального потепления на ареалы произрастания гранатового растения.

Для анализа влияния глобального потепления на ареалы произрастания гранатового растения были использованы данные реанализа ERA-20c (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-20c>) за период с 1950 по 2010 годов. Выбор периода связан с тем, что именно с 1950 года реанализ ERA20C предоставляет более адекватные данные, а также тот факт, что наиболее информативным с точки зрения климатических характеристик является период 30 лет, а используемый временной отрезок хорошо разделяется на два тридцатилетних периода, один из которых характеризует стандартный климат, а второй – современное потепление.

Для анализа было решено взять два временных промежутка протяженностью по 30 лет каждый и принять один из них за устойчивый климат 1950-1979 г., а второй – 1980-2010 гг. – характеризует современный меняющийся климат.

Для уточнения результатов каждый тридцатилетний промежуток был разбит еще на три интервала по 10 лет каждый.

Анализ проводился на ограниченной территории 30-80° с.ш. 0-180° в.д., так как в исследовании интересовала именно территория Российской Федерации.

Анализовались ежедневные поля температуры воздуха на высоте 2 метра. Данные имеют временно разрешение 6 часов, то есть за каждые сутки были получены и проанализированы данные за 4 срока – 0, 6, 12 и 18 UTC. Всего было проанализировано 87600 полей, в каждом из которых было 88 узлов сетки.

В анализе рассматривались четыре основные метеорологические характеристики, влияющие на рост кустов, а также на созревание плодов граната:

- количество дней с температурой воздуха 15<sup>0</sup>С и более;
- наличие дней с температурой воздуха -25<sup>0</sup>С и менее;
- номер дня устойчивого перехода через 15<sup>0</sup>С;
- сумма активных температур.

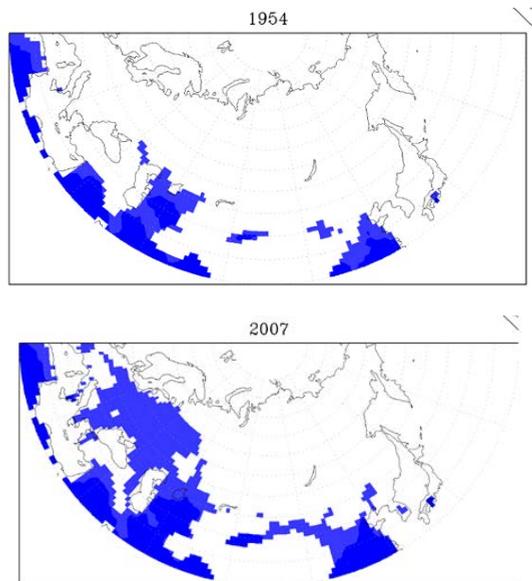
На рисунке 1 представлены территории (выделено синим цветом), пригодные для выращивания граната, по количеству дней со среднесуточной температурой воздуха выше 15<sup>0</sup>С. Анализ полей, приведённых на рисунке 1, позволяет говорить о том, что в 2021 году площадь областей с достаточно большим количеством дней с высокой среднесуточной температурой воздуха значительно выросло.

Одновременно уменьшается количество регионов, в которых наблюдается опасная для произрастания граната температура воздуха ниже – 25<sup>0</sup>С. Это продемонстрировано на рисунке 2 – области зелёного цвета.

Аналогичная ситуация прослеживается и в полях суммы активной температуры.

Приводятся поля для конкретных годов. Конечно, и в первый рассмотренный период, когда не было проявлений глобального потепления, наблюдались ситуации пригодные для выращивания граната в северных регионах, но они были достаточно редкими. В последние

же десятилетия в большом числе северных регионов такие метеорологические условия наблюдаются практически всегда.



*Рисунок 1 – Районирование территории Российской Федерации пригодной для выращивания граната по количеству достаточно тёплых дней (температура воздуха выше 15<sup>0</sup>С)*

За временной промежуток с 1950 по 2010 годы в связи с глобальным потеплением ареалы произрастания граната на территории России (по метеорологическим характеристикам) увеличились, а также распространились в глубь страны на север.

Появились новые регионы пригодные для выращивания граната, но с урожайностью не каждый год: Самарская область, Ульяновская область, Пензенская область, республика Мордовия, Тамбовская область, Рязанская область, Липецкая область, Тульская область, Орловская область, Брянская область, Еврейский автономный округ.

По результатам исследования создан сайт <https://granatik.netlify.app/>, на котором можно получить более подробную информацию о гранате и метеорологических характеристиках, проанализированных в данном исследовании.

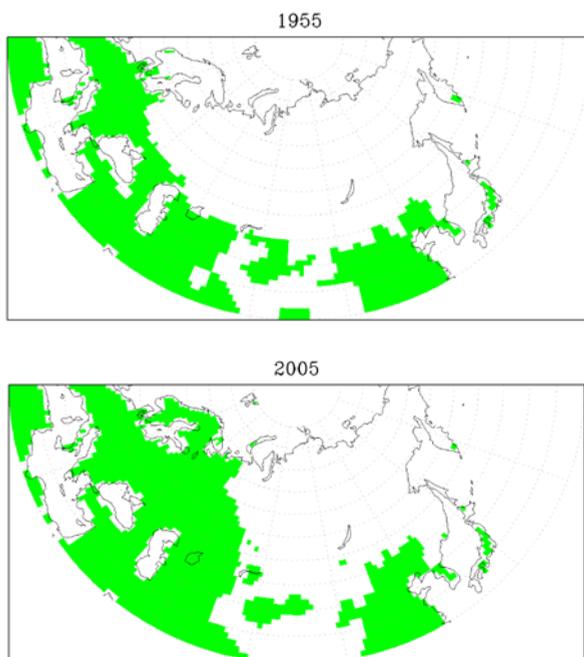


Рисунок 2 – Районирование территории Российской Федерации пригодной для выращивания граната по количеству достаточно тёплых дней (отсутствие температуры воздуха ниже  $-25^{\circ}\text{C}$ )

### Список литературы

1. Арндт Н.К. Особенности биологии плодоношения граната // Бюл. Никит. Ботан. Сада – Вып. 1(7).– С. 32-36
2. Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во МГУ, 1995. 222 с.
3. Чирков Ю.И. Основы агрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 248 с.

### ПРОГНОЗ ОСАДКОВ ДЛЯ ТАНЗАНИИ

Абдалла Шафии Джума

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
 abdallahshafii@yahoo.com

*Аннотация.* Мезомасштабная модель WRF-ARW адаптирована для региона Танзании. Произведён прогноз осадков и его верификации.

*Ключевые слова.* Мезомасштабная гидродинамическая модель, WRF-ARW, влажный и сухой сезон.

### PRECIPITATION FORECAST FOR TANZANIA

Abdalla SHafii Juma

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

*Annotation.* The WRF-ARW mesoscale model is adapted for the Tanzania region. A precipitation forecast and its verification were made.

*Keywords.* Mesoscale hydrodynamic model, WRF-ARW, wet and dry season.

Танзания расположена в южной части Африки недалеко от экватора. Она лежит между широтами  $0^{\circ}$  и  $12^{\circ}$  к югу от экватора и долготами  $28^{\circ}$  и  $42^{\circ}$  к востоку от главного меридиана.



Рисунок 1 – Регион исследований

Климат в Танзании сильно различается. В высокогорных районах температура колеблется между  $10$  и  $20$   $^{\circ}\text{C}$  в холодное и жаркое время года, соответственно. На остальной территории страны температура редко опускается ниже  $20$   $^{\circ}\text{C}$ . Самый жаркий период длится с ноября по февраль ( $25$   $^{\circ}\text{C}$ - $31$   $^{\circ}\text{C}$ ), а самый холодный - с мая по август ( $15$   $^{\circ}\text{C}$ - $20$   $^{\circ}\text{C}$ ). Годовая температура составляет  $20$   $^{\circ}\text{C}$ . В высокогорных районах климат прохладный. В Танзании есть два основных сезона дождей, один из которых длится с марта по май, а другой - с октября по декабрь. Два сезона осадков вызваны сезонной миграцией зоны межтропической конвергенции (Зорита и др., 2002).

Моделирование с использованием мезомасштабной модели WRF-ARW проходило с использованием конфигурации модели, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Используемая конфигурация модели WRF-ARW

Параметры	Конфигурация
количество узлов	350 по долготе и 300 по широте
Разрешение по горизонтали	5 км
Уровней по вертикали	35
Заблаговременность прогноза	216 часов (9 дней)
Проекция	Меркатора
Шаг по времени	30 секунд
Параметризации	
Микрофизика	WRF Одномоментная схема, 6 класса
Конвекция	0 и 1
Пограничный слой атмосферы	Схема Университета Йонсей (YSU-1)
Длинноволновое излучение	RRTM схема)
Коротковолновое излучение	Схема Dudhia
Количество слоёв в почве	4

Проводились эксперименты по исследованию влияния параметризации конвекции на качество прогноза осадков. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

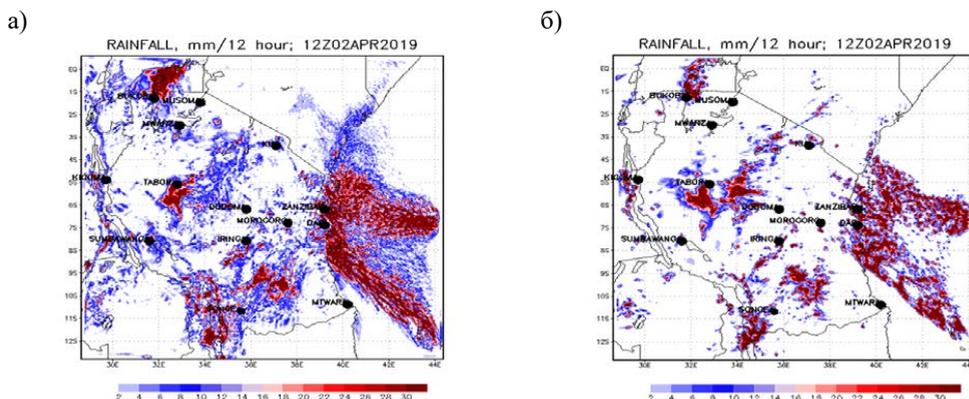


Рисунок 2 – Прогностические поля осадков с параметризацией конвекции (а) и без параметризации конвекции (б)

Верификация результатов моделирования проводилась по данным измерений на станциях.

Были рассчитаны матрицы сопряженности, с помощью которых определялось качество прогнозов на каждой станции.

В заключении можно сделать выводы:

- Без параметризации конвекции модель занижала оценку площади с осадками.
- Оценка эффективности модели с помощью индексов PC, POD, FAR и KSS показала, что модель дала хороший результат с параметризацией конвекции.
- Параметризация конвекции влияет на прогноз осадков в большинстве тропических районов. Чем лучше выбранная параметризация конвекции, тем лучше будет результат прогноза осадков.

### Список литературы

1. Зорита Э., Тилья Ф. Изменчивость осадков в Северной Танзании в сезон март-май (продолжительные дожди) и ее связь с крупномасштабными климатическими воздействиями. Климатические исследования. - №. 20. 2002. – с. 31-40.

## ПАРАМЕТРЫ ГРОЗОВЫХ И ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА TERRA ЗА 2020 г.

Яськов А.А., Горбатенко В.П.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск  
trrrt001@gmail.com, vpgor@tpu.ru

*Аннотация.* Рассмотрены характеристики конвективной облачности при регистрации гроз и града над центральной частью Западной Сибири в аномально теплый 2020г. Для исследований использовались данные спутника Terra, с портала EARTHDATA. Приведены сравнения результатов регистрации параметров облачности со спутника с опубликованными в научной литературе данными радиолокационного, аэрологического зондирования и спутниковой регистрации. Получено, что в 2020г. верхняя граница конвективной облачности при грозах над Западной Сибирью значительно выше, чем в предыдущие годы. Однако значимых различий между характеристиками грозовых и градовых облаков над Западной Сибирью в 2020г. не обнаружено. По результатам проведенных

исследований можно утверждать, что параметры конвективной облачности в дни с грозой и градом над Западной Сибирью в 2020г. практически полностью соответствовали параметрам облачности над регионами Северного Кавказа.

*Ключевые слова.* Конвективная облачность, спутник Terra, характеристики грозовых и градовых облаков.

## **PARAMETERS OF THUNDERSTORM AND HAIL CLOUDS OVER WESTERN SIBERIA ACCORDING TO TERRA SATELLITE DATA FOR 2020.**

Yaskov A.A., Gorbatenko V.P.

National Research Tomsk State University GGF

*Annotation.* The characteristics of convective cloud cover in recording thunderstorms and hail over the central part of Western Siberia are considered. The data from the Terra satellite and the EARTHDATA portal were used for this study. The results of registration of cloud parameters from the satellite were compared with published in the scientific literature data of radar and aerological sounding and satellite information. It was found that in 2020, the upper boundary of convective cloud cover during thunderstorms is higher than in previous years. However, no significant differences between the characteristics of thunderstorm and hail clouds over Western Siberia in 2020 were found. Based on the results of the studies, it can be stated that the parameters of convective cloud cover on days with thunderstorms and hail over Western Siberia in 2020 were almost completely consistent with the cloud cover parameters over the regions of the North Caucasus.

*Keywords.* Convective cloud cover, Terra satellite, characteristics of thunderstorm and hail clouds.

Параметры грозовой облачности отличаются в разных физико-географических регионах, поэтому для повышения эффективности прогноза грозы и града необходимо определять пороговые значения доступных для регистрации физических характеристик облачности. Кроме того, в регионах, где наблюдается изменение климата необходима и корректировка пороговых значений. Территория Западной Сибири расположена вблизи одного из очагов наибольшей скорости потепления. Увеличивается продолжительность тёплого периода, что вызывает увеличение и продолжительности грозового сезона и увеличение количества опасных конвективных явлений в течение такого сезона. Одним из ярких примеров с высокой повторяемостью ОЯ погоды стал 2020г. [1].

Целью настоящих исследований является определение ряда важнейших для прогноза опасных конвективных явлений характеристик грозовой облачности в 2020г. по базам их спутниковой регистрации.

Актуальность настоящей работы заключается в том, что атмосфера Западной Сибири в тёплый период года теплеет, и при наличии местных источников влаги, становится более влажной, что сопровождается интенсификацией конвективных процессов и увеличением частоты экстремальных погодных явлений [2]. Над территорией Западной Сибири чрезвычайные ситуации, обусловленные развитием глубокой мезомасштабной конвекции, в последние десятилетия повторяются гораздо чаще, чем до 2000 г. [1].

Для достижения цели данной работы были созданы выборки случаев с грозой и градом на станциях, расположенных на территории южной части Западной Сибири. Для этого использовались данные из журнала «ШТОРМ» Томского ЦГМС (центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Грозы считаются опасным явлением погоды, т.к. грозовые разряды могут вызывать пожары, в т.ч. лесные, повреждения линий электропередач и др., а сопровождающий грозы сильный ливень может приводить к подтоплениям низин, наводнениям, размывом дорог и др. Поэтому своевременная информация о вероятности и интенсивности гроз является очень полезной.

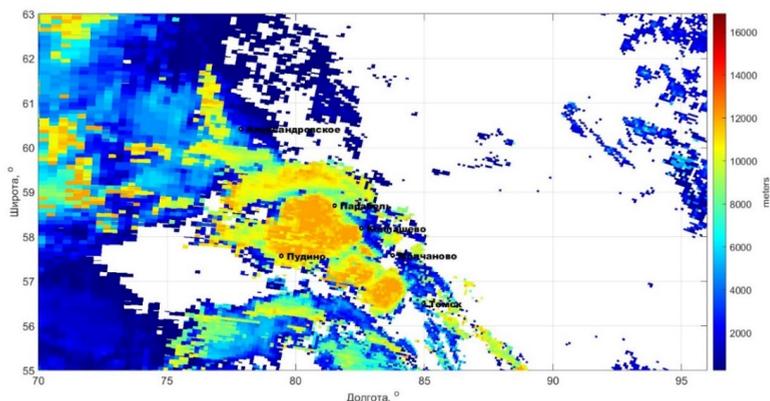
В ФГБУ «НИЦ Планета» разработана методика обнаружения зон гроз по спутниковым данным методом порогового дешифрирования [3]. Разные версии методики позволяют детектировать зоны гроз и определять их вероятность и интенсивность по данным

AVHRR КА серии NOAA, МСУ-МР КА Метеор-М №2 и №2-2 и SEVIRI КА серии Meteosat MSG (0 и 41,5° в.д.). Эти версии являются составной частью Комплексной пороговой методики (КПМ), разработанной с целью круглосуточного получения параметров облачности, осадков и опасных явлений погоды по спутниковым данным в автоматическом режиме [3]. Разные версии КПМ используют не только различную спутниковую, но и разную дополнительную информацию (различные виды численного анализа или прогноза метеопараметров), т.к. применяются не только для разных регионов, но и разных целей: например, для климатического мониторинга или для оперативного анализа и прогноза погоды.

По сформированным базам данных о времени и месте локализации каждого опасного конвективного явления в 2020г. получены данные о характеристиках облачности со спутника Terra. Для этого использовался портал EARTHDATA [4], содержащий данные, получаемые с космического аппарата Terra в виде HDF-файла. Этот файл содержит в себе набор характеристик облачных продуктов с разрешением 5 км из которых в настоящей работе использованы: Cloud\_Top\_Height (Высота ВГО), Cloud\_Top\_Pressure (Давление ВГО), Cloud\_Top\_Temperature (Температура ВГО), Cloud\_Optical\_Thickness (Оптическая толщина облака), Cloud\_Water\_Path (Водозапас облака), Cloud\_Effective\_Radius (Эффективный радиус облачных частиц - Rэф). Все перечисленные характеристики конвективных облаков существенно различаются в облаках разной мощности. Определение количественных порогов вышеназванных характеристик важно для разработки методов идентификации процессов развития опасных конвективных явлений. Параметры конвективной облачности, продуцирующей грозу и град в 2020г. могут послужить верхней границей диапазона характеристик, используемых для выявления порога высокой вероятности развития опасных конвективных явлений над Западной Сибирью по спутниковым снимкам.

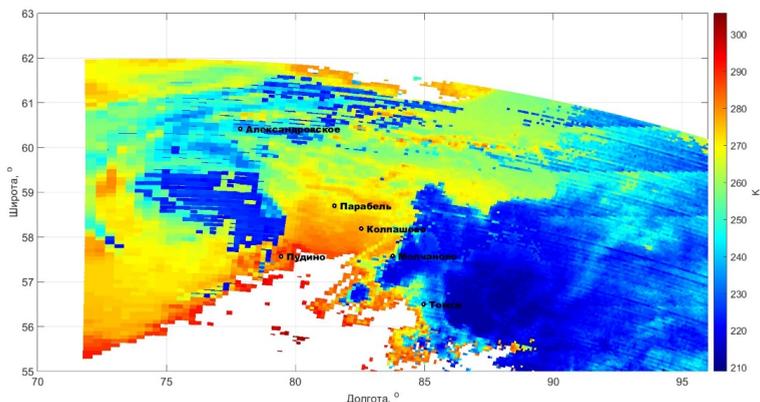
После того как были созданы базы данных о характеристиках облачности во время, близкое к зарегистрированным случаям грозы и града, с помощью языка программирования Matlab был написан скрипт, позволяющий выбрать данные из файлов и составить наглядные изображения характеристик грозовых облаков (Рисунок 1,2).

Заметим, что грозовой сезон в Томской области в 2020 году начался очень рано - 29 апреля, а закончился 4 октября, таким образом, грозы и град на разных станциях регистрировались на протяжении 106 дней. Особенность сезона был и тот факт, что грозы и град наблюдались и в мае. Статистические характеристики параметров облачности рассчитывались за весь период наблюдения, включая май месяц, что несомненно сказалось на их величине. Получено, что высота ВГО в грозовых облаках в 2020 год, в среднем, составила 11585 м, максимальная же высота достигала 16150 м. Были обнаружены и довольно высокие значения водозаписа облаков и их оптической толщины, составляющие, в среднем, 1768,4 г/м<sup>2</sup> и 78,6 ед. соответственно (Таблица 1).



