

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
БЕЛОРУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



МАТЕРИАЛЫ I БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО КОНГРЕССА

**К 90-ЛЕТИЮ ФАКУЛЬТЕТА ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
И 70-ЛЕТИЮ БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**

Минск, 8–13 апреля 2024 г.

В семи частях

Часть 1

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2024

ISBN 978-985-881-573-8 (ч. 1)
ISBN 978-985-881-572-1

© БГУ, 2024

УДК 551.579(06)
ББК 26.23я431

Редакционная коллегия:

кандидат географических наук, доцент *Е. Г. Кольмакова* (гл. ред.);
кандидат географических наук, доцент *Н. В. Гагина*;
кандидат географических наук, доцент *Ю. А. Гледко*;
кандидат географических наук, доцент *А. А. Карпиченко*;
кандидат геолого-минералогических наук, доцент *О. В. Лукашёв*;
кандидат географических наук, доцент *Е. В. Матюшевская*;
кандидат географических наук *Л. О. Сушкевич*;
кандидат географических наук, доцент *А. А. Топаз*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань*;
Т. С. Юдчиц (отв. секретарь)

Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-573-8.

В рамках международного научного форума «I Белорусский географический конгресс» рассмотрены актуальные исследования в области гидрологии, метеорологии, климатологии, лимнологии и гидрографии. Дана оценка климатических рисков, обсуждены вопросы физики атмосферы, изменения климата и другие современные гидрометеорологические проблемы.

Минимальные системные требования:

PC, Pentium 4 или выше; RAM 1 Гб; Windows XP/7/10;
Adobe Acrobat

Оригинал-макет подготовлен в программе Microsoft Word

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Т. С. Юдчиц*

Подписано к использованию 03.04.2024. Объем 14,42 МБ

Белорусский государственный университет.
Управление редакционно-издательской работы.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.
Телефон: (017) 259-70-70.
e-mail: urir@bsu.by, <http://elib.bsu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Акселевич В. И., Мазуров Г. И.</i> Геологические и гидрометеорологические условия окружающей среды и экологические проблемы, создаваемые в ней большими городами и мегаполисами.....	8
<i>Астанина Ю. В.</i> Оценка динамики будущей температуры воздуха июля на территории Кемеровской области.....	13
<i>Базова М. М., Моисеенко Т. И.</i> Особенности эвтрофирования арктических озер вследствие потепления климата.....	19
<i>Банцев Д. В., Овсепян А. А., Козачек А. В., Чихачев К. Б.</i> Определение вклада ледников в питание р. Талдура (Центральный Алтай) на основе изотопных индикаторов.....	25
<i>Батраченко Е. А.</i> Проектирование экологического каркаса селитебных территорий	30
<i>Бережкова Е. С., Слесарев П. А.</i> Оценка ветроэнергетического потенциала на территории Беларуси.....	34
<i>Букатов А. А., Павленко Е. А., Соловей Н. М.</i> Влияние речного стока на плотностную стратификацию арктических морей.....	38
<i>Буряк Ж. А.</i> Моделирование эрозионно-аккумулятивных процессов для оценки состояния компонентов бассейновой системы малой реки.....	43
<i>Буяков И. В., Данилович И. С.</i> Современные особенности распространения сильного ветра и смерчей на территории Беларуси.....	48
<i>Винер Э.Д.</i> Воздействие североатлантических циклонов на жизнедеятельность человека.....	54
<i>Волчек А. А.</i> Асинхронность в колебаниях стока рек Беларуси.....	59
<i>Волчек А. А., Зубрицкая Т. Е.</i> Оценка колебаний водопотребления в Белорусском Полесье.....	65
<i>Волчек А. А., Розумец И. Н.</i> Оценка стока взвешенных наносов рек Беларуси при отсутствии данных наблюдений.....	70
<i>Волчек А. А., Сидак С. В., Парфомук С. И.</i> Выявление скрытых периодических составляющих в гидрологических рядах.....	76
<i>Волчек А. А., Усс Н. В.</i> К вопросу разработки интерактивной карты водных объектов Беларуси.....	81
<i>Волчек А. А., Шпока Д. А.</i> Пространственно-временные колебания минимальных уровней воды периода открытого русла рек Белорусского Полесья.....	86
<i>Вязилов Е. Д.</i> Время для адаптации к изменениям климата пришло.....	91
<i>Вязилова Н. А., Вязилова А. Е.</i> О климатологии циклонов Баренцева моря.....	96