*Рисунок 1 – Высота верхней границы облачности в грозовом облаке 12.08.2020*

Полученные характеристики грозовых облаков сравнивались с результатами, полученными при анализе данных метеорологического радиолокатора [5] аэрологического зондирования и спутниковых наблюдений в работах [6, 7, 8, 9]. После сравнения полученных данных о характеристиках грозовых облаков с более этими работами, получено, что в 2020 году над территорией южной части Западной Сибири мощность конвективной облачности была выше, чем среднее значение за предыдущие годы. Кроме того, замечено, что в мае 2020 г. было больше дней с грозой, чем в июне. Такое соотношение также было замечено впервые, как правило, в мае гроз в Сибири в 2-3 раза меньше, чем в июне.



*Рисунок 2 – Температура верхней границы облачности в градовом облаке 26.05.2020*

Можно предположить, что это связано с глобальным потеплением, в результате которого сдвигаются даты устойчивого перехода положительных среднесуточных температур воздуха на более ранние сроки и учащается образование конвективной облачности в весенние месяцы.

Таблица 1 – Характеристики конвективной облачности при грозах над Западной Сибирью

Характеристика облачности	Статистические характеристики			
	Среднее	Макс./Мин.	Медиана	$\sigma$
Высота ВГО, м	11585	16150/9150	12003	1277,7
Давление ВГО, гПа	219	300/108	202	37,3
Температура ВГО, К	218	228//209	215,5	4,9
Водозапас облака, г/м <sup>2</sup>	1768	2783//566	1958	672,2
Оптическая толщина, ед.	78,6	100//33,5	84,5	21,6
Эф. радиус частиц, мкм	29,9	37,1//17,5	30,3	4,4

Было проведено сравнение характеристик облачности в дни с грозой и градом, данные о характеристиках облаков, когда выпадал град приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики конвективной облачности при выпадении града над Западной Сибирью

Характеристика облачности	Статистические характеристики			
	Среднее	Макс./Мин.	Медиана	$\sigma$
Высота ВГО, м	11854,1	15104//9408	11880	1793,4
Давление ВГО, гПа	214,3	296//123,2	205	52
Температура ВГО, К	220	227,6//211,8	220,15	5,6
Водозапас облака, г/м <sup>2</sup>	1162,15	2068,7//90,4	1077,4	671,5
Оптическая толщина, ед.	56,4	100//4,3	51	31,3
Эф. радиус частиц, мкм	29,9	38,6//13,6	31	5,96

Сравнение параметров облачности позволило заметить:

1. Верхняя граница облачности при грозах и граде над Западной Сибирью в 2020г. отличается минимально. Заметим, что кучево-дождевые облака в высоких широтах, как правило, имеют меньшую вертикальную мощность, чем облака, образующиеся в южных регионах. На высоту облаков влияет положение тропопаузы, высота которой к экватору увеличивается. Однако, высота конвективной облачности (средняя и максимальная) над Западной Сибирью в 2020г. при наличии гроз и града оказалась сопоставима с высотой ВГО в районе Северного Кавказа [10] в дни с наличием развитой конвективной суперячейки.

2. Значения температуры воздуха на высоте верхней границы облаков с грозой и градом отличаются, в среднем, на 2 градуса. Температура ВГО градовых облаков составляет в среднем -53°C, грозовых -55°C (медиана -58°C). Заметим, что полученные значения также отличаются от зарегистрированных в более южных широтах [10] не более чем на 1-2°C.

3. Эффективный радиус облачных частиц, в грозовых облаках, зарегистрированных над Западной Сибирью со спутника Terra, сопоставим с результатами регистрации (Rэф=30-50 мкм) спутниками AVHRR/NOAA, МСУ-МР/Метеор-М No2 и SEVIRI/Meteosat [3].

4. При сравнении значения водозаписа облаков и оптической толщины в грозовых и градовых облаках в 2020г. было установлено, что значения этих параметров в грозовых облаках было значительно выше, чем в градовых. Скорее всего на результат повлияло большое количество случаев выпадения града в мае, когда характеристики конвективной облачности несколько отличаются от зарегистрированных в летние месяцы.

5. Значения эффективного радиуса облачных частиц в дни с грозой и градом тоже были практически идентичны, разве что в градовых облаках максимальное значение было

чуть выше, чем в грозовых облаках. Это также можно объяснить большей долей града в мае месяце.

В целом, по результатам проведенных исследований можно утверждать, что параметры конвективной облачности в дни с грозой и градом над Западной Сибирью в 2020г. практически полностью соответствовали параметрам при развитой конвекции над регионами Северного Кавказа.

### Список литературы

1. Горбатенко В.П., Пустовалов К.Н., Громова А.В., Нагорский П.М. Опасные конвективные явления над Западной Сибирью в XXI веке // Доклады всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. — Нальчик, 2021. — С. 455-460
2. Горбатенко В.П., Кузевская И.В., Пустовалов К.Н., Чурсин В.В., Константинова Д.А. Оценка изменчивости конвективного потенциала атмосферы в условиях изменяющегося климата Западной Сибири // Метеорология и гидрология. — 2020. — № 5. — С. 108-117.
3. Волкова Е.В., Гиричев Д.Б. Определение параметров облачного покрова и осадков по данным МСУ-МР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для территории Западной Сибири // Сборник тезисов Шестнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". — Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2018 г. — С. 166.
4. EOSDIS [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.earthdata.nasa.gov> (дата обращения 15.04.2022)
5. Ананова Л.Г., Горбатенко В.П., Луковская И.А. Особенности радиолокационных характеристик конвективной облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 7. — С. 51-56.
6. Нечепуренко О.Е., Волкова М.А., Горбатенко В.П., Кузевская И.В., Чурсин В.В. Оценка условий формирования градовых процессов на юго-востоке Западной Сибири // Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. — 2019. — С. 103-107.
7. Жуков Д.Ф., Пустовалов К.Н. Использование данных спутника CALIPSO для анализа вершин (наковален) мезомасштабных конвективных систем над югом Западной Сибири // Междисциплинарная молодежная научная конференция «Азимут ГЕОнаука – 2021». — 2021. — С. 68-72
8. V. Gorbatenko, O. Nechepurenko, T. Ershova Characteristics of atmosphere on days with thunderstorms in the Southeast of Western Siberia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. —2019. —Vol. 698. P. 1–9.
9. Волкова Е.В. Оценки параметров облачного покрова и осадков по данным радиометра МСУМР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для Европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14. — № 5. — С. 300- 320.
10. Абишев М.Т., Абишев А.М., Синькевич А.А., Михайловский Ю.П., Веремей Н.Е., Стасенко В.Н., Аджиев А.Х., Павар С.Д., Гопалакришнан В. Об особенностях развития суперячейкового конвективного облака в стадии максимальной грозовой активности (19 августа 2015 г., Северный Кавказ) // Метеорология и гидрология. — 2022. — № 4. — С. 96-110.

## СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ АРКТИКИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

#### **МЕТЕОРОЛОГИЯ В АРКТИКЕ В ПЕРИОД ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ**

Дейна А.А. , Щербакова Ю. Е.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*deyna.sasha@gmail.com , oneskoula9@gmail.com*

*Аннотация.* Рассказывается деятельность советских метеорологов в арктическом регионе во время Великой Отечественной войне.

*Ключевые слова.* Арктика, Великая Отечественная война, метеорологическая станция, метеорологические данные.

#### **METEOROLOGY IN ARCTIC DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR**

Deyna A.A., Shcherbakova Yu. E.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The activity of Soviet meteorologists in the Arctic during the Great Patriotic War is described.

*Keywords.* Arctic, the Great Patriotic war, meteorological station, meteorological data

Данные наблюдений метеостанций используются для составления прогнозов погоды и предупреждений о неблагоприятных для народного хозяйства явлениях погоды, изучения климата и его изменений, а также для непосредственного обеспечения обслуживаемых организаций сведениями о погоде. В СССР основная сеть метеостанций входила в состав Гидрометеорологической службы СССР.

Ещё до начала войны с Советским Союзом Германия организовывала множество экспедиций, иногда и с участием советских коллег. Эти экспедиции были нацелены на изучение территорий советской Арктики: положения льдов, разведки местности, изменения погоды в этом регионе.

Территория Арктики в период Второй Мировой войны играла немаловажную роль, ведь по её территории осуществлялись грузовые морские перевозки и поставки по программе Ленд-Лиз из США и Великобритании, а также транспортировать грузы на Дальний Восток по Северному Морскому пути. Важную роль в обеспечении этих перевозок играла Гидрометеорологическая СССР, которая с началом Великой отечественной войны была включена в состав РККА.

К началу Великой Отечественной войны Советский располагал сетью из 70 полярных станций. Также выполнялась регулярная ледовая авиационная разведка (рисунок 1). Функции сбора информации с полярных станций и распространения гидрометеорологической информации, а также оповещения о ледовой обстановке возлагались на районные радиоцентры, один из которых располагался на острове Диксон. А всю работу по сбору информации на самой станции выполняли простые советские метеорологи, которые каждые 3-4 часа при температуре, парой, ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  выполняли все необходимые замеры точно в срок и сообщали так необходимую Северному флоту и арктической авиации информацию.

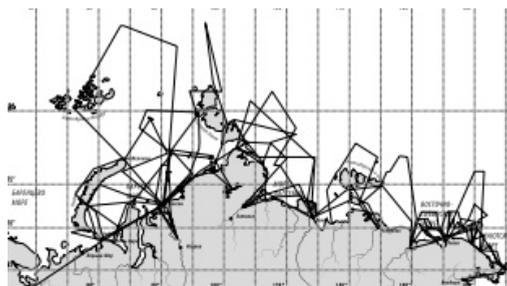


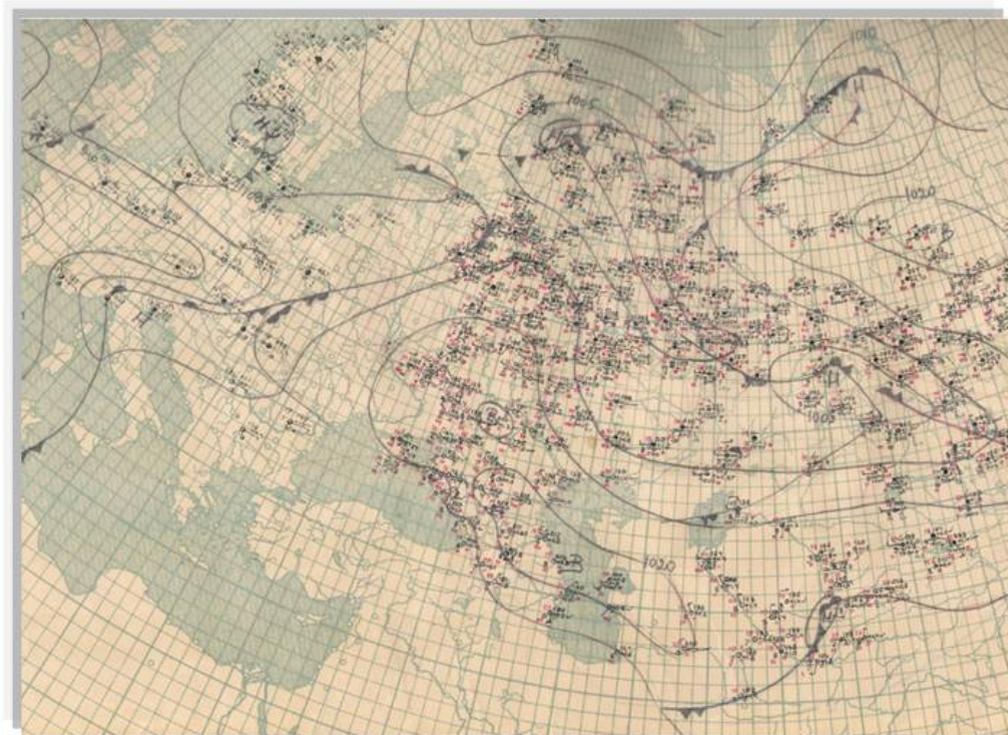
Рисунок 1 – карта маршрутов зимней ледовой авиационной разведки 1944 года

После начала Великой отечественной войны все финансовые и материальные ресурсы были направлены на поддержание наблюдательной сети метеорологических станций, производство ледовых авиаразведок, обеспечение нужд военно-морского флота и транспортных перевозок по Северному Морскому пути, пролежавшему по арктическому побережью Советского Союза. Военные действия распространились на Баренцево и Карское моря. Немецкие подводные лодки и надводные корабли топили суда, разрушали полярные станции. Так летом 1941 г. подверглась нападению и была разрушена полярная станция Малые Кармакулы на Новой Земле. В августе 1942 года немцами была осуществлена операция "Вундерланд" ("Страна Чудес" – нем.) (рисунок 2) одной из целью которой ставился захват порта в Диксоне на полуострове Таймыр и полярной станции, расположенной там же. Немцы на тяжелом крейсере "Адмирал Шеер" планировали высадить десант и захватить Диксон. Также в ходе операции немцы стремились нарушить советские коммуникации на протяжении Северного Морского пути. Но подойдя к Диксону и предприняв попытку высадки десанта немцы были удивлены ответному огню, они не знали о наличии тяжелого вооружения в этом портовом городе, из-за чего вынуждены были отступить. Так протекло самое восточное сражение времён Великой Отечественной войны в котором СССР смог отстоять свои рубежи и сохранить контроль над коммуникациями северного морского пути.



Рисунок 2 – территориальная карта операции "Вундерланд"

Из-за начала Второй Мировой войны обмен метеорологическими данными между странами был приостановлен. Советский Союз, имевший выход в Арктику, располагал сеть метеорологических станций, которые обеспечивали Северный Морской путь различными данными, необходимыми для безопасного прохождения этого пути. Но из-за захвата немцами территорий СССР и метеорологических станций, расположенных на этих территориях, советские метеорологи не имели метеорологической информации с этих территорий и поэтому стали появляться так называемые “обрезанные карты”(рисунок 3).



*Рисунок 3 – “Обрезанная карта” на 30 августа 1941 года.*

Немцам, не располагавшими сеть метеорологических станций на севере и не имевшим выходов к Арктике, приходилось очень тяжело. И хоть немцы располагали некоторыми данными полученными в ходе экспедиций 30-х годов и данными со вспомогательного крейсера “Комет”, который прошёл по Северному Морскому пути. Но советские метеорологи, во время прохождения крейсером пути, специально не сообщали весь объём информации, ради того чтобы немцы не имели полную картину происходящего в Арктике. После начала Второй Мировой войны и оккупации немцами Норвегии была создана метеорологическая станция на Шпицбергене. Но этого было недостаточно для полноценного метеорологического обеспечения действий немецких военно-морских сил в Арктике. Также к попыткам получать больше метеорологических данных об Арктике немцы применяли передовые, на тот момент времени, технологии и сбрасывали с самолётов автоматические метеорологические станции, которые находясь в тылу противника передавали важную информацию.

Но кроме этого немцы также предпринимали попытки с создавали собственные метеорологические станции на территории советской Арктики(рисунок 4). Так в 1943 году на острове Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа была высажена группа, состоящая из 10 немецких метеорологов, которые обустроили станцию и начали передавать

данные на “большую землю”. Но уже в следующем году немцам пришлось эвакуироваться ввиду отравления медвежатинной всего персонала станции.

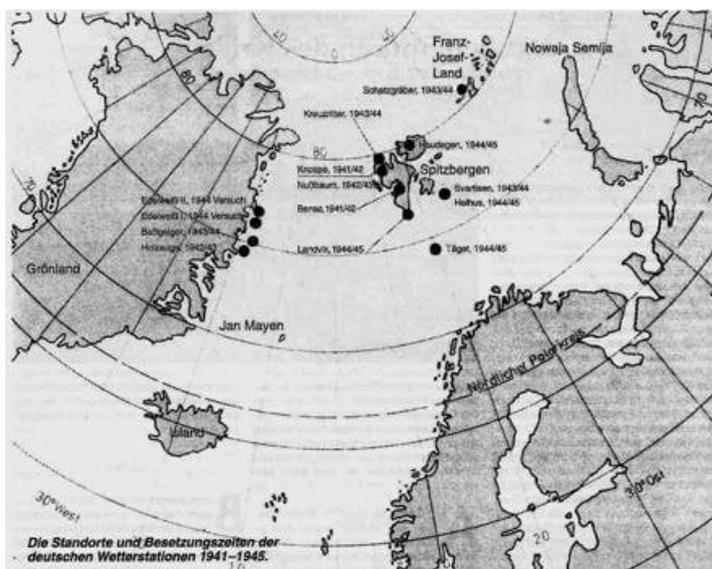


Рисунок 4 - Расположение и время работы немецких метеостанций в период с 1941 по 1945 года

Несмотря на попытки вывести из строя метеорологическую систему советской Арктики, прервать транспортные перевозки на западном участке Северного Морского пути а также дефицит снабжения советских метеорологических станций немцам так и не удалось уничтожить советскую метеорологию в Арктике. Напротив, в годы войны были открыты 9 новых станций. Среди них станции на мысе Медвежем в проливе Санникова, острове Андрея, озере Таймыр, острове Малый Таймыр. Большую работу за годы войны провела ледовая авиаразведка. В 1941—1945 гг. было выполнено 173 облета арктических морей и 469 навигационных ледовых авиаразведок, сопровождаемых проводкой отдельных судов и караванов. Напряженную работу провели научно-оперативные группы Арктического института в штабах морских операций на западе, в центре и на востоке Северного морского пути. Не прекращали свою работу и научные сотрудники Арктического института, эвакуированного из блокадного Ленинграда в Красноярск. Они разрабатывали новые методы прогнозов погоды и ледовой обстановки, навигационные пособия и справочники, выполняли научно-исследовательские работы.

#### Список литературы

1. Фролов И.Е., Захаров В.Ф. Очерки по истории гидрометеорологической службы России Том 3. Книга 2., 1 января 2005 г.- 404 с.
2. Супрун М.Н. Война в Арктике: (1939-1945). 2001. – 365 с.
3. Архивный отдел администрации Таймырского автономного округа. Бадигин К.С. На морских дорогах.— М.: Политиздат, 1980.— 336 с.
4. Полярные чтения на ледоколе "Красин" - 2015. Арктика в годы Великой Отечественной Войны. Филин П.А Москва - 2016— 312 с

# МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*ivanowat04@gmail.com*

*Аннотация.* На примере использования данных аэрологического зондирования в Якутии рассмотрена методика подготовки данных для малопараметрического представления вертикальных профилей температуры.

*Ключевые слова:* аэрологическое зондирование, вертикальные профили температуры, сплайн-интерполяция, ковариационная матрица, малопараметрическое представление вектора

## LOW-PARAMETRIC REPRESENTATION OF VERTICAL TEMPERATURE PROFILES IN THE ARCTIC REGION

Voskanyan K.L., Ivanova T.I., Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. Using the example of the use of aerological sensing data in Yakutia, the method of data preparation for the low-parametric representation of vertical temperature profiles is considered.

Keywords. aerological sounding, vertical temperature profiles, spline interpolation, covariance matrix, low-parameter representation of the vector

Детальное описание вертикальной структуры профилей метеорологических величин в свободной атмосфере до уровня средней стратосферы требует ввода большого количества их значений на различных уровнях. В данной работе исследуются возможности малопараметрического представления вертикальных профилей температуры с использованием ЕОС их ковариационной матрицы, построенной по ансамблю таких профилей. Задача решается на примере вертикальных профилей температуры, полученных по данным аэрологического зондирования атмосферы в Якутии (станция Жиганск) за 2018 г.

На рисунках 1 и 2 представлены ансамбли из 20 вертикальных профилей температуры за август и декабрь в Якутии, иллюстрирующие изменчивость вертикальных профилей в этом регионе.

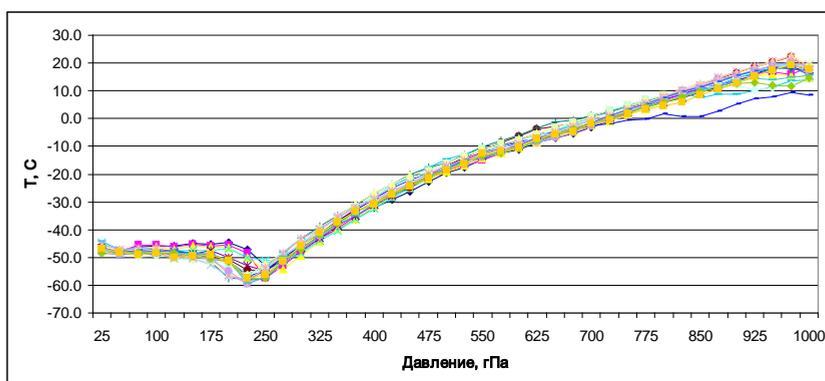


Рисунок 1 – Ансамбль из 20 вертикальных профилей температуры, август, Якутия

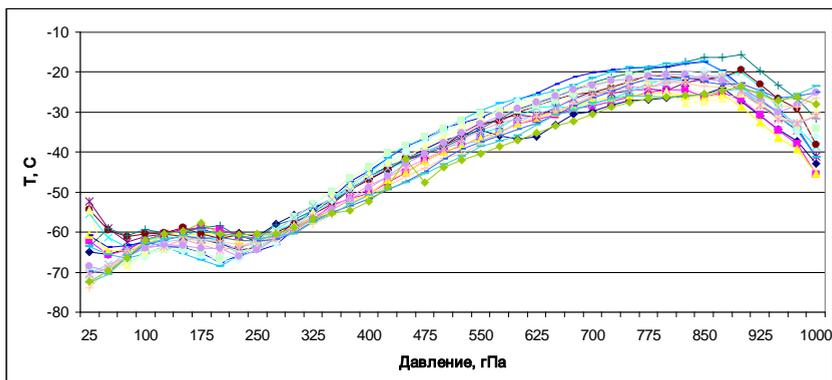


Рисунок 2 – Ансамбль из 20 вертикальных профилей температуры, декабрь, Якутия

В работе рассматривается методика подготовки данных для последующего разложения вертикальных профилей температуры воздуха по собственным векторам ковариационной матрицы [3].

Параметризация вектора  $r$  сводится к решению следующих задач:

- формирование ансамбля векторов  $r$ , статистические свойства которого были бы «близки» к тем векторам, для которых необходимо произвести параметризацию;
- расчет ковариационной матрицы для этого ансамбля;
- расчет собственных чисел и собственных векторов ковариационной матрицы;
- формирование матрицы  $M$ , состоящей из  $m$  первых собственных векторов ковариационной матрицы ансамбля векторов  $r$ ;
- для каждого подлежащего параметризации профиля  $r$  найти соответствующий ему вектор  $k$ .

В исходных данных аэрологического зондирования в качестве вертикальной сетки могут использоваться как высоты, на которых было произведено измерения температуры, так и давление для соответствующих высот. Однако при любом таком задании вертикальной сетки они оказываются не синхронизированы для данных любых случаев зондирований (рисунок 3).

24343 Zhigansk Observations at 00Z 27 Jan 2018

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1009.0	92	-36.5	-39.3	75	0.13	350	4	236.0	236.4	236.1
1000.0	146	-34.9	-37.7	76	0.15	0	12	238.2	238.7	238.3
994.0	189	-34.0	-36.8	76	0.17	5	17	239.5	240.0	239.5
967.0	386	-30.1	-32.7	78	0.25	10	21	245.4	246.1	245.4
933.0	641	-25.0	-27.4	81	0.44	10	19	253.1	254.3	253.2
927.0	687	-24.1	-26.4	81	0.48	6	18	254.5	255.9	254.6
925.0	703	-24.1	-26.4	81	0.48	5	17	254.7	256.0	254.7

Рисунок 3 – Иллюстрация несовпадения вертикальных сеток данных аэрологического зондирования как по давлению (первая колонка), так и по высоте (вторая колонка)

Поэтому для построения ковариационной матрицы была использована единая регулярная сетка, которая задавалась по давлению. Для пересчета исходных значений всех профилей ансамбля на одну и ту же сетку использовался метод сплайн-интерполяции. Первое значение сетки соответствовало давлению на уровне аэрологической станции, второе значение – 975 гПа, все остальные значения шли с шагом 25 гПа. Конечное значение давления задавалось как 100 гПа. Профили, не содержащие данные до высот с давлением 100 гПа, исключались из формируемого ансамбля (рисунок 4).

	A	B	C	D	E
1	1022	-33	1022	100	-73.3
2	1005	-33	975	125	-71.3
3	1000	-34	950	150	-69.7
4	991	-33	925	175	-64.1
5	947	-25	900	200	-58.5
6	925	-21	875	225	-58.9
7	916	-19	850	250	-63.9
8	888	-14	825	275	-61.0
9	850	-15	800	300	-58.7
10	787	-17	775	325	-56.0
11	764	-18	750	350	-53.4
12	700	-22	725	375	-49.7
13	690	-23	700	400	-46.5
14	642	-22	675	425	-41.8
15	615	-25	650	450	-38.5
16	592	-27	625	475	-35.5

Рисунок 4 – Пример проведения сплайн-интерполяции

На рисунке 4 в таблице в колонках «А» и «В» по данным аэрологического зондирования содержатся значения атмосферного давления в гПа и температуры в градусах Цельсия. В колонке «С» записана новая регулярная сетка по давлению, на которую методом сплайн-интерполяции пересчитаны значения температуры. В колонках «D» и «E» – новая сетка по давлению (в порядке возрастания) и профиль температуры, подготовленный к включению в ансамбль профилей для расчета ковариационной матрицы. Фрагмент готового ансамбля представлен на рисунке 5.

	A	B	C	D	E	F
1		1	2	3	4	5
2	100	-57.2	-50.3	-52.9	-53.2	-51.8
3	125	-55.7	-52.5	-52.8	-53.0	-48.9
4	150	-53.6	-50.4	-51.4	-51.5	-49.7
5	175	-52.3	-48.8	-51.7	-49.8	-49.1
6	200	-54.3	-49.7	-52.5	-51.3	-49.6
7	225	-59.2	-49.6	-53.9	-52.9	-51.4
8	250	-59.1	-50.6	-54.5	-54.4	-51.9
9	275	-61.8	-50.9	-58.8	-56.6	-54.4
10	300	-59.3	-50.2	-56.3	-57.3	-56.5
11	325	-57.3	-51.1	-53.6	-55.3	-54.6
12	350	-51.9	-50.4	-51.1	-51.4	-52.7
13	375	-48.3	-48.5	-48.3	-48.8	-49.9
14	400	-43.7	-47.8	-44.6	-46.1	-46.2
15	425	-39.4	-46.7	-41.5	-43.7	-44.3
16	450	-35.5	-45.5	-39.9	-41.6	-42.2

Рисунок 5 – Конечный этап формирования ансамбля вертикальных профилей температуры

Здесь в колонке «А» – профиль давления в гПа с шагом 25 гПа, все остальные колонки – вертикальные профили температуры, приведенные к единой вертикальной сетке. Первая строка содержит порядковый номер профиля температуры в ансамбле. Расчет ковариационной матрицы производился с использованием стандартной опции «Ковариация» пакета «Анализ данных» табличного процессора «Excel». Результат такого расчета представлен на рисунке 6 (поскольку ковариационная матрица является диагональной, то на рис. 6 представлена лишь ее часть ниже главной диагонали). Здесь первая колонка – профиль давления в гПа, первая строка – порядковый номер уровня давления: первый – 100 гПа, второй – 125 гПа и т.д. Начиная с колонки «В» и 2-ой строки представлены значения ковариационной матрицы. Для вычисления собственных чисел и собственных векторов ковариационной матрицы использовалась специально подготовленная программа, в которой все действительные собственные числа и собственные вектора симметричной матрицы определяются методом скалярных произведений [4].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		1	2	3	4	5	6	7	8
2	100	3.33204							
3	125	2.31419	2.82745						
4	150	2.28729	2.59706	3.6625					
5	175	2.32188	2.70083	3.49393	4.76108				
6	200	2.66574	3.08258	3.80521	4.81881	6.44229			
7	225	2.6838	3.4357	4.42176	6.49739	8.56859	15.8435		
8	250	2.26441	3.35995	4.92208	7.31144	9.70238	16.3532	21.1266	
9	275	1.67026	2.40531	3.75653	5.44096	6.94946	11.0176	14.5122	12.8401
10	300	1.25397	1.92444	2.10583	2.64125	3.50635	4.92014	6.63186	7.55732
11	325	0.77534	0.76754	0.7852	0.84032	1.59256	1.07723	1.73012	3.92142
12	350	0.20717	0.02881	-0.09935	-0.28639	0.03976	-1.14652	-1.3451	0.91365
13	375	0.36003	0.05242	-0.08492	-0.90551	-0.86603	-3.05844	-4.11418	-1.61194
14	400	0.09852	0.06387	-0.22542	-1.37112	-1.54631	-4.34232	-5.62477	-3.19111
15	425	-0.16911	-0.06625	-0.41965	-1.74374	-2.04701	-5.32423	-6.35772	-4.21714
16	450	-0.34408	-0.2867	-0.81444	-2.31601	-2.64275	-6.22422	-7.98095	-5.51922
17	475	-0.36079	-0.3736	-1.0453	-2.58471	-3.00728	-7.06336	-9.13174	-6.4759

Рисунок 6 - Пример представления ковариационной матрицы

На рисунке 7 представлен фрагмент файла с результатами расчета собственных чисел и собственных векторов ковариационной матрицы вертикальных профилей температуры. Здесь в колонке "A" приводятся поясняющие надписи, во второй строке приводятся значения собственных чисел ковариационной матрицы (ранжирование проведено в порядке их возрастания), а в колонках "B" и далее – профили собственных векторов ковариационной матрицы (шкала давления соответствует данным из колонки "A" на рисунке 4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	№ =>		1	2	3	4	5	6	7	8
2	Собственные числа =>		402.4619	65.3631	39.8117	17.2886	12.6834	8.0096	7.2861	3.7459
3			Собственные вектора							
4	№ =>		1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	5.0000	6.0000	7.0000	8.0000
5			-0.0059	0.0558	0.1251	-0.0215	0.2107	-0.0049	0.3731	0.0640
6	Размерность матрицы		-0.0181	0.0251	0.1361	-0.0661	0.2466	0.0451	0.2767	0.1455
7	37.0000		-0.0349	0.0242	0.1750	-0.1094	0.1724	-0.0103	0.3241	0.2179
8	Точность		-0.0616	0.0509	0.1774	-0.1031	0.2193	0.0185	0.2393	0.1401
9	0.0010		-0.0676	0.0867	0.2532	-0.1075	0.2560	0.0514	0.1117	-0.0413
10	Число итераций lmax		-0.1266	0.1859	0.3091	-0.2309	0.2285	0.1808	-0.2120	0.0239
11	1000.0000		-0.1656	0.2186	0.3446	-0.1740	0.1135	0.1206	-0.2756	-0.2261
12	Число собственных чисел		-0.1208	0.1234	0.3203	0.0354	0.0537	-0.3294	-0.2118	-0.0525
13	25.0000		-0.0558	0.0137	0.2889	0.3301	-0.0186	-0.3184	-0.0977	0.0451
14			-0.0062	-0.0619	0.2704	0.4045	-0.0447	-0.2051	-0.0739	0.1034
15			0.0225	-0.1097	0.2100	0.3544	-0.0497	-0.0302	-0.0721	0.0008

Рисунок 7 - Результат расчета собственных чисел и собственных векторов ковариационной матрицы вертикальных профилей температуры

На рисунке 8 приведены графики первых 7 собственных векторов ковариационной матрицы вертикальных профилей температуры. Обращает на себя "поведение" первого (и самого информативного) собственного вектора. Он четко описывает типичное поведение вертикального профиля температуры: падение значений до уровня тропопаузы и рост после этого уровня.

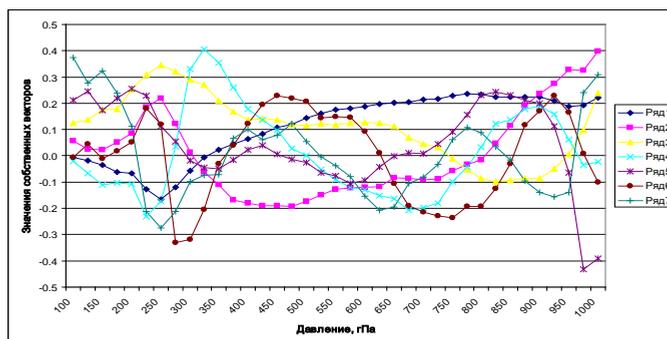


Рисунок 8 – График первых 7 собственных векторов ковариационной матрицы профилей температуры (номер ряда соответствует номеру собственного вектора, ранжированных в порядке убывания собственных чисел)

Расчет вектора  $\mathbf{k}$ , содержащий коэффициенты параметризации для подлежащего параметризации профиля  $\mathbf{r}$  производился с использованием метода наименьших квадратов по формуле (1).

$$\bar{\mathbf{k}} = [\mathbf{M}^T \mathbf{M}]^{-1} \mathbf{M}^T (\bar{\mathbf{r}} - \mathbf{r}), \quad (1)$$

где матрица  $\mathbf{M}$  состоит из  $m$  собственных векторов ковариационной матрицы ансамбля векторов температуры,  $\mathbf{M}^T$  – транспонированная матрица,  $[\ ]^{-1}$  – обратная матрица,  $\bar{\mathbf{r}}$  – средний профиль ансамбля, использованного для расчета собственных чисел и собственных векторов ковариационной матрицы. С учетом полученного вектора с коэффициентами параметризации оценка исходного профиля может быть вычислена по формуле (2).

$$\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{M} \bar{\mathbf{k}} + \bar{\mathbf{r}} \quad (2)$$

Сравнение вектора  $\mathbf{r}$  с его оценкой позволяет оценить погрешность малопараметрического представления профиля температуры (рисунок 9). В результате сравнения средняя ошибка составила  $0,05^\circ\text{C}$ , среднеквадратическое отклонение  $1.5^\circ\text{C}$ .

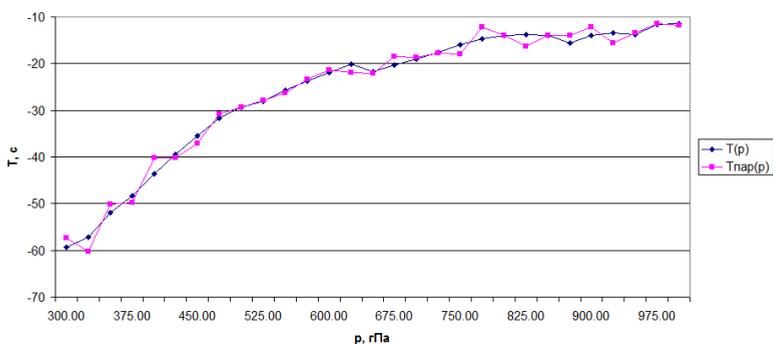


Рисунок 9 – График профиля температуры и его параметрического представления

### Список литературы

1. Комаров В.С., Ломакина Н.Я. Статистические модели пограничного слоя атмосферы Западной Сибири – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2008 - 221 с.
2. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М. Математическое обеспечение автоматизированной обработки данных аэрологических наблюдений, выполненных с помощью зарубежных измерительных систем // Л., изд. ЛГМИ, 1089 – 106 с.
3. Кузнецов А.Д., Симакина Т.Е., Сероухова О.С. Сезонное малопараметрическое представление вертикальных профилей температуры в Якутии Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. // СПб., РГГМУ, 2020 – С. 172-174.
4. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ

## ПОЛЯРНЫЕ МЕЗОВИХРИ НАД БАРЕНЦЕВЫМ МОРЕМ

Котова А.В., Федосеева Н.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*arinakotova219@gmail.com*

*Аннотация.* В настоящее время, в связи с активным развитием Северного морского пути, особый интерес представляет шельфовая зона морей российской Арктики. На этом фоне, своевременное обнаружение и мониторинг полярных мезовихрей приобретают особую актуальность. Формирование полярных мезовихрей сопровождается развитием неблагоприятных условий погоды и опасных явлений, что представляет опасность для нефте- и газодобывающих платформ и научно-исследовательских станций, находящихся в акватории Арктических морей. В ходе данной работы на основании данных ежедневной спутниковой съёмки MODIS/Aqua, Terra был сформирован архив изображений полярных мезовихрей в Баренцевом море за период 2020-2022гг. Были проанализированы условия возникновения полярных мезовихрей на основании данных реанализа GFS и ECMWF, а также аэрологических диаграмм.

*Ключевые слова.* Спутниковая съёмка, полярные циклоны

## POLAR LOW OVER THE BARENTS SEA

Kotova A.V., Fedoseeva N.V.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

*Annotation.* Currently, due to the active development of the Northern Sea Route, the shelf zone of the seas of the Russian Arctic is of particular interest. Against this background, timely detection and monitoring of polar mesovirls are becoming particularly relevant. The formation of polar mesovirls is accompanied by the development of unfavorable weather conditions and dangerous phenomena, which poses a danger to oil and gas production platforms and research stations located in the waters of the Arctic Seas. In the course of this work, based on the data of the daily satellite survey MODIS/Aqua, Terra, an archive of images of polar mesovirls in the Barents Sea for the period 2020-2022 was formed. The conditions of occurrence of polar mesovirls were analyzed on the basis of reanalysis data and aerological diagrams.

*Keywords.* Satellite imagery, polar cyclones

Характерными условиями для развития полярного мезоциклона являются: 1) движение холодной воздушной массы над поверхностью моря, причем контраст между температурой воды и суши или льда должен быть около 20 °С; 2) наблюдаемые на снимках облачные улицы, среди которых формируется вспышка холода; 3) близость струйного течения; 4) наличие ложбин синоптического масштаба; 5) расположение в центральной части окклюдировующего циклона; 6) сходимоссть воздушных потоков; 7) усиление бароклинности [1-4].

Спутниковая съёмка на сегодняшний день является наиболее надежным инструментом, позволяющим обнаружить это барическое образование, поскольку для него характерны короткий период жизни (от нескольких часов до 3-х суток) и малый размер (100-1000 км) [5].

За рассматриваемый период, с середины февраля по первую декаду ноября было обнаружено в 2020 году 16, в 2021 году 8, в 2022 году 11 случаев формирования полярных мезовихрей. В качестве примера рассмотрим полярный мезовихрь, сформировавшийся 7 марта 2021 года (рисунок 1) на западной границе Баренцева моря и просуществовавший до 8 марта 2021 года (рисунок 5). На спутниковом изображении (рисунок 1) полярный мезовихрь дешифрируется по характерной форме в виде облачной запятой, что соответствует начальной стадии развития полярного циклона, и полю облачных улиц, являющихся видимым проявлением модификации холодной воздушной массы в результате её перемещения над более теплой морской поверхностью. Размер вихря по спутниковому снимку составил 400 км.

На рисунке 1б приведен фрагмент снимка от 7.03.2021, обработанный с использованием модели Airmass RGB. Исследования, выполненные с помощью мультиспектральных комбинаций позволяют идентифицировать различные объекты, используя особенность их спектральных характеристик в различных диапазонах спектров. Модель Airmass RGB позволяет анализировать характеристики воздушных масс в регионе сцены снимка. На изображении, полученном с использованием этой модели желтый цвет указывает на плотные низко- и средне-уровневые облака. Синий цвет вокруг мезовихря согласуется с тем фактом, что полярные мезовихри формируются в холодной воздушной массе с низкой тропопаузой.