<i>Гледко Ю. А., Лузгина Е. А.</i> Гроза как опасное метеорологическое явление для авиации.....	102
<i>Гледко Ю. А., Небылинец А. М.</i> Оценка климатической уязвимости как компонент планирования мер по адаптации к изменению климата.....	107
<i>Гледко Ю. А., Чернякова И. М.</i> К вопросу оптимального построения сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь.....	112
<i>Головнева Ж. В.</i> Проблемы оптимизации системы мониторинга поверхностных и подземных вод (на примере Витебской области)	117
<i>Граховский Г. Н., Никитенко-Валиахметов М. Р.</i> Многолетние тенденции повторяемости волн тепла и холода на севере Европы.....	123
<i>Граховский Г. Н.; Рябчиков М. В.</i> Влияние температуры воздуха и осадков на лавиноопасность района Красной Поляны.....	138
<i>Гречаник А. В., Шелест Т. А.</i> Изменение климатических норм скорости ветра в Беларуси.....	145
<i>Гречушников М. Г., Ломова Д. В., Ломов В. А.</i> Особенности формирования удельного потока метана с водохранилищ разной проточности.....	149
<i>Грицук Н. П., Лопух П. С.</i> Перспективы эволюции развития лимносистемы Лукомльского озера.....	155
<i>Давыденко О. В., Бурак А. Е.</i> Изменения продолжительности отопительного сезона на территории Республики Беларусь.....	162
<i>Давыденко О. В., Прусаков А. А.</i> Пространственно-временная неоднородность влияния метеорологических условий и почвенного плодородия на урожайность зерновых культур в Республике Беларусь.....	167
<i>Данилович И. С., Тарасевич И. В., Квач Е. Г., Гледко Ю. А.</i> Региональные тенденции экстремумов стока рек Беларуси.....	173
<i>Добровольский С. Г., Юшков В. П., Соломонова И. В.</i> Изменение климатических параметров глобального гидрологического цикла.....	178
<i>Дорожко Н. В.</i> Анализ метеорологической ситуации при прохождении активного циклона на территории Беларуси.....	183
<i>Егоркина С. С., Китаев А. Б.</i> Инженерно-гидрологические изыскания при реконструкции берегозащитных сооружений в городе Осе Пермского края.....	188
<i>Жмодиков А. М., Шлендер Т. В.</i> Отклик параметров нижней средней атмосферы на ионосферные бури в Южном полушарии.....	193
<i>Жуков И. А., Айбулатов Д. Н.</i> К вопросу об аномальности водного режима малых рек (на примере малых рек бассейна Волги).....	199
<i>Захаров С. Г.</i> Типы антропогенных трансформаций озер Челябинской области.....	205
<i>Иванов Д. Л., Недобега А. П.</i> Проявление жары как опасного метеоявления на территории Белорусского Полесья.....	211