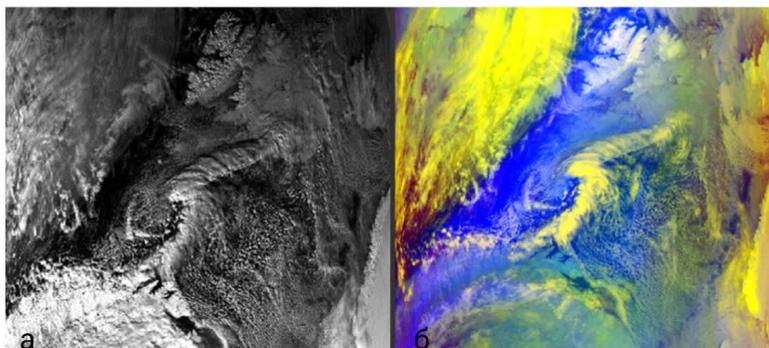


Рисунок 1 – Фрагмент спутникового снимка полярного мезовихря за 07.03.2021  
(а) Видимый диапазон, (б) Airmass RGB

Анализ синоптической ситуации 12 UTC 07.03.2021 (рисунок 2а) показал, что вихрь сформировался в малоградиентном поле на южной периферии центра высокого давления. На карте геопотенциальной высоты 500 гПа можно увидеть, что над областью формирования вихря расположены высотная ложбина и очаг холода (рисунок 2б).

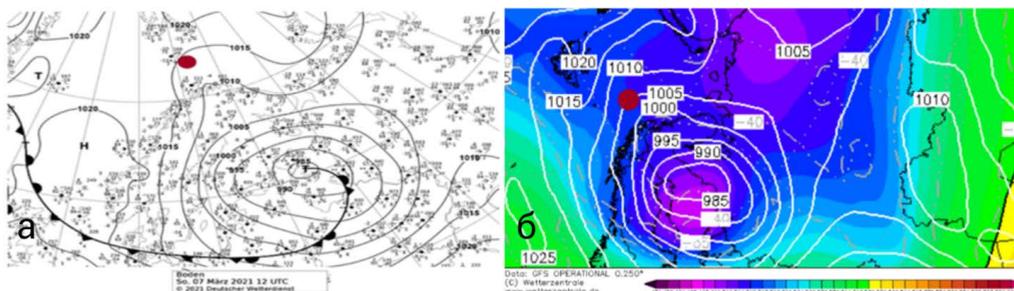


Рисунок 2 - (а) Синоптическая карта с фронтальным анализом 07.03.2021 12 UTC  
(б) Карта AT500 07.03.2021 00 UTC.

В зоне формирования вихря значение дивергенции на высоте 1000 гПа составляло -20. Температура воздуха на уровне изобарической поверхности 500 гПа в 12 ВСВ достигла порогового значения и составляла -42.3 °С. Температура поверхности воды открытого ото льда моря имела значение около -1°С. Контраст температуры приводного слоя и холодной воздушной массы с Арктики составлял  $\Delta T \approx 41,3^{\circ}\text{C}$ . Зона обнаружения ПМЦ визуализирована с помощью изолинии ThetaE (эквивалентной температуры) на высоте 850 гПа, которая составила 2,2°С. Омега на 850гПа отрицательная и равна -0,4. Высота волны достигала 4 метров (рисунок 3).



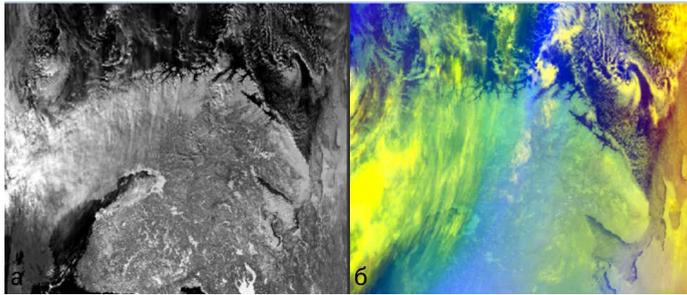


Рисунок 5 - Спутниковый снимок за 08.03.2021  
(а) Видимый диапазон, (б) Airmass RGB

На синоптической карте от 8.03.2021 исследуемый мезомасштабный вихрь прослеживается в малоградиентном поле на южной периферии антициклона (рисунок 6а).

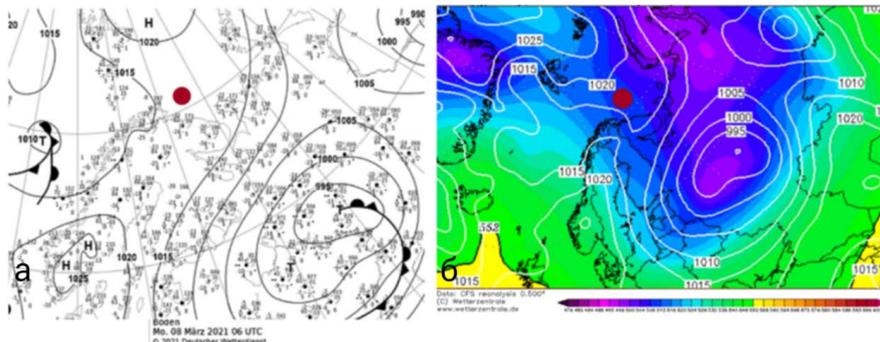


Рисунок 6 - (а) Синоптическая карта с фронтальным анализом 08.03.2021 06 UTC, (б) Карта AT500 08.03.2021 00 UTC.

В зоне формирования мезовихря дивергенция на высоте 1000 гПа составляла -8. Температура воздуха на уровне изобарической поверхности 500 гПа в 9 UTC достигла порогового значения и составляла  $-44.7^{\circ}\text{C}$ . Температура поверхности воды открытого ото льда моря равнялась около  $-5^{\circ}\text{C}$ . Контраст приводного слоя и холодной воздушной массы с Арктики составил  $\Delta T \approx 39,7^{\circ}\text{C}$ . ThetaE (эквивалентная температура) на высоте 850 гПа составила  $-4,0^{\circ}\text{C}$ . Омега на 850гПа отрицательная (что соответствует восходящему движению) и равна -0,2. Высота волны - до 1 метра (рисунок 7).

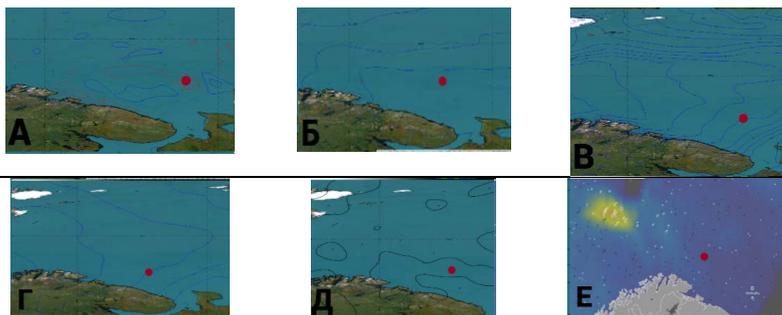


Рисунок 7 - Карты реанализа 08.03.2021 09 UTC А) Дивергенция 1000 гПа; Б) Температура поверхности воды открытого ото льда моря; В) Температура воздуха на уровне изобарической поверхности 500 гПа; Г) Эквивалентная температура на высоте 850 гПа; Д) Омега на 850гПа; Е) Общая высота волны

На аэрологической диаграмме по данным ближайшей к области образования мезовихря станции Мурманск наблюдается приземная температурная инверсия и изотермия на уровне 850 гПа (рисунок 8).

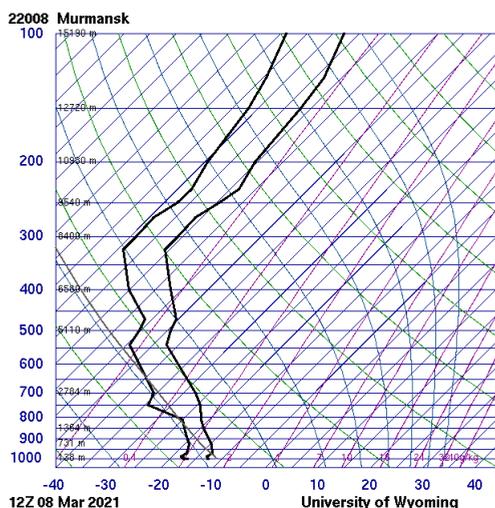


Рисунок 8 – Аэрологическая диаграмма по данным станции 22008 за 08.03.2021 12 UTC

Приведенные в работе особенности условия формирования полярных мезомасштабных вихрей являются характерными для всех рассмотренных в работе случаев.

#### Список литературы

1. Rasmussen E.A., Turner J. Polar Lows: Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, 2003г. - 612 с.
2. Нестеров Е.С. Полярные циклоны: наблюдения, реанализ, моделирование, 2020 г.- 65-82 с.
3. Акперов М.Г., Мохов И.И., Дембицкая М.А. Арктические мезоциклоны по спутниковым данным, данным реанализа и модельным расчетам, 2017г.- 297–304 с.
4. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Лопуха В.О. Использование данных спутниковой мультиспектральной съемки при анализе облачных систем полярных циклонов, 2018г.-615-624 с.
5. Лопуха В.О., Федосеева Н.В. Анализ облачности мезомасштабных полярных вихрей по мультиспектральным спутниковым данным, 2018г.-172-175 с.
6. Eumetrain MapViewer [Электронный ресурс]. URL:[http://resources.eumetrain.org/ePort\\_MapViewer/](http://resources.eumetrain.org/ePort_MapViewer/)
7. Weather maps, observations and charts. [Электронный ресурс]. <https://www.wetterzentrale.de>
8. Department of Atmospheric Science [Электронный ресурс]. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
9. Weather forecast on the map [Электронный ресурс]. <https://www.ventusky.com/>

## НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ГМО ТИКСИ

Кочеткова Е.Д.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*berttalise@gmail.com*

*Аннотация.* В настоящей работе кратко рассматриваются возможности приборного парка, процессы производства наблюдений за концентрацией парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) в гидрометеорологической обсерватории Тикси и обработки полученных данных, дается численная оценка сезонной изменчивости концентрации парниковых газов в исследуемом районе.

*Ключевые слова.* Арктика, Тикси, парниковые газы, газоанализаторы, Picarro G2301, климатические изменения

## OBSERVATIONS OF THE CONCENTRATION OF GREENHOUSE GASES IN HMO TIKSI

Kochetkova E.D.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* This paper briefly discusses the processes of making observations of the concentration of greenhouse gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) at the Tiksi hydrometeorological observatory, processing the obtained data, and gives a numerical assessment of the seasonal variability of greenhouse gas concentrations in the study area.

*Keywords.* Arctic, Tiksi, greenhouse gases, gas analyzers, Picarro G2301, climate change

Гидрометеорологическая обсерватория (ГМО) Тикси – комплексная исследовательская обсерватория, расположенная в одном из наиболее важных регионов Российской Арктики. Станция расположена на побережье моря Лаптевых, залив Сого, бухта Тикси. Она входит в систему наблюдений Росгидромета за атмосферной концентрацией основных долгоживущих парниковых газов (ПГ) и сеть станций Глобальной службы атмосферы (единственная станция, производящая наблюдения на севере Азии). В ГМО Тикси с 2010 года и по настоящее время производятся наблюдения за концентрацией  $\text{CO}_2$  (с февраля 2011 г.) и  $\text{CH}_4$  (с сентября 2010) [1].

Для производства измерений применяется анализатор концентрации парниковых газов Picarro G2301, позволяющий одновременно измерять концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  с чувствительностью доля на миллиард и пренебрежимо малым отклонением в период до нескольких месяцев. Этот прибор относится к категории инфракрасных (ИК) газоанализаторов, действие которых основывается на том, что молекулы ПГ имеют сложный линейчатый спектр поглощения в ИК-области, однако часто газы дают слишком слабые полосы поглощения, из-за чего точность определения их концентрации составляет только миллионные доли.

Для увеличения чувствительности датчики Picarro используют метод WS-CRDS (Wavelength Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy), где измеряется время затухания сигнала от лазера, свет которого проходит через анализируемую газовую смесь.

Рассмотрим принцип действия датчика несколько подробнее. Луч одночастотного лазерного диода попадает в резонатор, образованный тремя зеркалами с высоким коэффициентом отражения, таким образом поддерживается непрерывная световая волна. Соответственно при включении лазера газовая кювета быстро заполняется циркулирующим светом, часть которого улавливает фотодетектор, создающий сигнал прямо пропорциональный интенсивности света в резонаторе. Помимо зеркал, путь луча также увеличивает неаксиальное (не осесимметричное) расположение газовых кювет (рисунок 1а). При достижении сигналом фотодетектора порогового уровня лазер выключается, свет продолжает циркулировать внутри резонатора, но поскольку отражательная способность зеркал лишь близка к 100% (99,999%) его интенсивность по экспоненциальному закону

уменьшается до нуля. Несложно заметить, что время затухания (в кювете, где нет газов, поглощающих в ИК-диапазоне) будет определяться исключительно свойствами зеркал. В кювете Picarro G2301 (длина 25 см) путь луча составляет более 20 км.

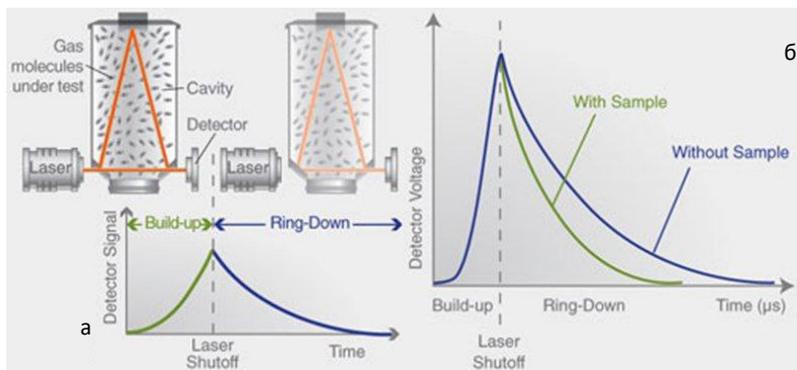


Рисунок 1 – а – схема относительного расположения кювет и детектора, график интенсивности сигнала детектора от времени, вертикальной чертой обозначен момент выключения лазера, б – Интенсивность света как функция времени, синим обозначена интенсивность при отсутствии поглощающего газа, зеленым – при наличии. Использовано изображение из [2]

Если в газовой смеси присутствуют газы, часть спектра поглощения которых лежит в ИК-диапазоне, возникнет дополнительная потеря в интенсивности сигнала и, соответственно, уменьшится время затухания сигнала. Рисунок 1б иллюстрирует как оптические потери преобразуются в измерение времени.

Калибровка прибора осуществляется автоматически путем измерения образца из баллона с калибровочным газом, параметры которого заранее известны, помимо этого возможно пользовательская калибровка [3].

В ГМО Тикси каждые 50 часов автоматически измеряется образец из одного из трех баллонов с калибровочным газом, подготовленным в центральной калибровочной лаборатории ВМО ГСА в NOAA ESRL, г. Боулдер, штат Колорадо В 2017 году развернут набор, подготовленный и откалиброванный в FMI (Финский метеорологический институт) [4].

Измерительная установка обсерватории имеет вид, представленный на рисунке 2, баллоны с калибровочным газом, вакуумные помпы, блок управления отбором проб воздуха, непосредственно датчик Picarro G2301 и дополнительное оборудование расположены на стойке в помещении станции.

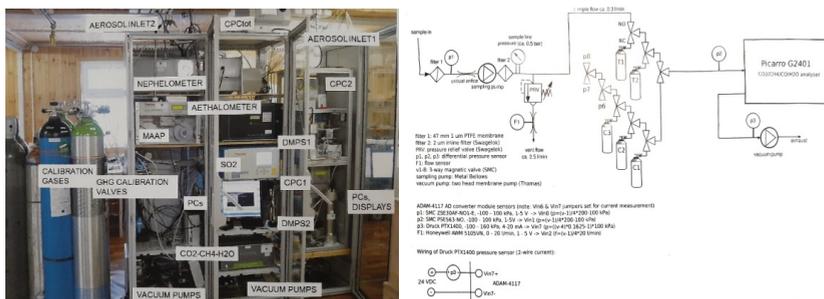


Рисунок 2 – Расположение приборов, необходимых для производства измерений концентрации ПГ и блок-схема измерительной системы в ГМО Тикси

Отбор проб осуществляется следующим образом: образец воздуха всасывается насосом Metal-Bellows MB-158E через тефлоновую трубку длиной 13 м. Наружная секция (9м) отапливается, высота забора проб 10 м, дискретность получения образцов 1 минута.

Необработанные данные рассчитываются как осредненные за одну минуту значения, которые в свою очередь рассчитаны из соотношения смеси с использованием линейного уравнения, основанного на коэффициентах автоматической калибровки. Полученные значения обрабатываются в ААНИИ и ГГО им. Воейкова следующим образом: данные проверяются вручную на адекватность полученных значений при метеорологических условиях, наблюдавшихся на момент забора пробы. Стоит отметить, что измерение метеопараметров происходит автоматически комплексом Picaso (дополнительно установлен анемометр на высоте 10 м), однако если эти данные по какой-либо причине отсутствуют, используется информация станции Тикси, расположенной на расстоянии 1,5 км.

Поминутные значения через осреднение преобразуются в почасовые, которые в свою очередь переходят в суточные, усредняющиеся до месячных. Почасовые данные помечаются в зависимости от наблюдавшейся скорости ветра, поскольку при малых скоростях существует риск того, что концентрации будут зависеть от местных выбросов водно-болотных угодий.

После обработки данные передаются в архив Мирового центра информации по парниковым газам (World Data Centre for Greenhouse Gases) [5]. Информация предоставляется после регистрации. На рисунке 3 показано графическое представление полученных данных. Здесь MEAN – среднемесячные значения (файл monthly\_data), MIN и MAX соответственно минимальные и максимальные значения, зафиксированные в течении месяца, рассчитанные по среднесуточным данным. Почасовые данные не использовались для уменьшения зависимости измеряемой концентрации от скорости ветра.

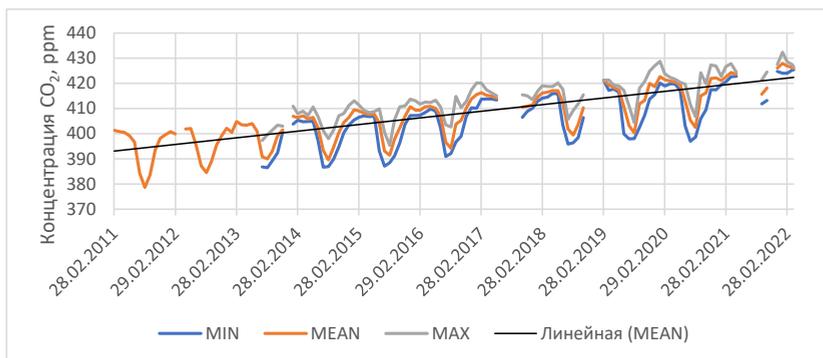


Рисунок 3 – Молярная доля  $CO_2$  в сухом воздухе по данным ГМО Тикси

Сезонный ход концентрации диоксида углерода имеет четко выраженный широкий максимум в зимние месяцы. Это связано с усилением антропогенной эмиссии в этот период. Минимум приходится на лето, что соответствует возобновлению процессов фотосинтеза.

Годовой ход концентрации углекислого газа не претерпевает изменения во времени. На протяжении всей истории наблюдений минимальные значения приходятся на летние месяцы, максимальные – на зимние, однако абсолютные средние значения имеют устойчивый линейный тренд и с каждым годом возрастают. Несложно рассчитать, что к 2030 году среднегодовые значения концентрации, при сохранении текущей тенденции, превысят 440 ppm.

Как видно из рисунка 4 измерения достаточно точны, их предполагаемая неопределенность на два порядка меньше значения интересующей величины, а отношение неопределенности к значению величины составляет менее 1,5% (для абсолютного большинства случаев не более 1%).

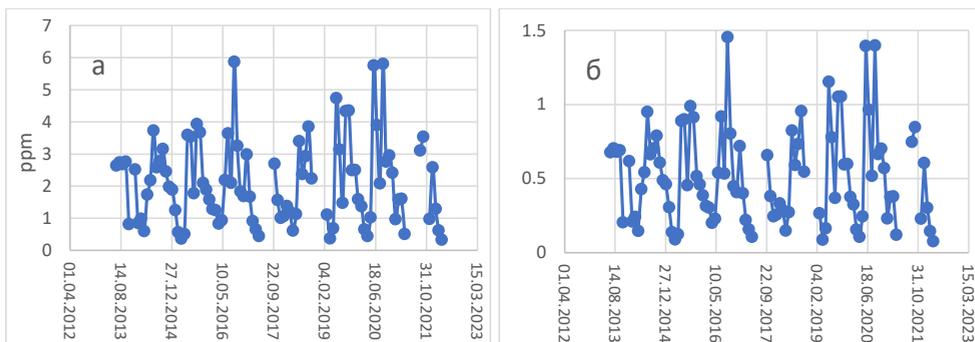


Рис. 4. а – предполагаемая неопределенность измерений  $CO_2$ , б – отношение неопределенности к значению величины, выраженное в %.

Ряд наблюдений за концентрацией метана имеет несколько большую продолжительность. В сезонном ходе концентрации можно выделить летний минимум и два выраженных максимума, приходящихся на позднюю осень и зиму, что обусловлено минимумом стока метана в результате химических реакций с гидроксидом, радикалами хлора и кислорода в атмосфере [1].

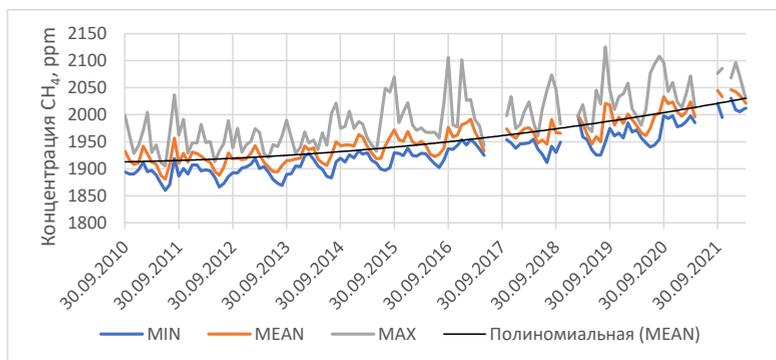


Рисунок 5 – Молярная доля  $CH_4$  в сухом воздухе по данным ГМО Тикси.

Неопределенность измерения концентрации метана в атмосфере несколько выше, того же показателя для диоксида углерода и составляет от 0,25 до 2,3%, что, тем не менее, свидетельствует о высокой точности измерений (рисунок б).

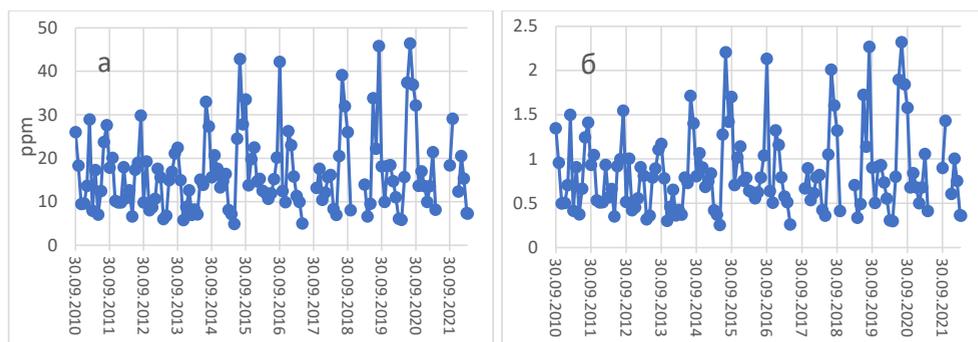


Рисунок б – а – предполагаемая неопределенность измерений  $CH_4$ , б – отношение неопределенности к значению величины, выраженное в %

В настоящий момент данные 2022 года находятся на обработке в ГГО им. Воейкова, в 2021 г. с апреля по конец июля из-за перебоев в электроснабжении измерения не производились. В связи с небольшими абсолютными значениями изменений восстановление данных дает большую погрешность и не производится при длинных пропусках данных.

В таблице 1 приведены статистические характеристики рассчитанные для полных рядов. Поскольку наблюдения за концентрацией метана начаты в сентябре 2010, а за концентрацией диоксида углерода – в июле 2013, значения рассчитываются от 2011 и 2014 гг. соответственно.

Таблица 1. Некоторые статистические характеристики изменения концентрации ПГ по данным ГМО Тикси

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Среднее содержание в 2020	418,7 ppm	1996 ppb
Среднее содержание в первый полный год производства наблюдений	2014: 402,0 ppm	2011: 1917 ppb
Относительное увеличение	3,6%	4,1%
Амплитуда сезонных колебаний в 2020	19,6 ppm	72 ppb
Абсолютное увеличение в 2020 от 2019	1,9 ppm	15 ppb
Увеличение относительно 2019	0,5%	0,8%
Среднегодовое абсолютное увеличение с...	2014: 2,56 ppm/год	2011: 10,4 ppb/год

Полученные числовые значения хорошо согласуются с [6], согласно которому, по состоянию на 2021 год содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере достигло 149% от доиндустриального уровня и составило 415,7±0,2 ppm. Помимо этого, наблюдается рекордное повышение концентрации метана, эффективное прямое радиационное воздействие которого в 2021 г. составило 0,55 Вт/м<sup>2</sup> (для сравнения, воздействие углекислого газа оценивается в 2,22 Вт/м<sup>2</sup>): 1908±2 ppb, 262% от доиндустриального уровня. В период 1990-2021 гг. радиационное воздействие, оказываемое долгоживущими ПГ, увеличилось почти на 50%, из них 80% – влияние углекислого газа. Измерения, проводимые на станциях сети ГСА ВМО, показывают, что в 2022 году содержание ПГ продолжает расти по всей территории Земли.

Север Азии – территория с наименьшей плотностью станций ГСА, исследования, проводимые в ГМО Тикси, имеют большое значение для изучения климата и глобальных процессов изменения состава атмосферы.

### Список литературы

1. Ивахов В.М., Парамонова Н.Н., Лаурила Т., Лоскутова М., Привалов В.И., Аурела М., Макитас А.П., Кустов В.Ю. Сезонная и годовая изменчивость концентрации парниковых газов в арктике В книге: Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики. Тезисы докладов международной научной конференции. 2020. С. 208-209. 0 3. CARBON DIOXIDE
2. Picarro. Cavity ring-down spectroscopy (CRDS): <https://www.picarro.com/company/technology/crds>
3. Picarro G2301-m Analyzer User's Guide. Rev. C 2/11/11
4. World Data Centre for Greenhouse Gases. Data search. CO2. Tiksi. Observations: <https://gaw.kishou.go.jp/search/file/0025-2002-1001-01-01-9999>
5. World Data Centre for Greenhouse Gases: <https://gaw.kishou.go.jp>
6. The WMO Greenhouse Gas Bulletin No.18

## **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 1961–2020 ГГ.**

Кочурова А.А., Барзут О. С.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск  
*kochurova.a.a@edu.narfu.ru*

*Аннотация.* Представлены результаты анализа пространственно-временных изменений температуры приземного воздуха на территории Архангельской области за последние десятилетия (1961–2020 гг.) с использованием данных наземных наблюдений шести метеорологических станций. Проведено сравнение климатических норм 1961–1990 и 1991–2020 гг. За последний 30-летний период выявлено превышение норм температуры 1961–1990 гг. Наибольший вклад в увеличение температуры внесли зимние месяцы.

*Ключевые слова.* Температура приземного воздуха, изменения климата, Архангельская область.

## **CHANGES IN CLIMATIC NORMS OF AIR TEMPERATURE IN THE NORTHERN PART OF THE ARKHANGELSK REGION FOR THE PERIOD 1961–2020**

Kochurova A.A., Barzut O. S.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk

*Abstract.* The results of the analysis of spatio-temporal changes in surface air temperature on the territory of the Arkhangelsk region over the past decades (1961–2020) using data from ground observations of six meteorological stations are presented. The comparison of climatic norms of 1961–1990 and 1991–2020 is carried out. Over the last 30-year period, an excess of the temperature norms of 1961–1990 was revealed. The greatest contribution to the increase in temperature was made by the winter months.

*Keywords.* Surface air temperature, climate change, Arkhangelsk region.

Климатические условия являются одной из важнейших характеристик любой территории ввиду их влияния на все стороны жизни человека, и в первую очередь на хозяйственную деятельность. Климат формируется как многолетний режим погоды. В узком смысле климат можно определить как усредненные метеорологические условия для конкретного места за определенный промежуток времени. Климат можно охарактеризовать посредством статистических описаний метеорологических элементов, таких как температура, осадки, атмосферное давление, влажность и ветер, или комбинаций элементов, например, атмосферных явлений, характерных для какой-либо местности или региона или же для всего мира за какой-либо промежуток времени [1].

Для характеристики климата используется понятие климатических норм. По определению Всемирной метеорологической организации (ВМО), под климатической нормой понимается средняя величина, вычисленная для однородного и сравнительно длительного периода времени, охватывающего, по крайней мере, три последовательных десятилетия [2]. По рекомендации ВМО, в качестве стандартного 30-летия для оценки изменчивости современного климата следует использовать период с 1961 по 1990 гг. [2].

Однако в дальнейшем на Семнадцатом Всемирном метеорологическом конгрессе в 2015 г. было принято решение об изменении определения климатологических стандартных норм. Для оперативной оценки колебаний климата 30-летние климатологические стандартные нормы ВМО отныне должны обновляться каждые десять лет. Теперь они рассчитываются за следующие последовательные 30-летние периоды, которые завершаются годом, кончающимся цифрой 0: с 1971 г. по 2000 г., с 1981 г. по 2010 г. и т. д. [2]. При этом период с 1961 по 1990 гг. был сохранен как стандартный опорный период с целью мониторинга изменения климата в долгосрочной перспективе. Оценки климатических изменений, происходящие в последующий временной интервал, с 1991 по 2020 гг., относятся к так называемому «постбазовому» периоду. Постбазовый период может стать новым

базовым периодом ВМО, если, согласно последним решениям ВМО в этой области, для этого появятся веские научные основания [1].

В настоящее время проблеме изменения климата уделяется большое внимание. Факт климатических изменений в последние десятилетия не вызывает сомнения, он подтвержден многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых [3]. Одним из наиболее очевидных показателей климатических изменений является изменение климатических норм, вычисленных за последовательные периоды времени. Данный показатель подробно рассмотрен в работе [3], где учеными ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» были рассчитаны нормы основных климатических параметров (температуры воздуха, осадков, упругости водяного пара, атмосферного давления на уровне моря) на территории России за три 30-летних периода с шагом в 10 лет: 1961–1990, 1971–2000 и 1981–2010 гг. В результате исследования выявлено, что наибольшее потепление произошло в тридцатилетие 1981–2010 гг. зимой на Европейской территории России, севере Восточной Сибири и на дальневосточном юге, а на северо-востоке Азиатской территории России отмечено значительное похолодание.

Вопрос изменения климатических норм рассматривался и ранее, например в [4] исследовалось изменение на территории России разницы между нормами по температуре воздуха, полученными за два последовательных 30-летия – 1931–1960 и 1961–1990 гг. Результаты показали увеличение норм на большей части южной половины страны и уменьшение – на побережье и островах Северного Ледовитого океана.

В последние годы в различных публикациях неоднократно высказывалось мнение о наиболее ярко выраженных изменениях климата в приполярных и арктических широтах [5–8]. В связи с этим изучение динамики климатических показателей в северных районах Архангельской области, административно входящих в состав Арктической зоны Российской Федерации, представляет научный интерес.

В настоящей работе проанализирована пространственно-временная изменчивость одного из главнейших климатических параметров – температуры приземного воздуха по данным наземных наблюдений шести метеорологических станций материковой части Архангельской области. Целью данного исследования является изучение региональных особенностей изменения климатических норм температуры в северных районах Архангельской области за период с 1961 по 2020 гг.

В работе использованы данные о ходе температуры воздуха за период с 1961 по 2020 гг. на шести метеостанциях: Мезень, Зимнегорский Маяк, Жижгин, Онега, Койнас и Архангельск (рисунок 1), полученные из архивов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Северное УГМС» [9, 10]. По месячным значениям температуры были рассчитаны климатические нормы за два 30-летних периода 1961–1990 и 1991–2020 гг. Затем была найдена разность норм 1991–2020 и 1961–1990 гг. Результаты расчета разности климатических норм представлены в таблице 1.

Анализируя таблицу 1, можно заметить наличие определенных закономерностей, характерных для большинства метеорологических станций. Важно подчеркнуть, что климатические нормы температуры воздуха последнего 30-летия превысили нормы 1961–1990 гг. на всех исследуемых метеостанциях на 0,3...3,0 °С. Примечательно, что наибольший вклад в потепление внесли зимние месяцы (декабрь–февраль), особенно январь, средняя температура которого повысилась на 2,4...3,0 °С по сравнению с нормой 1961–1990 гг. Максимальное увеличение температуры воздуха в январе наблюдалось на более южных станциях – Онега, Койнас, Архангельск (таблица 1).

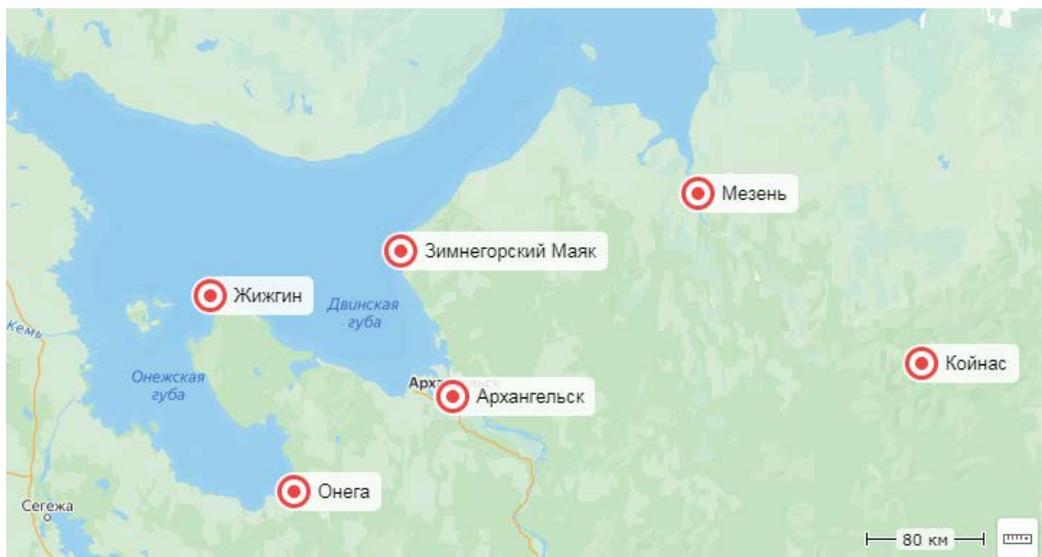


Рисунок 1 – Местоположение рассмотренных метеостанций (красными пунсонами) [11]

По данным таблицы 1, в летние месяцы (с июня по август) нормы температуры воздуха 1991–2020 гг. несильно отличались от климатической нормы ВМО 1961–1990 гг., повысившись всего на 0,3...1,0 °С. Менее всего температура увеличилась в августе на метеостанции Койнас. Слабое повышение температуры отмечено и в ноябре (0,4...0,8 °С).

Среднегодовые температуры воздуха за период последнего 30-летия превысили нормы базового периода ВМО (1961–1990 гг.) на 1,0...1,2 °С (таблица 1).

Таблица 1 – Разность климатических норм температуры воздуха, рассчитанных за 30-летние стандартные (по рекомендации ВМО) периоды 1991–2020 и 1961–1990 гг., по данным ряда метеостанций Архангельской области (рассчитано автором)

Станция	Географические координаты [10]		Месяцы												Год
	с.ш.	в.д.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Мезень	65°51'	44°14'	2,5	1,4	0,8	1,6	1,4	0,7	0,8	0,5	1,0	1,2	0,8	2,2	1,2
Зимнегорский Маяк	65°28'	39°44'	2,4	1,9	0,7	1,1	1,0	0,4	0,8	0,4	0,9	0,9	0,7	1,6	1,0
Жижгин	65°12'	36°49'	2,4	1,8	0,9	0,7	0,9	0,6	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	1,6	1,0
Койнас	64°45'	47°39'	2,9	1,2	0,6	1,3	1,3	0,7	0,6	0,3	1,1	1,3	0,7	2,0	1,2
Архангельск	64°30'	40°43'	2,9	1,5	0,8	1,0	1,0	0,5	0,7	0,4	1,0	0,9	0,4	2,1	1,1
Онега	63°54'	38°06'	3,0	1,6	0,9	1,0	1,1	0,6	0,8	0,7	1,0	0,8	0,6	2,3	1,2

Таким образом, по результатам анализа пространственно-временной изменчивости температуры приземного воздуха на севере материковой части Архангельской области по данным наземных наблюдений получено, что климатические нормы температуры последнего 30-летия превысили нормы 1961–1990 гг., а наибольший вклад в увеличение температуры внесли зимние месяцы. Данный факт подтверждает мнение о том, что современное потепление климата наиболее ярко выражено в холодный период года [12]. Возможными причинами повышения приземной температуры воздуха в Арктике и приполярных широтах в зимний период за последние десятилетия могут быть как изменения облачного покрова и содержания водяного пара в атмосфере, так и усиление атмосферной циркуляции и связанного с ним переноса тепла и влаги [13].

### Список литературы

1. Руководство по климатологической практике (ВМО-№ 100) [Электронный ресурс]. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=9868](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9868) (дата обращения 15.11.2022).
2. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм (ВМО-№ 1203) [Электронный ресурс]. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4168](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168) (дата обращения 15.11.2022).
3. *Коришнуова Н. Н., Швець Н. В.* Изменение норм основных климатических параметров на территории России за последние десятилетия [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/component/content/article/126-trudy-vniigmi/trudy-vniigmi-mlsd-vypusk-178-2014-g/526-izmenenie-norm-osnovnykh-klimaticheskikh-parametrov-na-territorii-rossii-za-poslednie-desyatletiya> (дата обращения 26.02.2023).
4. *Belokrylova T., Bulygina O., Razuvaev V.* Temperature pattern variability on the USSR territory in 1931–1990 // Proceedings of the Sixteenth Annual Climate Diagnostics Workshop, Los Angeles, October 28 – November 1 1991. – Los Angeles: Dept. of Atmospheric Sciences University of California, 1992. – P. 173–178.
5. *Алексеев Г.В.* Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. – Т. 1. – С. 11–26.
6. *Барзут О. С., Кочурова А.А.* Изменчивость температуры воздуха в Арктической зоне Архангельской области // Arctic Days in St. Petersburg – 2021: International Scientific Cooperation in the Arctic in the Era of Climate Change : International Scientific and Practical Conference: Abstracts, St. Petersburg, 25–26 ноября 2021 года. – St. Petersburg: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2021. – С. 67–70.
7. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 28.01.2023).
8. Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля [Электронный ресурс]. URL: <http://www.igce.ru/> (дата обращения 26.12.2022).
9. ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 21.02.2023).
10. ФГБУ «Северное УГМС» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sevmeteo.ru/> (дата обращения 13.01.2023).
11. Яндекс Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/maps/> (дата обращения 01.03.2023).
12. *Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Верецагин М.А., Хабутдинов Ю.Г., Исмагилов Н.В., Тудрий В.Д.* Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2008. – Т. 150, кн. 4. – С. 21–33.
13. *Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Уразгильдеева А.В., Бобылев Л.П.* Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на усиление потепления в Арктике в зимний период // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – Т. 1. – С. 43–63.

### СРАВНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ ДИНАМИКИ ПОДКИСЛЕНИЯ ВОД АРКТИКИ И ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА НА КОНЕЦ 21-ГО СТОЛЕТИЯ

Мальшева А. С.<sup>1,2</sup>, Поздняков Д. В.<sup>1,2</sup>, Радченко Ю. В.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург

*aleksa.malyshewa@yandex.ru*

*Аннотация.* На основе климатических моделей СМIP6 выполнен прогноз динамики подкисления вод Арктического региона до конца 21-го века. Результаты показывают, что подкисление Арктических вод будет проходить интенсивнее, чем в среднем по Мировому океану.

*Ключевые слова.* pH, подкисление океана, сценарии и модели климата, СМIP6, Северный Ледовитый океан, Арктика.

## COMPARISON OF FORECASTS OF ARCTIC AND WORLD OCEAN ACIDIFICATION DYNAMICS FOR THE END OF THE 21ST CENTURY

Malysheva A. S.<sup>1,2</sup>, Pozdnyakov D. V.<sup>1,2</sup>, Radchenko I. V.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, St. Petersburg

*Annotation.* Based on the CMIP6 climate models, a forecast was made of the dynamics of acidification of the Arctic Ocean until the end of the 21st century. The results show that the acidification of the Arctic Ocean will be more intensive than the average for the World Ocean.

*Keywords.* pH, ocean acidification, scenario and climate models, CMIP6, Arctic Ocean, Arctic.

В настоящее время одним из методов изучения подкисления океана (ПО) является прогнозирование изменчивости pH по моделям (SRES, СМIP5, СМIP6) по сценариям будущего. Ранние модельные расчеты [1, 2, 3] прогнозировали возможное снижение pH до 7.8 в среднем по Мировому океану к концу столетия, что ниже на 0.3-0.5 единиц относительно доиндустриальной эпохи [3, 4, 5]. Прогнозы, полученные по моделям СМIP5 и СМIP6, в основном подтверждают предыдущие прогнозы по тенденциям ПО и предсказывают наибольшее снижение pH к 2100 году в высоких широтах, в частности, в Северном Ледовитом океане: максимальное снижение составит порядка 0.45 относительно среднего за 1995-2014 годы [6, 7, 8]. Основными причинами такой динамики ПО считается потепление вод Арктики, таяние морского льда и увеличение площади поверхности открытой воды и, как следствие, усиление потоков CO<sub>2</sub> из атмосферы в океан [1, 2, 9].

В данном исследовании были оценены будущие тенденции подкисления вод Арктики по проекциям климата в 21 веке. В качестве данных наблюдения были использованы оценки pH по данным реанализа Global Ocean Biogeochemistry Hindcast (GLOBAL\_MULTIYEAR\_BGC\_001\_029, <https://resources.marine.copernicus.eu/>) с пространственным и временным разрешением: 0.25°×0.25° и 1 месяц, соответственно. Оценка проводилась для поверхностного горизонта (0.5 м) за период с 1993 по 2014 год.

В работе использованы модели общей циркуляции атмосферы и океана из международного проекта СМIP6 (6-я фаза международного проекта сравнения объединенных моделей). Изменчивость pH рассчитывалась в 12 моделях проекта (таблица 1).

Среднемесячные значения pH по моделям были взяты с портала платформы Earth System Grid Federation (<https://esgf.llnl.gov/>). Для расчета проекций будущего ПО Арктики по моделям СМIP6 использовались 4 сценария будущего SSP (Shared Socioeconomic Pathways): SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5. Анализ соответствия исторических сценариев моделей с данными наблюдения за 1993-2014 г. проводилась с помощью метода перцентилей [10]. После чего было выбрано 4 лучшие модели, которые составили под-ансамбль: MPI-ESM1-2-LR, NorESM2-MM, NorESM2-LM, CMCC-ESM2.

Анализ исторических сценариев моделей показал, что модели в под-ансамбле превышают значения pH: межгодовой ход изменчивости pH исторической части под-ансамбля (1993-2014 г.) не совпадает с данными реанализа, хотя интервал неопределенности (25-75 перцентиль) модельных данных захватывает значения реанализа (рисунок 1).

Таблица 1 – Список глобальных климатических моделей международного проекта CMIP6 с данными по рН

N	Модель	Институт-разработчик модели	Сетка
1	CESM2-FV2	Национальный центр атмосферных исследований, Лаборатория геофизической гидродинамики, США	320x384
2	CMCC-ESM2	Евро-средиземноморский центр по изменению климата, Италия	362x292
3	GFDL-CM4	Национальное управление океанических и атмосферных исследований, Лаборатория геофизической гидродинамики, США	360x180
4	GFDL-ESM4		
5	IPSL-CM5A2-INCA	Институт Пьера Симона Лапласа, Франция	362x332
6	IPSL-CM6A-LR		
7	IPSL-CM6A-LR-INCA		
8	MPI-ESM-1-2-HAM	Институт метеорологии им. Макса Планка, Германия	256x220
9	MPI-ESM1-2-HR		802x404
10	MPI-ESM1-2-LR		256x220
11	NorESM2-LM	Консорциум по моделированию климата NorESM, состоящий из CICERO (Центр международных исследований климата и окружающей среды, Осло), MET-Norway (Норвежский метеорологический институт, Осло), NERSC (Центр окружающей среды и дистанционного зондирования Хансена, Берген), NILU (Норвежский институт исследования воздуха, Хьеллер), UiB (Университет Бергена, Берген), UiO (Университет Осло, Осло) и UNI (Исследовательский институт, Берген), Норвегия.	360x384
12	NorESM2-MM		

По отобранным моделям CMIP6 к концу 2100 года наибольшее ПО в Арктике будет происходить по сценарию SSP5-8.5 – среднее значение рН составит 7.59. Наименьшие скорости подкисления прогнозируется по сценарию SSP1-2.6 – ко концу 21-го столетия среднее значение составит 7.98. Оценки тенденций ПО рассчитывались в сравнении со средним значением *in situ* рН по базе GLODAPv2.2021 (Global Ocean Data Analysis Project, <https://www.glodap.info/>) за 2019 год: 8.10 (таблица 2).

В случае использования в под-ансамбле всех доступных моделей CMIP6 по каждому из сценариев размах неопределенности рН увеличивается, в месте состыковки временных рядов (2015 год) наблюдается несовпадение средних значений модельных рН, что указывает на оправданную необходимость метода отбора лучших моделей.

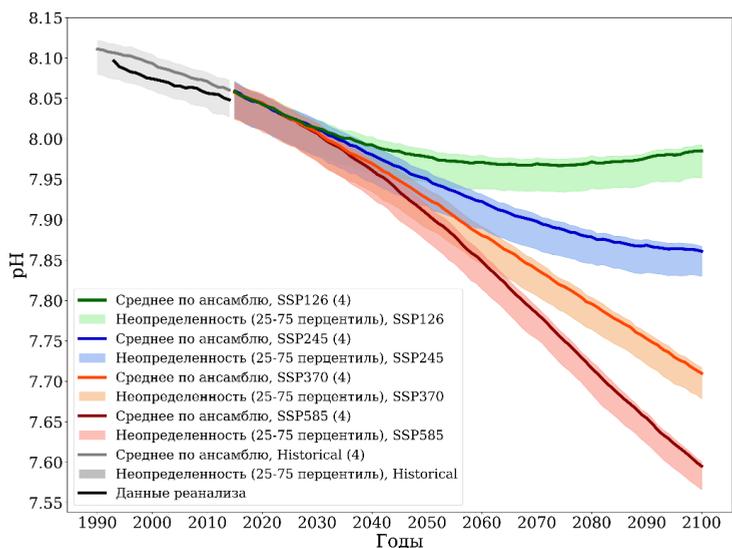


Рисунок 12 – Под-ансамбль моделей по сценариям будущего для рН в Арктике (по 4 лучшим моделям)

Проекция снижения рН в Арктическом регионе к концу 21 века, полученные по отобраным моделям CMIP6, дают основание ожидать продолжения тенденции подкисления вод Арктики. Наиболее высокие скорости подкисления (-4.9 % и -6.2%) соответствуют сценариям SSP3-7.0 и SSP5-8.5, согласно которым средняя температура воздуха в 2100 г. повысится на 3.6 °C и 4.4°C, соответственно [8]. Если такие экстремально высокие скорости потепления атмосферы принять за маловероятные, то более реалистичские скорости подкисления Северного Ледовитого океана будут находиться в диапазоне от -1.4% до -2.9%.

Таблица 2 – Прогноз подкисления вод Северного Ледовитого океана по сценариям будущего (под-ансамбль из 4 лучших моделей)

Сценарий	Среднее значение рН в Арктике в 2019 году	рН в 2100 году по сценариям SSP	Тенденция
SSP1-2.6	8.10	7.98	-1.4%
SSP2-4.5		7.86	-2.9%
SSP3-7.0		7.71	-4.9%
SSP5-8.5		7.59	-6.2%

Сравнение полученных результатов с прогнозами по моделям CMIP6 Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [8] показывает, что рН в условиях Арктики будет значительно ниже, чем в среднем по Мировому океану: разница по каждому из сценариев SSP составляет от 0.05 до 0.1 (рисунок 1, рисунок 2).

Стоит учитывать количество моделей, составляющих под-ансамбли при сравнении результатов прогнозирования. Так, например, в работе [7] было использовано 8-10 моделей CMIP6 в зависимости от сценария SSP, в отчете МГЭИК [8] от 2 до 7 моделей. В нашем случае под-ансамбли по каждому из сценариев составили 4 модели CMIP6. В прогнозе МГЭИК присутствует под-ансамбль из 2 моделей для сценария SSP1-1.9, в нашем

исследовании этот сценарий не рассматривался, поскольку эти 2 модели (IPSL-CM6A-LR, GFDL-ESM4) не вошли в число отобранных (см. выше).

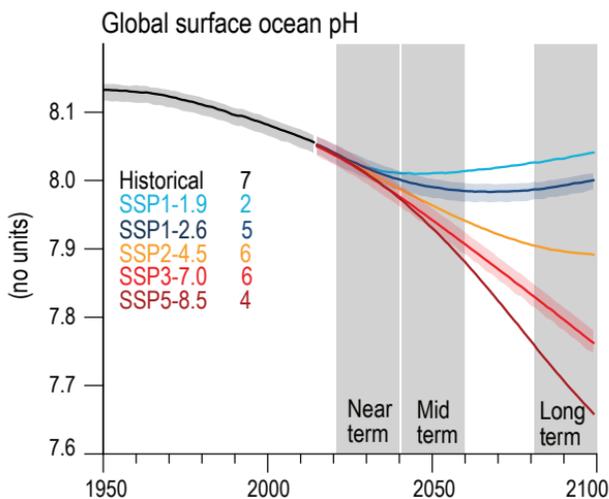


Рисунок 13 – Под-ансамбль моделей CMIP6 для pH по Мировому океану (Fig. 4.8 IPCC Sixth Assessment Report (AR6) 2021)

Прогнозы с помощью моделей CMIP6 [7] показывают снижение pH поверхностных вод Мирового океана на  $-0.16 \pm 0.002$  при SSP1-2.6,  $-0.26 \pm 0.003$  при SSP2-4.5,  $-0.35 \pm 0.003$  при SSP3-7.0 и на  $-0.44 \pm 0.005$  при SSP5-8.5 при сравнении средних значений за 2080–2099 годы относительно средних за 1870–1899 годы. Кроме сценариев SSP1-1.9 и SSP1-2.6, предполагающих более низкие уровни выбросов в течение столетия, прогнозируется монотонное снижение pH поверхностных вод Мирового океана [8]. В водах Северного Ледовитого океана по сценарию SSP1-2.6 также предполагается снижение pH к 2050 году, после чего пойдет увеличение значений до конца века (рисунок 1). По остальным сценариям ПО прогнозируется до 2100 года.

В водах высоких широт, в частности в Арктике, наблюдается большее снижение pH и ускоренное ПО [7, 11]. Это связано с сильным потеплением поверхностных вод Северного Ледовитого океана, что приводит к таянию морского льда, за счет чего увеличивается площадь поверхности для газообмена между океаном и атмосферой, в результате чего повышается поглощение антропогенного CO<sub>2</sub>, усиливая ПО [1, 12].

Наиболее вероятными представляются результаты под-ансамбля по сценарию SSP2-4.5, согласно которому средняя температура воздуха повысится на 2.7 °C к 2100 году [8], а скорость подкисления Северного Ледовитого океана составит -2.9% (среднее значение 7.86 на 2100 год).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 13.2251.21.0006.

### Список литературы

1. McNeil B. I., Matear R. J. Climate change feedbacks on future oceanic acidification // Tellus B: Chemical and Physical Meteorology. 2007. V. 59:2. P. 191–198.

2. Steinacher M., Joos F., Frölicher T. L., Plattner G.-K., Doney S. C. Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model // *Biogeosciences*. 2009. V. 6. P. 515–533.
3. Bopp L., Resplandy L., Orr J. C., Doney S. C., Dunne J. P., Gehlen M., Halloran P., Heinze C., Ilyina T., Séférian R., Tjiputra J., Vichi M. Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models // *Biogeosciences*. 2013. V. 10. P. 6225–6245.
4. Feely R.A., Doney S.C., Cooley S.R. Ocean Acidification: Present Conditions and Future Changes in a High-CO<sub>2</sub> World // *Oceanography*. 2009. V. 22. P. 36–47.
5. Orr J. C., Fabry V. J., Aumont O., Bopp L., Doney S. C., Feely R. A., Gnanadesikan A., Gruber N., Ishida A., Joos F., Key R. M., Lindsay K., Maier-Reimer E., Matear R., Monfray P., Mouchet A., Najjar R. G., Plattner G.-K., Rodgers K. B., Sabine C. L., Sarmiento J. L., Schlitzer R., Slater R. D., Totterdell I. J., Weirig M. F., Yamanaka Y., Yool A. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms // *Nature*. 2005. V. 437. P. 681–686.
6. Jiang L.-Q., Carter B. R., Feely R. A., Lauvset S., Olsen A. Surface ocean pH and buffer capacity: past, present and future // *Nature Scientific Reports*. 2019. V. 9:18624.
7. Kwiatkowski L., Torres O., Bopp L., Aumont O., Chamberlain M., Christian J. R., Dunne J. P., Gehlen M., Ilyina T., John J. G., Lenton A., Li H., Lovenduski N. S., Orr J. C., Palmieri J., Santana-Falcón Y., Schwinger J., Séférian R., Stock C. A., Tagliabue A., Takano Y., Tjiputra J., Toyama K., Tsujino H., Watanabe M., Yamamoto A., Yool A., Ziehn T. Twenty-first century ocean warming, acidification, deoxygenation, and upper-ocean nutrient and primary production decline from CMIP6 model projections // *Biogeosciences*. 2020. V. 17. P. 3439–3470.
8. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
9. AMAP Assessment 2018: Arctic Ocean Acidification. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway. 2018.
10. Gnatiuk N., Radchenko I., Davy R., Morozov E., Bobylev L. Simulation of factors affecting *Emiliana huxleyi* blooms in Arctic and sub-Arctic seas by CMIP5 climate models: model validation and selection // *Biogeosciences*. 2020. V. 17(4). P. 1199–1212.
11. Terhaar J., Kwiatkowski L., Bopp L. Emergent constraint on Arctic Ocean acidification in the twenty-first century // *Nature*. 2020. V. 582. P. 379–383.
12. Yamamoto A., Kawamiya M., Ishida A., Yamanaka Y., Watanabe S. Impact of rapid sea-ice reduction in the Arctic Ocean on the rate of ocean acidification // *Biogeosciences*. 2012. V. 9. P. 2365–2375.

## **ПРОФОРИЕНТАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ РОССИИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ АРКТИКИ**

Назарова М. И., Рыбакова А.М.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург  
g556600@yandex.ru

*Аннотация.* Арктический регион приобретает все большее глобальное значение из-за его быстрых климатических изменений, уникальной экосистемы, природных ресурсов, народонаселения и потенциала для торговли и инвестиций. Над стратегиями развития Арктического региона работают не только отдельные страны, но и крупные международные организации. В обеспечении развития арктических регионов ставка делается прежде всего на молодёжь как наиболее мобильную, креативную, амбициозную.

*Ключевые слова.* Арктика, Арктический регион, развитие Арктики, востребованные профессии Арктики, патриотическое воспитание, профориентационная деятельность.

## VOCATIONAL GUIDANCE ACTIVITIES OF THE DRIVING FORCE OF RUSSIA IN PRIORITY AREAS OF ARCTIC DEVELOPMENT.

Nazarova M.I., Rybakova A. M.  
Herzen University, St. Petersburg

*Annotation.* The Arctic region is becoming increasingly important globally because of its rapid climate change, unique ecosystem, natural resources, population, and potential for trade and investment. Not only individual countries, but also major international organizations are working on development strategies for the Arctic region. In ensuring the development of the Arctic regions the focus is primarily on young people as the most mobile, creative and ambitious.

*Keywords.* Arctic, Arctic region, Arctic development, in-demand professions of the Arctic, patriotic education, career guidance activities.

Арктический регион приобретает все большее глобальное значение из-за его быстрых климатических изменений, уникальной экосистемы, природных ресурсов, народонаселения и потенциала для торговли и инвестиций. В северных регионах разворачивается поле для решения международно-правовых, политических, военных, социально-экономических, экологических проблем. Над стратегиями развития Арктического региона работают не только отдельные страны, но и крупные международные организации.

Соединенные Штаты выпустили Национальную стратегию для Арктического региона, в которой подчеркивается важность ответственного и устойчивого развития, приоритет отдается экологической устойчивости, опоре на науку и традиционные экологические знания, вовлечение местных сообществ, эффективное партнерство, экономическая жизнеспособность и этическая деловая практика [1]. Аналогичным образом, Арктический инвестиционный протокол был разработан и одобрен финансовыми заинтересованными сторонами для руководства ответственным экономическим развитием в Арктическом регионе.

В России приняты Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации на период до 2035 г., а также корректировка Государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ», которые будут способствовать продолжению проводимой Россией политики в отношении Арктического региона. Основные направления которой комплексное социально-экономическое развитие, активизация научных исследований, развитие передовых арктических технологий, формирование различной инфраструктуры (от энергетической, транспортной, до информационно-телекоммуникационной), обеспечение экологической безопасности и сохранение Арктики в качестве зоны мира благодаря развитию международного сотрудничества [1].

Рассматривая международное сотрудничество по вопросам Арктики важно отметить Арктический совет (АС), созданный в 1996 году, который способствует сотрудничеству, координации и взаимодействию между арктическими государствами, общинами коренных народов и другими жителями Арктики. [2]. Миссия Совета заключается в содействии устойчивому развитию и охране окружающей среды в Арктике с уделением особого внимания здоровью и благополучию коренных народов. Организация включает пять арктических государств (Россия, Дания, Норвегия, США и Канада), три приарктических (Исландия, Финляндия, Швеция) и шесть организаций коренных народов в качестве постоянных участников. Для реализации приоритетных направлений АС создал шесть рабочих групп, которые уделяют особое внимание конкретным областям, представляющим интерес в Арктике: Программа действий по загрязнителям в Арктике (АСАР), Программа мониторинга и оценки Арктики (АМАР), Рабочая группа по сохранению арктической флоры и фауны (САФФ), Рабочая группа по предотвращению чрезвычайных ситуаций, обеспечению готовности и реагированию на них (ЕPPR), Рабочая группа по защите арктической морской среды (РАМЕ) и Рабочая группа по устойчивому развитию (SDWG) . Эти рабочие группы

разрабатывают проекты, инициативы и доклады, которые способствуют достижению целей Совета по содействию устойчивому развитию и охране окружающей среды в Арктике.