<i>Казанцева А. С.</i> Характеристика водного режима одной из крупных рек Пермского края (Россия).....	218
<i>Какарека С. В., Кухарчик Т. И.</i> Исследование гидрохимического состава снежного покрова и пресных водоемов островов залива Маргерит, Антарктический полуостров.....	225
<i>Калинин В. Г., Шайдулина А. А., Скороход А. С.</i> Об особенностях процесса снеготаяния на водосборе р. Вишеры в 2020 г.....	229
<i>Касушкин Н. А., Кошин А. Ю., Шлендер Т. В.</i> Вариации атмосферных параметров средней и нижней атмосферы Северного полушария во время развития ионосферных бурь.....	234
<i>Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А.</i> Обоснование уточнения элементарных бассейнов методом геоинформационного моделирования (на примере р. Синюхи).....	240
<i>Ковриго П. А.</i> Развитие точного земледелия в Республике Беларусь с учетом микроклиматической неоднородности агроклиматических ресурсов.....	245
<i>Косицкий А. Г., Лукьянова А. Н., Хорошев А. В., Школьный Д. И.</i> Исследование формирования стока малых рек (на примере бассейна р. Заячья Устьянского района Архангельской области).....	253
<i>Костюченко И. В., Данилович И. С.</i> Возможные причины неоднородности скорости ветра на территории Беларуси.....	258
<i>Колесников Р. А., Малыгина Н. С., Черных Д. В.</i> Климатические изменения на территории Ямало-Ненецкого автономного округа: прогноз, риски, адаптация.....	263
<i>Кочин А. В.</i> Влияние орографии и направления преобладающих ветров на распределения осадков в России.....	268
<i>Логинова Е. В.</i> Технология гидроэкологической оценки территории.....	275
<i>Локощенко М. А., Алексеева Л. И., Енукова Е. А., Корнева И. А.</i> Остров тепла Москвы и его климатические характеристики.....	279
<i>Лопух П. С., Гледко Ю. А.</i> Проблемы формирования единой теории эволюционного развития малых водоемов замедленного водообмена (природных и антропогенных гидроэкосистем).....	285
<i>Лопух П. С., Ровдо О. О., Лугом А. Ф.</i> Закономерности трансформации гидрографической сети под влиянием создания водохранилищ и водных мелиораций.....	292
<i>Лукиш М. В.</i> Опасные гидрометеорологические явления холодного периода на территории Минской области в условиях изменяющегося климата.....	297
<i>Макусь А. З., Новик А. А.</i> Оценка экологического состояния озер Ушачской группы.....	302

<i>Махинов А. Н., Махинова А. Ф.</i> Наводнения и их последствия на трансграничных участках рек Амур и Уссури.....	309
<i>Махинова А. Ф., Махинов А. Н.</i> Механизмы концентрирования и условия миграции загрязняющих веществ в реке Амур.....	315
<i>Мельник В. И., Комаровская Е. В., Буяков И. В.</i> Могла ли появиться новая агро-климатическая область в Беларуси в 1930-х гг.....	320
<i>Мирцевич А. О.</i> Анализ долгосрочных показателей ветровой активности метеорологической станции «Красноярск опытное поле».....	325
<i>Нестерова А. О., Волобуева О. В., Соколова А. П.</i> Анализ метеорологических условий для орнитологического обеспечения авиации.....	329
<i>Нестерова А. О., Волобуева О. В., Соколова А. П.</i> Распознавание лесных пожаров с помощью космических снимков.....	335
<i>Новик А. А.</i> Закономерности распространения озер западной периферии Восточно-Европейской равнины.....	341
<i>Осипова Т. Н., Нехуженко Н. А.</i> Влияние изменений климата на растительные сообщества Соловецкого архипелага.....	347
<i>Переведенцев Ю. П., Мирсаева Н. А., Гурьянов В. В.</i> Оценка неблагоприятных метеорологических условий на территории европейской части России с использованием индексов экстремальности.....	352
<i>Пиловец Г. И.</i> Климат Витебской области и его изменение.....	356
<i>Пряхина Г. В., Распутина В. А., Свирепов С. С.</i> Моделирование прорыва озера в результате развития фильтрационного канала.....	361
<i>Пухальская А. М., Киндеев А. Л.</i> Автоматизация расчета коэффициента очистки склонового стока в водоохранных зонах водных объектов Ошмянского района.....	366
<i>Распутина В. А., Пряхина Г. В.</i> Оценка характеристик прорывных паводков, образующихся при прорывах моренных озер, на основе математического моделирования.....	372
<i>Рысин И. И., Григорьев И. И., Петухова Л. Н.</i> Геоэкологические особенности русловых размывов на реках Удмуртии.....	378
<i>Рябый Я. А., Новик А. А.</i> Закономерности формирования максимального стока на реках Беларуси в условиях изменяющегося климата.....	383
<i>Солдатенко С. А.</i> Искусственный интеллект в задачах управления климатическими рисками.....	389
<i>Сумак Е. Н., Капусто В. В.</i> Современная климатология вегетационных условий на территории Беларуси.....	395
<i>Суховило Н. Ю.</i> Тепловой и газовый режим ацидотрофных озер Беларуси.....	399
<i>Фисенко А. О., Волобуева О. В.</i> Исследование условий образования сдвига ветра в международном аэропорту города Мурманска.....	404

<i>Фролов Д. М., Селиверстов Ю. Г., Кошурников А. В., Гагарин В. Е., Николаева Е. С.</i> Изучение снежного покрова на площадке метеообсерватории МГУ зимой 2023/24 г.....	409
<i>Фрумин Г. Т., Негодина Е. С.</i> Обоснование региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах.....	415
<i>Чембарисов Э. И., Хожамуратова Р. Т., Баллиев А. И.</i> О загрязненности озерных экосистем Южного Приаралья.....	419
<i>Шаратунова М. В., Иванов В. В., Юлин А. В.</i> Повторяемость ранних сроков ле-дообразования в Восточно-Сибирском море.....	423
<i>Шлендер Т. В., Ярош Е. А., Бируков М. В.</i> Оценка атмосферного загрязнения го-родов Беларуси по данным спутника SENTINEL-5P.....	428
<i>Эйюбов И. А.</i> Современные изменения стока рек и эффективное использование (на территории Азербайджана).....	434
<i>Рабавя С. А.</i> Варыяцый вертыкальнай кампаненты напружаннасці электрычнага поля і мікрапульсаванні атмасфернага ціску, якія папярэднічаюць навальніцам па дадзеных Цэнтра геафізічнага маніторынгу г. Масквы ІДГ РАН.....	441
<i>Luo Jiluan.</i> Global and regional patterna of water resources formation in China.....	445
<i>Guo Jinhan.</i> China`s climate change characteristics and trend predic-tions.....	449
<i>Makulov J. T.</i> Rainfall rate monitoring and flood warning technology.....	453
<i>Tang Pei.</i> Geographical patterns of water resources distribution (on the example of China).....	458
<i>Yu Zhikun.</i> Climate and hydrological changes in Xinjiang (China) and their impacts.....	462

УДК 551.584.1

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ В НЕЙ БОЛЬШИМИ ГОРОДАМИ И МЕГАПОЛИСАМИ

В. И. Акселевич,¹⁾ Г. И. Мазуров²⁾

¹⁾Санкт-Петербургский университет управления и экономики,
Лермонтовский пр., д.44, литер А, 190020, Санкт-Петербург,
Россия, vaksster@gmail.com; ²⁾Главная геофизическая обсерватория
им. А. И. Воейкова, ул. Карбышева, д.7, 194021, Санкт-Петербург,
Россия, nanmaz@rambler.ru

Рассмотрены проблемы окружающей среды больших городов, определены геологические, гидрометеорологические и экологические особенности, характерные для больших городов. Среди них: загрязнение воздуха, инверсия температуры, влияние большого города на окружающую среду, погодные условия и климат. Обсуждены новые вызовы человечеству, связанные с угрозами перенаселения, экологического коллапса и физикой космического пространства.

Ключевые слова: большие города; цивилизация; влияние на природу; неблагоприятные метеоусловия; перспективы.

GEOLOGICAL AND HYDROMETEOROLOGICAL ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ECOLOGICAL PROBLEMS CREATED BY LARGE CITIES AND MEGAPOLISES

V. I. Akselevich,¹⁾ G. I. Mazurov²⁾

¹⁾St. Petersburg University of Management and Economics, Lermontovsky Prospekt, 44,
letter A, 190020, St. Petersburg, Russia, vaksster@gmail.com;
²⁾Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeykova, st. Karbysheva, 7, 194021, St.
Petersburg, Russia, mailto:vaksster@gmail.com

The environmental problems of large cities are considered, geological, hydrometeorological and environmental features characteristic of large cities are identified. Among them are air pollution, temperature inversion, the impact of a big city on the environment, weather conditions and climate. New challenges to humanity related to the threats of overpopulation, environmental collapse and the physics of outer space were discussed.

Keywords: big cities; civilization; impact on nature; adverse weather conditions; prospects.

Большое количество катастроф, таких как землетрясения, извержения вулканов, цунами, тайфуны, вторжение астероидов, сход лавин, обвалы и некоторые другие возникают под влиянием природных сил, пока неподвластных человечеству. Развитие науки и техники способствовало увеличению количества больших городов (БГ) и появлению мегаполисов. Они, воздействуя на окружающую среду, провоцируют возникновение целого ряда опасных гидрометеорологических и экологических явлений.

Взаимодействие гидрометеорологических условий и экологических явлений наиболее ярко прослеживается на примере формирования инверсий температуры воздуха. Инверсия — это задерживающий слой для выбросов, поступающих в атмосферу, препятствующий распространению этих выбросов вверх, что определяет повышенные концентрации примесей в приземном воздухе. Такие условия Э. Безуглая назвала неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ). Наличие конвекции (турбулентности) при отсутствии инверсий и повышенные скорости ветра она отнесла к благоприятным метеорологическим условиям (БМУ) [1].

Если нижняя граница приподнятой инверсии расположена на высоте более 200 м над источником, то возрастание приземной концентрации существенно только на значительных расстояниях от него. Особенно опасна приподнятая инверсия для низких источников.

Кроме инверсии, в настоящее время можно выделить не менее 16 гео-логических, гидрометеорологических и экологических особенностей окружающей среды вообще, мегаполисов и БГ в частности, которые превращаются для них в проблемы [2]:

- 1) Аэрозольная шапка.
- 2) Остров тепла.
- 3) «Пестрое» альбедо.
- 4) Особенности изменения прозрачности воздуха.
- 5) Загазованность и запыленность, в том числе радиоактивные.
- 6) Ветровой режим.
- 7) Особенности облачного покрова.
- 8) Особенности выпадения атмосферных осадков.
- 9) Радиационный режим.
- 10) Особенности стока.
- 11) Особенности испарения.
- 12) Электромагнитное излучение.
- 13) Повышенный уровень шума.
- 14) Авиационно-метеорологические и биометеорологические аспекты сверхнебоскребов.
- 15) Смерчи, шквалы и тайфуны.
- 16) Опасности стихийных бедствий.

В современных городах проживает около трети населения планеты, а к 2025 г. по прогнозам будет проживать более половины. Появились города с 10-миллионным населением, ожидается формирование городов с 20-25 млн. жителей. Мегаполис воздействует на все компоненты природной среды: атмосферу, растительность, почву, рельеф, электромагнитное и акустическое поля, гидрографическую сеть, режим и химический состав подземных вод, грунты и даже климат. Перепады температур, относительной влажности, солнечной радиации между городами и их окрестностями иногда сопоставимы с перемещением в естественных условиях на 20° широты. Причем, изменение одних природных факторов, как правило, оказывает воздействие на другие. В результате, в городах изменены термическое, электрическое, магнитное и другие физические поля Земли. Воздействие на окружающую среду тем больше, чем крупнее город.

Среди причин возможной гибели Земной цивилизации могут быть столкновение с крупным астероидом, мощные землетрясения и обширные извержения вулканов, приводящие к интенсивным цунами, а также мощное космическое излучение неизученной природы и воздействие других факторов, вызывающих потепление. К причинам земного происхождения можно отнести пандемии, голод, резкое изменение климата, глобальные термоядерные войны, а также последствия сильного экологического загрязнения в планетарном масштабе.

Так, вряд ли удастся ослабить загазованность и запыленность воздуха. Для этого необходимо разработать безотходные технологии (БОТ), что равносильно созданию «вечного двигателя». Даже в природе безотходное преобразование отходов нарушается из-за того, что 50-70 лет назад были изобретены полиэтилен, а период его разложения составляет 100-200 лет. Пока он не разлагается, а только накапливается. Кроме того, ученые выявили, что в литровой бутылке бутилированной воды находится около 240 тысяч микроскопических фрагментов пластика, и вызываемые им проблемы со здоровьем могут быть существенно недооценены. Нанопластик, проникает в кровь человека и неизвестно как он будет удаляться из организма. Кроме того, пластик попадает в пищу и с морепродуктами. В итоге многие органы могут его накапливать.

Малоотходные технологии (МОТ) не смогут полностью решить проблему, поскольку количество производств с такими технологиями будет возрастать. Проблема с электромагнитными излучениями будет обостряться и появятся новые виды излучений в связи с дальнейшим развитием и совершенствованием технологий. Например, при беспроводной передаче некоторых видов энергии.

Проблему супернебоскребов уже начали решать путем создания «умных» домов, которые сами регулируют термический режим за счет использования солнечных батарей. Однако, такие дома имеют 1-2 этажа, что приводит к новой проблеме — увеличению площади городов и сокращению сельскохозяйственных угодий. Последнее может вызвать уменьшение производства продуктов питания и, как следствие, голод. В настоящее время на планете более 2-х млрд. человек живет впроголодь [3], а в дальнейшем их число будет расти.

Многовековой анализ роста численности населения показывает, что в течение прошлого и начале настоящего века произошел демографический взрыв [4]. Это видно из таблицы.

Изменение численности населения за последние 100 тыс. лет

Время	-100 тыс. лет	-10 тыс. лет	0 (н. э.)	1650 г.	1800 г.	1900 г.	1950 г.	1975 г.	2000 г.	2024 г.
Численность (млрд. чел.)	0,001	0,005	0,15	0,5	1	2	3	4	6	8

Получается примерно, как и 200-250 лет назад, «Мальтузианская ловушка», когда население возрастает в геометрической прогрессии, а продукты потребления — в арифметической прогрессии. Это явление впервые замечено и достаточно точно описано Т. Мальтусом в 1798 г. Хотя те же выводы можно встретить в работе Р. Уоллеса (1753 г.) и у А. Смита в книге «Исследование о природе и причинах богатства народов», выпущенной в 1776 г.

В итоге получаются ножницы, когда прирост населения опережает рост количества необходимых продуктов и энергии для его выживания. Может не хватить продуктов питания и воды (что уже наблюдается в жарких странах) для проживания все возрастающего числа жителей планеты. В настоящее время и в предшествующий период возрастание численности населения обеспечивалось использованием накопленных за всю многотысячелетнюю историю биосферы запасов нефти, газа и минеральных удобрений. Запасы их конечны и невозобновимы. Поэтому нынешнее благополучие человечества ограничено во времени. Правда, разрабатываются новые способы получения возобновляемой энергии и это может продлить время существования человечества.

За миллионы лет биосфера выработала закономерность, по которой строго соблюдается [4] зависимость между размерами организмов, потребляющих органическую пищу, и их численностью. Главную роль в потоках вещества и энергии в биосфере играют мелкие организмы, а крупные — вспомогательную. Человек вместе с домашними животными нарушил эту зависимость в сторону увеличения. Однако биосфера является саморегулирующейся системой, и будет стремиться вернуть численность населения к оптимальному уровню. По расчетам некоторых биологов, население Земли должно составлять 200-300 млн. человек, что в 25 раз меньше нынешнего [4].

Эти предположения биологов страшнее расчетов М. В. Горшкова, который говорит о «золотом» миллиарде населения человечества, позволяющем биосфере самовосстанавливаться [5].

Земля, как космический корабль, перемещается в космосе со скоростью 30 км/с, имея на борту 8 млрд. человек, ограниченное количество продуктов, необходимых для обеспечения жизнедеятельности (в том числе воздуха в БГ, который интенсивно загрязняется, запасов воды). Удастся ли за ближайшие 100 лет каким-либо способом пополнить запасы необходимых продуктов? Необходимы энергоносители.

Надо полагать, что человечество придумает выход из возникающего природного, социального, экономического и экологического тупика (кризиса), изобретая новые способы получения энергии, продуктов питания и воды. Например, последнюю можно получать, опресняя и очищая соленую воду из океанов. Однако при этом потребуются новые энергоносители и новые технологии для очистки ее, например, от нанопластика.

Библиографические ссылки

1. Безуглая Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 200 с.
2. Мазуров Г. И., Акселевич В. И., Биденко С. И. Облачные мезонеоднородности и возможности управления их эволюцией в целях создания локальных благоприятных условий погоды. СПб.: Технолит, 2013. 192 с.
3. Дедю И. И. Эколого-энциклопедический словарь. Кишинев: 1991. 191 с.
4. Дольник В. Рок рока. //