Северный совет является региональной межправительственной организацией, созданной в 1993 году для содействия сотрудничеству между восемью северными регионами Финляндией, Норвегией, Швецией, Данией, Россией, Исландией, Гренландией и Фарерскими островами [3]. Миссия Совета заключается в решении общих проблем и возможностей, стоящих перед северными регионами, включая социально-экономическое развитие, охрану окружающей среды и сохранение культуры. Работа Северного совета осуществляется через различные рабочие группы, в том числе сосредоточенные на устойчивом развитии, здравоохранении, культуре, образовании и транспорте.

Анализируя деятельность стран и организаций в вопросах Арктики, выделили приоритетные направления развития Арктики, а также профессии необходимые для их реализации:

1. Изменение климата оказывает значительное влияние на Арктический регион, где температура повышается в два раза быстрее, чем в среднем по миру. По мере таяния арктических льдов уровень моря повышается, и регион сталкивается с более экстремальными погодными условиями, включая увеличение частоты и серьезности штормов, наводнений и лесных пожаров. В целом, изменение климата в Арктике — сложная и многогранная проблема, для решения которой требуется широкий круг специалистов:

- Климатологи изучают причины и последствия изменения климата, а также прогнозируют будущие последствия.
- Экологи изучают влияние изменения климата на арктические экосистемы, включая изменения в популяциях диких животных, растительности и морском льду.
- Инженеры необходимы для проектирования и строительства инфраструктуры, способной противостоять последствиям изменения климата в Арктике, таким как повышение уровня моря и более частые и сильные штормы.

2. Арктика является домом для широкого спектра видов растений и животных, многие из которых адаптированы к экстремальным погодным условиям региона. Однако изменение климата быстро изменяет окружающую среду Арктики, подвергая эти виды риску. Поэтому вторым приоритетным направлением в деятельности международных организаций выступает биоразнообразие Арктики, его исследованием занимаются:

- Биологи, изучающие флору и фауну Арктического региона, чтобы понять их экологию, поведение и эволюционную историю. Они также отслеживают изменения в популяциях, распределении и использовании среды обитания, вызванные изменением климата.
- Экологи, изучающие воздействие изменения климата на окружающую среду Арктики, включая изменения в вечной мерзлоте, морском льду и подкислении океана.
- Преподаватели и специалисты по связям с общественностью играют решающую роль в повышении осведомленности о важности биоразнообразия Арктики и угрозах, с которыми оно сталкивается в результате изменения климата. Они также работают над привлечением сообществ и отдельных лиц к природоохранным усилиям и выступают за изменения в политике, которые могут помочь защитить арктические экосистемы.

3. Необходимо предотвращение загрязнения Арктики, поскольку регион особенно уязвим к экологическому ущербу из-за своей уникальной и хрупкой экосистемы:

- Инженеры-экологи работают над предотвращением загрязнения в Арктике, проектируя и внедряя системы управления отходами, водоочистные сооружения и другую инфраструктуру, которая может смягчить воздействие человеческой деятельности на окружающую среду.

- Ученые-экологи изучают воздействие загрязняющих веществ на окружающую среду Арктики, включая качество воздуха и воды, и разрабатывают стратегии по смягчению последствий загрязнения для региона.
- Юристы обеспечивают соблюдение законов и нормативных актов для предотвращения загрязнения в Арктике. Они работают с заинтересованными сторонами отрасли и другими профессионалами над разработкой стратегий, направленных на минимизацию воздействия человеческой деятельности на окружающую среду Арктики.

4. Коренные народы Арктики, включая инуитов, саами, ненцев и других, живут в регионе на протяжении тысячелетий и выработали уникальные культурные, социальные и экономические практики, тесно связанные с окружающей средой. Однако эти сообщества сталкиваются с целым рядом проблем, связанных с изменением климата, деградацией окружающей среды и экономическим развитием. Профессии, связанные с решением этих проблем:

- Социальные работники и общественные организаторы работают с общинами коренных народов в Арктике для решения целого ряда вопросов, связанных со здравоохранением, образованием, занятостью и сохранением культуры. Они также работают над устранением социальных и экономических последствий изменения климата и деградации окружающей среды для этих сообществ.
- Антропологи и специалисты по культурному наследию изучают культуру, историю и традиции коренных народов Арктики и работают над сохранением их культурного наследия. Они также работают с сообществами над разработкой стратегий сохранения культурной самобытности и поощрения культурного обмена.
- Юристы и защитники прав человека работают над защитой прав коренных народов в Арктике и выступают за политику, поддерживающую их самоопределение и сохранение культуры. Они также работают над решением вопросов, связанных с правами на землю и ресурсы, и над обеспечением участия общин коренных народов в принятии решений, которые влияют на их жизнь и средства к существованию.
- Педагоги и специалисты по аутич-работе работают над повышением осведомленности об уникальной культуре, истории и традициях коренных народов Арктики. Они также работают над продвижением межкультурного взаимопонимания и налаживанием партнерских отношений между общинами коренных народов и другими заинтересованными сторонами в регионе.

5. Устойчивое развитие Арктики является важнейшим приоритетом, поскольку регион сталкивается с беспрецедентными экологическими, экономическими и социальными вызовами. Устойчивое развитие требует сбалансирования экономического роста с охраной окружающей среды и социальной справедливостью, а также обеспечения того, чтобы развитие приносило пользу местным сообществам:

- Ученые и инженеры-экологи работают над разработкой технологий и стратегий для управления воздействием человеческой деятельности на окружающую среду Арктики. Они также работают над продвижением использования возобновляемых источников энергии и других устойчивых методов, которые сокращают выбросы парниковых газов и защищают биоразнообразие.
- Экономисты и предприниматели работают над разработкой устойчивых экономических моделей для Арктики, которые обеспечивают баланс между экономическим ростом, охраной окружающей среды и социальной справедливостью. Они также работают над продвижением устойчивых методов ведения бизнеса, которые поддерживают местные сообщества и уважают культурное разнообразие.

- Логисты - таяние арктических льдов позволяет разрабатывать новые судоходные маршруты, которые могли бы значительно сократить время и стоимость доставки товаров между Европой и Азией.

На основе анализа перечней востребованных профессий можно сделать вывод, что в перечень приоритетных вошли профессии из разных отраслей экономики, в том числе и межотраслевые.

Политическое значение Арктики в России неуклонно росло с конца 2000-х годов, что находит отражение в различных стратегиях. Многие научные деятели, озабоченные проблемами Арктики, не раз упоминали в своих выступлениях, что завтрашний день нашей страны зависит от планов, действий, достижений сегодняшнего дня. Разрабатываются определенные стратегии развития Арктики, заключаются соглашения международного уровня и это все говорит о том, что это действительно актуально на сегодняшний день. И именно движущей силой для реализации всех проектов является молодежь, подрастающее поколение. «Стране нужны их молодые таланты, мужество, энергия и, конечно, патриотизм»- отметил парламентарий. В обеспечении развития арктических регионов ставка делается прежде всего на молодёжь как наиболее мобильную, креативную, амбициозную социальную группу, готовую к преодолению трудностей, освоению нового и ориентированную на перспективный карьерный рост. С уверенностью можно предполагать, что именно они смогут внести достойный вклад в развитие страны и решении ее проблем, и в частности в развитие Арктики. Ведь чувство сопричастности граждан к истории и культуре России нужно воспитывать смолоду. Только воспитание граждан, любящих свою Родину и семью, имеющих активную жизненную позицию сделает наше государство сильным и сохранит его величие для потомков. И эту роль берет на себя система образования.

Со школьных лет начинается формироваться нравственное воспитание, включающее в себя воспитание любви к близким людям, к школе, к родному дому, к родной стране. И тут мы можем говорить и о патриотизме, как одной из наиболее значимых непреходящих ценностей, фундаментом. Целью образования является создание условий для социальной адаптации учащихся через работу в школе, культивируя интерес у детей и подростков к отечественной истории и культуре, формируя у подрастающего поколения духовность, нравственность, готовность и способность отдать силы и энергию на благо общества и государства.

В школе ребенок проходит долгий путь из дошкольного детства до полноценной зрелости. Именно поэтому перед школой стоят непростые задачи, стать не просто учебным заведением, но полноценным социальным институтом, воспитывающим нравственную гармоничную личность. Это необходимое условие для воспитания достойных членов нашего будущего общества. В школе используются такие инновационные формы работы как: поисковая работа, участие в социальных проектах, школьных конференциях, экскурсионная деятельность с посещением музеев, выставок, встречи с интересными людьми, просмотр видеofilмов. В ходе таких мероприятий у школьника пробуждается познавательный интерес, формируется мотивация для изучения различных вопросов своей Родины. Цель патриотического воспитания – развитие в личности высокой социальной активности. А такой вопрос, как освоение Арктики, не может остаться без внимания учащихся. Школа же в данном случае, как важный социальный институт, который играет неотъемлемую роль в патриотическом воспитании, становлении личности, так же влияет и на самоопределение школьника.

В современном стремительно развивающемся и изменяющемся обществе профессиональное самоопределение школьников стоит на первом плане. Успехи нынешних школьников определяют будущее. Существует огромное количество возможностей для современных учеников, для того, чтобы найти свое место в жизни. Старшекласснику необходимо верно оценивать собственные объективные возможности, такие как уровень учебной подготовки, состояние здоровья, материальные условия семьи и собственные способности, интерес и склонности. И для этого школе, в рамках профориентационной работы, необходимо показать всю картину рынка труда России, необходимо продемонстрировать новые и развивающиеся направления, актуальны и востребованные на сегодняшний день. Обществу требуется деловой, инициативный, предприимчивый человек, способный реализовать себя в профессиональной сфере и межличностных отношениях. Важной задачей на сегодняшний день является формирование у населения культуры использования объективных данных о востребованных профессиях для принятия обоснованных решений по построению личной профессиональной карьеры на территории Арктической зоны России.

### Список литературы

1. Павленко В.И., Меламед И.И., Куценко С.Ю., Тутыгин А.Г., Авдеев М.А., Чижова Л.А. Основные принципы сбалансированного социально-экономического развития территорий Арктической зоны Российской Федерации // Власть. 2017. Т. 25. No 6. С. 7–17.
2. Арктический совет URL: <https://arctic-council.org/en/news/arctic-council-welcomes-new-acap-chair/> (дата обращения: 11.03.2023).
3. Северный совет URL: <https://www.northernforum.org/en/news/322-northern-forum-s-2021-2023-presidency-passed-to-sakha-yakutia-republic> (дата обращения: 11.03.2023).
1. Pavlenko V.I., Melamed I.I., Kutsenko S.Yu., Tutygin A.G., Avdeev M.A., Chizhova L.A. Basic principles of balanced socio-economic development of the territories of the Arctic zone of the Russian Federation // Power. 2017. Т. 25. no 6. С. 7-17.
2. Arctic Council URL: <https://arctic-council.org/en/news/arctic-council-welcomes-new-acap-chair/> (date of access: 11.03.2023).
3. Nordic Council URL: <https://www.northernforum.org/en/news/322-northern-forum-s-2021-2023-presidency-passed-to-sakha-yakutia-republic> (date of access: 11.03.2023).

## ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ АРКТИКИ

Новикова А.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург  
*novikovaac9999@mail.ru*

*Аннотация.* Выполнена оценка ветроэнергетического потенциала Арктического региона на основе аэрологических данных со станций остров Диксон и Тикси для различных сезонов. Показана зависимость вырабатываемой мощности от высоты установки ветроколеса.

*Ключевые слова.* Арктика, альтернативные источники, ветроэнергетика, зондирование атмосферы.

## ASSESSING THE WIND POWER POTENTIAL OF THE ARCTIC TERRITORY

Novikova A.S.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

*Annotation.* The assessment of the wind energy potential of the Arctic region was carried out on the basis of aerological data from the Dixon Island and Tiksi stations for various seasons. The dependence of the generated power on the height of the wind wheel installation is shown.

*Keywords.* Arctic, alternative sources, wind energy, atmospheric sounding.

Ветер относят к возобновляемым, или альтернативным, источникам энергии. Его преимущества очевидны: его не надо «добывать». Общие запасы энергии ветра в мире оценены в 170 трлн кВт·ч, или 170 тыс. тераватт-часов (ТВт·ч), в год, что в восемь раз превышает нынешнее мировое потребление электроэнергии.

Оценку потенциала установки ветроэлектростанций обычно выполняют на основе данных о скорости ветра, измеренных на метеостанции на высоте 10-12 м. Высота же установки ротора турбины ВЭУ зависит от диаметра ветроколеса и обычно составляет не менее 50 м. Данные о значениях скорости ветра на высотах могут быть получены при аэрологическом зондировании. Целью работы является оценка потенциала установки ветроэлектростанции в Арктической части территории России на примере аэрологических станций остров Диксон и Тикси (рисунок 1).

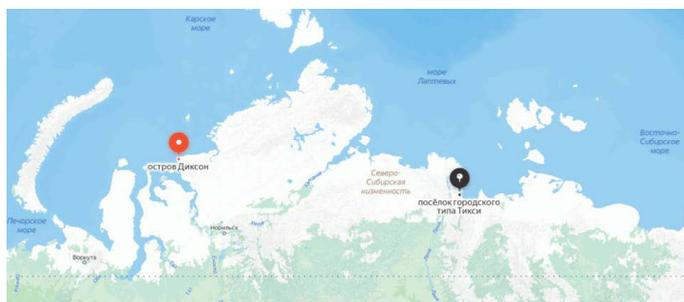


Рисунок 1 – Расположение станций Тикси и остров Диксон

Расчеты выполнены для различных сезонов и высот установки ветроколес. Основу расчетов составили значения скорости ветра за 2018-2021 гг., полученные при аэрологическом зондировании на станциях остров Диксон и Тикси [1]. По выбранным значениям были построены графики средних значений скорости ветра по сезонам, графики зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра и диаметра ветроколеса для высот его установки 50 м и 100 м, вычислено и представлено в виде таблицы количество ветроэнергетических установок в зависимости от диаметра ветроколеса и выбранной площади.

Мощность ВЭУ при заданной скорости ветра и диаметре ветроколеса определяется соотношением:

$$P_{\text{вэу}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot D^2 \cdot C_p \cdot \rho \cdot V^3 \cdot (\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}) \quad (1)$$

где  $P_{\text{вэу}}$  – установленная мощность ВЭУ, Вт;

$D$  – диаметр ветроколеса, м;

$V$  – скорость ветра, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>

$C_p$  – коэффициент использования энергии ветрового потока;

$\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}$  – суммарный КПД механических (редуктор, подшипники, и т.п.) и электрических (генератор, трансформатор и т.п.) элементов силового тракта ВЭУ.

Количество ветроэнергетических установок, которые входят в состав ветроэнергетической системы, определяется в зависимости от типа размещения по выражениям:

а) рядами на одинаковом расстоянии друг от друга:

$$N_{\text{установок}} = \frac{S}{(A \cdot B)D^2} \quad (2)$$

где  $S$  – количество земли, которое отводится для строительства ВЭС;

$(A \cdot B)D^2$  – площадь территории, занимаемая одной ВЭУ, где  $A$  и  $B$  – коэффициенты, показывающие расстояние между ВЭУ в ряду и между рядами в зависимости от диаметра ветроколеса таким образом, чтобы не создавать зон аэродинамического затенения на ВЭС;

б) в шахматном порядке

$$N_{\text{установок}} = \frac{S_0}{S_1} \quad (3)$$

$$S_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (k \cdot D_{\text{ВК}})^2 \quad (4)$$

ВЭУ необходимо располагать на расстоянии  $k$  диаметров ветроколеса друг от друга (обычно  $k=10-12$ ), что бы предотвратить аэродинамическое влияние, которое они оказывают друг на друга [2].

Для анализа скорости ветра были взяты значения за 2018-2021 гг. на аэрологических станциях остров Диксон и Тикси на высоте 50 м и 100 м за срок – 12 часов. На их основе были оценены средние сезонные значения скорости ветра: в январе, апреле, июле и октябре. Графики средних значений скорости ветра по сезонам приведены на рисунке 2.

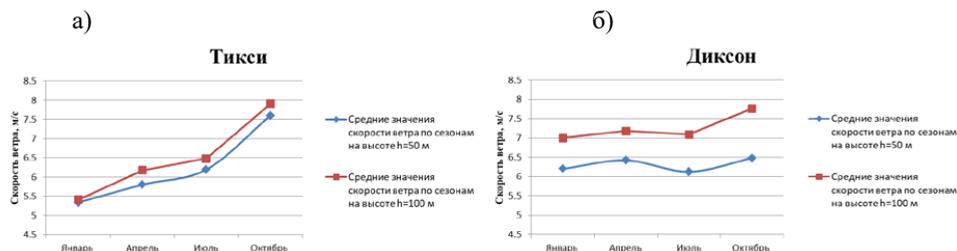


Рисунок 2 – Средние значения скорости ветра на высоте 50 и 100 м в Тикси (а) и Диксоне (б)

Для расчета конкретных значений мощности ВЭУ использованы данные, представленные в таблице 1. Диаметр ветроколеса задавался стандартным для мировой практики значением от 50 до 100 м с шагом 10 м [3].

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Данные
Диаметр ветроколеса – $D$ , м	50–100 м с шагом 10 м
Плотность воздуха – $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,23
Коэффициент использования энергии ветрового потока – $C_p$	0,45
Суммарный КПД механических и электрических элементов силового тракта ВЭУ – $\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}$	0,9
Площадь территории для размещения ветроустановок на суше	100 га, или 1 км <sup>2</sup>

По средним значениям скоростей ветра на двух высотах по формуле (1) рассчитаны мощности ВЭУ. Графики, приведенные на рис. 3, показывают зависимость рассчитанной мощности от диаметра ветроколеса и средней скорости ветра по сезонам на двух станциях.

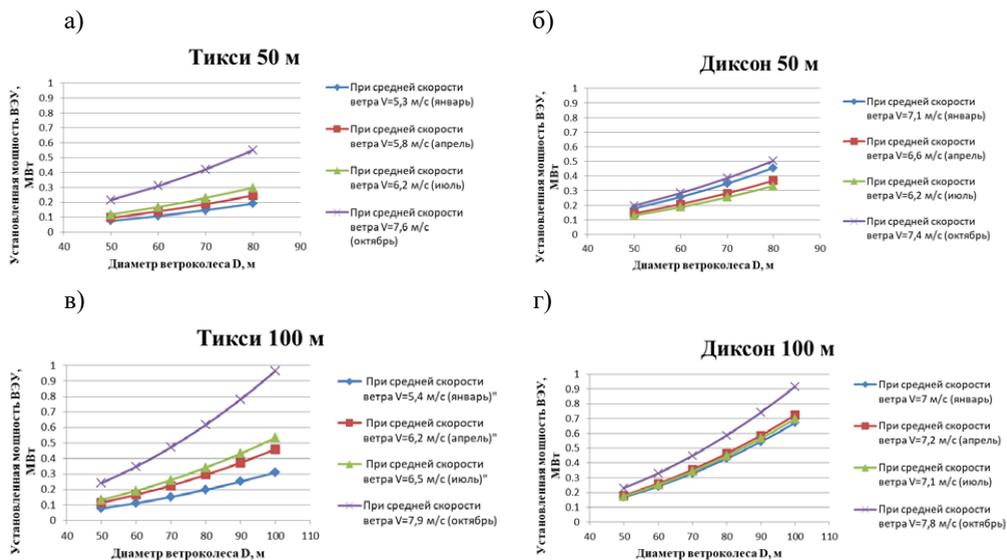


Рисунок 3 – Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра и диаметра ветроколеса на станции а) Тикси на высоте 50 м, б) Диксон на высоте 50 м, в) Тикси на высоте 100 м, г) Диксон на высоте 100 м.

Мощность меняется в зависимости от сезона, в Тикси наименьшая мощность наблюдается зимой, а наибольшая осенью. На острове Диксон наименьшая мощность наблюдается зимой и летом, а наибольшая осенью. Из графиков на рис.3 видно, что при применении ветроколес диаметром от 50 до 100 м и при всем существующем диапазоне скоростей ветра на территории острова Диксон и Тикси мощность одной горизонтально-осевой ветроэнергетической установки (на суше) колеблется в диапазоне от 0,1 до 1 МВт. Наибольшее значение мощности наблюдается в октябре на станции Тикси при диаметре ветроколеса 100 м, установленном на высоту 100 м.

Таблица 2 – Количество ветроэнергетических установок в зависимости от диаметра ветроколеса, которые можно разместить на территории площадью 1 км<sup>2</sup>

D ветроколеса, м	Количество ветроустановок, шт	
	Рядами на одинаковом расстоянии друг от друга	В шахматном порядке
50	4	5
60	3	3
70	2	2
80	2	2
90	1	1
100	1	1

Рассмотрим случай, когда площадку для размещения ВЭУ равна 100 га или 1 км<sup>2</sup>, используемая схема размещения ВЭУ – 10x10 диаметров ветроколеса. В таблице 2 показаны

результаты расчета количества ветроэнергетических установок, которые можно разместить на заданной территории в зависимости от диаметра ветроколеса.

Из таблицы 2 видно, что с увеличением диаметра ветроколеса количество ветроэнергетических установок для размещения на заданной территории уменьшается от пяти до одной.

Использование такого рода установок принципиально важно в регионах Крайнего Севера или Дальнего Востока, где скорость ветра высока и практически полностью отсутствует какая-либо энергетическая инфраструктура.

#### **Список литературы**

1. University of Wyoming – Режим доступа: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
2. Пашиковская Е.Е., Сивеев Т.М., Дубина Д.С., Ильин С.В. Разработка схемы размещения ветряной энергоустановки на площадке ветроэлектростанции. оценка выработки ветроэлектростанции// Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации– 2021. – С. 83 - 85.
3. Мингалеева Р.Д., Бессель В.В., Губкина И.М. Методика оценки суммарной мощности ветроэлектростанции // ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ. – 2014. – № 9. – С. 82 - 86.
4. Носкова Е.В. Оценка ветроэнергетического потенциала на территории забайкальского края // Вестник ЗабГУ. – 2015. – № 7. – С. 12 - 19.

### **УМЕНЬШЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОДВОДНЫХ РОССЫПЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЧОКУРДАХСКОЕ»**

Онищенко М. К., Лигоцкий Д. Н.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург  
*s191069@stud.spmi.ru*

*Аннотация.* Арктическая зона России должна стать стратегической ресурсной базой РФ, однако интенсивная хозяйственная деятельность существенно повлияет на экологическую обстановку данного региона, в том числе на морские экосистемы континентального арктического шельфа. Следовательно, важно разработать такие технологии добычи, которые смогут снизить негативное воздействие на экосистемы морского дна. В работе рассмотрены технологии разработки шельфовых месторождений твердых полезных ископаемых на примере россыпи «Чокурдахская», и было обосновано целесообразное использование средств гидромеханизации для уменьшения негативного воздействия на морские экосистемы Арктики.

*Ключевые слова.* Арктика; горное дело, подводная разработка; добыча на шельфе; экология

### **REDUCING THE NEGATIVE IMPACT ON THE ECOSYSTEMS OF THE CONTINENTAL ARTIC SHELF DURING THE DEVELOPMENT OF UNDERWATER PLACERS ON THE EXAMPLE OF THE DEVELOPMENT OF THE CHOKURDAKHSKOYE FIELD**

Onishchenko M.K., Ligotsky D.N.

Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg

*Annotation.* The Arctic zone of Russia should become the strategic resource base of the Russian Federation, however, intensive economic activity will significantly affect the ecological situation of this region, including the marine ecosystems of the continental Arctic shelf. Therefore, it's important to develop mining technologies that can reduce the negative impact on the ecosystems of the seabed. The paper considers technologies for the development of offshore deposits of solid minerals on the example of the

"Chokurdakhsкая" placer, and justified the expedient use of means of hydro-mechanization to reduce the negative impact on the marine ecosystems of the Arctic.

*Keywords.* The Arctic region; mining; underwater mining; offshore mining; ecology

Арктическая зона России должна стать стратегической ресурсной базой РФ, обеспечивающей решение социально-экономических задач страны [6]. Однако интенсивная хозяйственная деятельность существенно повлияет на экологическую обстановку данного региона, в том числе на морские экосистемы континентального арктического шельфа, который чрезвычайно богат необходимыми для нашей страны полезными ископаемыми.

Многолетний опыт разработки морских месторождений подтверждает, что подводная разработка более доступна, экономична и экологически оправдана в сравнении с материковой разработкой, поскольку исключение из технологического цикла некоторых технических операций снижает себестоимость добываемого минерального сырья и загрязнение окружающей среды [2]. Однако стоит отметить, что техногенное воздействие на океан при освоении полезных ископаемых на сегодняшний день остается недостаточно или плохо изученным [3].

По мнению авторов, в настоящее время большинство существующих технологий, применяемых при эксплуатации морских месторождений, являются экологически несостоятельными. Подтверждение сказанному мы найдем, если посмотрим на опыт эксплуатации морских нефтяных месторождений, при которых ежегодно сбрасывается в воду большое количество нефти [2,3]. Поэтому стратегически важно разработать такие технологии добычи, которые смогут снизить негативное воздействие на экосистемы морского дна [3].

Основной целью данной работы было рассмотрение технологий разработки шельфовых месторождений твердых полезных ископаемых на примере россыпи «Чокурдахская», расположенной в акватории моря Лаптевых, и обоснование целесообразного использования средств гидромеханизации для уменьшения негативного воздействия на морские экосистемы Арктики.

По данным Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых месторождение «Чокурдахское» расположено в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия). В районе известен ряд месторождений проявлений олова и золота [5].

Источником касситерита для подводной россыпи явилось Чокурдахское оловорудное месторождение, жилы которого выходят в зону пляжа и до настоящего времени размываются и пополняют россыпь [5]. Протяженность россыпи вблизи берега составляет 2,4 км, ширина до 520-850 м, мощность залежи увеличивается в сторону моря от 2 до 80 м. Распределение полезного компонента довольно равномерное, в среднем содержание составляет  $737 \text{ г/м}^3$  [5]. По данным Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых степень изученности месторождения позволила выполнить подсчет запасов по категориям В и С<sub>1</sub> на площади 19,3 га (рисунок 1).

Имеющиеся данные ФГУП «ВНИИОкеангеологии» по исследованию моря Лаптевых позволяют говорить о незначительном уровне загрязнения морской среды [1]. Ученые характеризуют экосистему данной области шельфа как область с низкой устойчивостью к потенциальным внешним воздействиям, так как она практически не тронута хозяйственной деятельностью человека [1]. Поэтому при разработке месторождения «Чокурдахское» следует оценивать потенциальный вред подводной разработки на морские экосистемы и принимать адекватные меры по обеспечению экологической безопасности.



Рисунок 1 – Зона расположения россыпи «Чокурдахская» в акватории Ванькиной губы.  
 Взято с официального сайта РФГФ. [Электронный ресурс. URL:  
<https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=14750>] (дата обращения 01.03.2023)

Рассмотрим некоторые технологические схемы добычи, которые теоретически могут применяться для разработки данного месторождения:

1. Технологическая схема разработки месторождения «Чокурдахское» с предварительным глубоким водоупонижением.

Первая технологическая схема предполагает осушение прибрежной зоны для дальнейшего извлечения полезного ископаемого. Для ограничения территории осушения будет производиться намыв вскрышных пород в плотину. Разработка месторождения будет вестись 5 уступами с одновременной выемкой пустых пород на двух горизонтах. Нужно будет установить насосные станции для предотвращения возможного затопления. Первичное обогащение руды будет происходить в приемных бункерах с использованием гравитационного метода обогащения (рисунок 2).

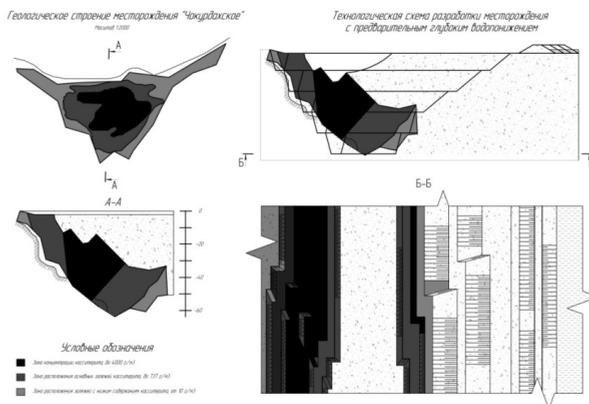


Рисунок 2 – Технологическая схема разработки месторождения «Чокурдахское» с предварительным глубоким водоупонижением. Взято из материалов авторов.

При разработке месторождения данным способом морская экосистема в пределах границ карьера уничтожается и не подлежит восстановлению до окончания горных работ.

Таблица 1 – Примерное количество оборудования для разработки Чокурдахского россыпного месторождения с предварительным глубоким водопонижением. Взято из материалов авторов

Оборудование	Кол-во оборудования
CSD Гидромех 8000 DES	3
CAT 6020B	3
БЕЛАЗ-75570	8
CAT D6R	5

## 2. Технологическая схема разработки месторождения «Чокурдахское» с применением землесосных снарядов

Вторая технологическая схема предполагает разработку полезного ископаемого землесосным снарядом. По мере отработки месторождения уровень воды будет постепенно опускаться, что допускает использование земснаряда и на глубине 60 м. Вскрышные породы складированы в теле дамбы. Нужно установить насосные станции для обеспечения постоянного объема воды в карьере. Первичное обогащение оловянной руды в данном способе будет происходить при доставке пульпы в обогатительной установке с использованием гравитационного метода (рисунок 3).

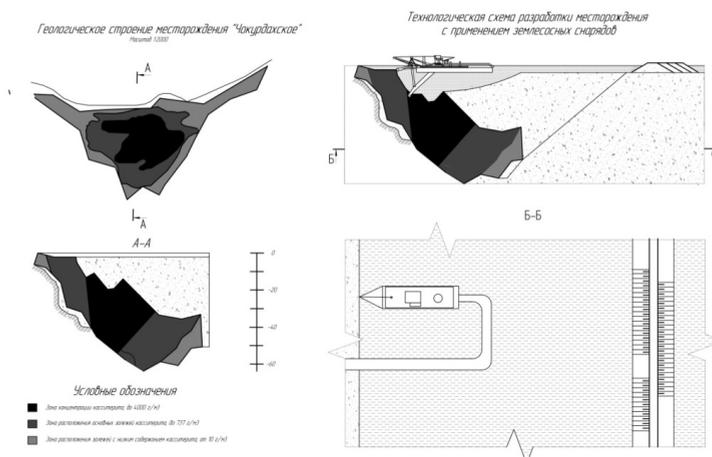


Рисунок 3 – Технологическая схема разработки месторождения «Чокурдахское» с применением землесосных снарядов. Взято из материалов авторов.

При использовании землесосных снарядов происходит перенос замутненных слоев донной воды на поверхность, что может вызвать возрастание биологической продуктивности верхних слоев воды, привести к их замутнению и активизации организмов, бездействовавших в донных условиях, что может вызвать замедление способности морских экосистем к самовосстановлению [3].

Таблица 2 – Примерное количество оборудования для разработки Чокурдахского россыпного месторождения с применением землесосных снарядов. Взято из материалов авторов

Оборудование	Кол-во оборудования
CSD Гидромех 8000 DES	3
БЕЛАЗ-75570	5
CAT D6R	2

Учитывая все вышесказанное, логично предполагать, что себестоимость добываемого полезного ископаемого будет меньше в методе с наименьшими затратами на оборудование. Следовательно, при использовании средств гидромеханизации выгоднее разрабатывать россыпное месторождение «Чокурдахское». Кроме того, при использовании средств гидромеханизации мы действительно снижаем негативное влияние на окружающую среду, тем самым минимизируем риск уничтожения хрупких арктических систем в пределах границ ведения горных работ.

Для освоения стратегических месторождений твердых полезных ископаемых в Арктической зоне, в числе которых присутствует месторождение «Чокурдахское» [4], необходимо развивать технологии подводной добычи. Новые технологии могут поспособствовать развитию промышленно-экономического потенциала России. Однако при освоении минеральных ресурсов арктического шельфа необходимо помнить, что океан чрезвычайно подвижная экологическая система, поэтому главный критерий эффективности технологий разработки будет не минимальная стоимость добычи и переработки полезного ископаемого, отвечающая сиюминутным интересам, а защита окружающей среды от негативного влияния промышленности.

### Список литературы

1. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.5. Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря / ред. И.С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребецкий. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 468 с.
2. Добрецов В.Б., Роголев В.А. Основные вопросы освоения минеральных ресурсов Мирового океана – СПб: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2003. – 524 с.
3. Добрецов В. Б. Экология при подводной разработке полезных ископаемых : Учеб. пособие / В. Б. Добрецов – Л: Изд-во Ленинградского горного ин-та, 1990 – 93 с.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22.12.2018 года №2914-р «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года». – Правительство Российской Федерации, 2018.
5. Россыпные месторождения Ляховского оловоносного района / под ред. И. С. Грамберга, В. И. Ушакова – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология», 2001. – 158 с.
6. Указ Президента РФ от 26.10.2020 №645 «Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». – Правительство Российской Федерации, 2020.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОЩАДИ ЛЬДА БЕЛОГО МОРЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СУРОВОСТИ ЗИМЫ

Романюкина С.А., Подрезова Н.А.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург  
*osksfia2001@gmail.com*

*Аннотация:* Изучение влияния суровости зимы на площадь льда на примере акватории Белого моря.  
*Ключевые слова:* ледовитость, Белое море, Арктика, классификация зим.

### THE INVESTIGATION OF THE ICE FIELD OF THE WHITE SEA DEPENDING ON THE INTENSITY OF THE WINTER SEASON

Romanyukina S. A., Podrezova N. A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*Annotation.* The study of the influence of winter severity on the ice area on the example of the White Sea.

*Keywords.* arctic, White Sea, Arctic, classification of winters.

Белое море наиболее обособленное внутреннее море Северного Ледовитого океана. Соединяется с Баренцевым морем на севере через узкий пролив – Горло. Лед в Белом море наблюдается обычно с ноября по май, однако бывают годы, когда он появляется в начале октября и исчезает в первой половине июля. В редкие годы весь лед тает на месте; в большинстве случаев он выносится в Баренцево море [1].

В работе исследуется межгодовая, а также сезонная изменчивость площади льда Белого моря в зависимости от суровости зимы. Исходными данными послужили среднемесячные значения площади льда Белого моря с 1978 по 2021 годам [2], а также ежедневные значения температуры атмосферы г. Архангельска с 1885 по 2021 года (Специализированные массивы климатических данных) для расчета суммы градусо-дней мороза (СГДМ), а также разделения зим по суровостям.

Кривые среднегодовой ледовитости Белого моря, а также СГДМ г. Архангельска показывают отрицательные тренды (рисунок 1). Максимальная ледовитость наблюдается зимой 1984/85 года и составляет 570 км<sup>2</sup>. Для этой же зимы соответствует и максимальное число СГДМ равное 2260. Минимальная ледовитость наблюдается зимой 2017/18 года и составляет 210 км<sup>2</sup>, что соответствует 1138 СГДМ. Минимальное же значение СГДМ наблюдается зимой 2019/20 года и составляет всего 713. Также отметим тот факт, что тренд ледовитости снижается гораздо сильнее тренда СГДМ.

Для анализа изменчивости СГДМ г. Архангельска было выбрано 3 зимы – суровая (1984/85), умеренная (1980/81) и мягкая (2019/20). Графики СГДМ для всех зим представлены на рисунке 2. С сентября по декабрь между умеренной и суровой зимами не наблюдается больших различий. Но уже в январе в суровую зиму СГДМ почти достигает значения 800, в то время как в умеренную зиму значения колеблются около 300 СГДМ. Февраль в суровую зиму показывает значения в 630 СГДМ, что говорит о продолжительных морозах в течении зимы. В апреле-мае значения во всех зимах не превышают 100 СГДМ. Максимум в мягкую зиму наблюдается в январе и составляет 220 СГДМ. Отметим, что в умеренную зиму с ноября по март не наблюдается пиков и все значения СГДМ находятся в пределах 300.

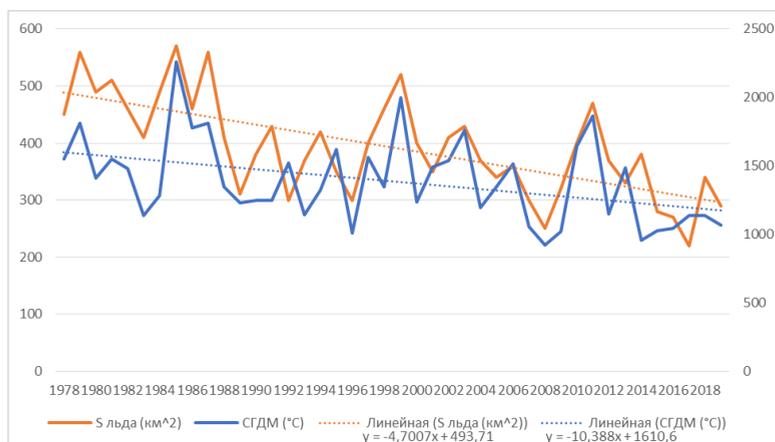


Рисунок 1 – Среднегодовая изменчивость площади льда Белого моря и СГДМ г. Архангельск

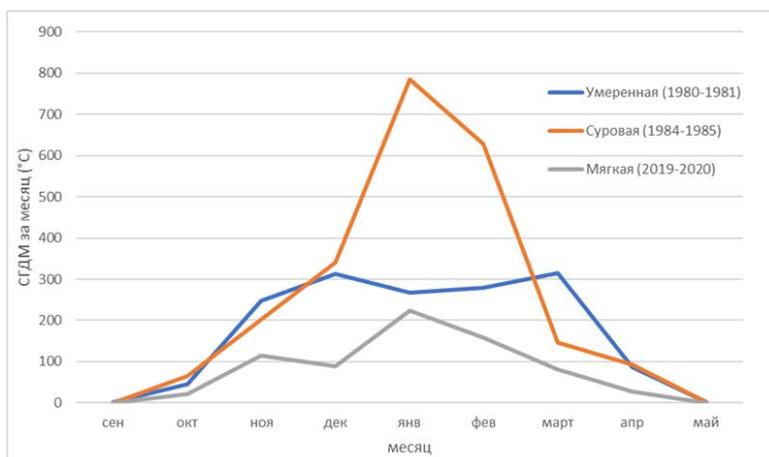


Рисунок 2 – СГДМ в суровую, умеренную и мягкую зимы

В результате проведенного исследования, выделили трендовые компоненты, которые показывают сокращение льда Белого моря, а также уменьшение СГДМ г. Архангельск. Все зимы с 1885 – 2022 гг. в данной акватории можно разделить на 3 группы: мягкие (713 – 1293 СГДМ), умеренные (1294 – 1697 СГДМ) и суровые (1698 – 2288 СГДМ). За последние 20 лет наблюдалось 3 суровые зимы, 11 мягких и 6 умеренных.

#### Список литературы

1. Ледовый режим в Белом море // <http://barenzevo.arktifiksh.com/index.php/ostrova-barentseva-morya/427-ledovyy-rezhim-belogo-morya?ysclid=17w36w6u0922175473>
2. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт [сайт]. URL: <https://www.aari.ru/> (дата обращения: 25 сентября 2022).

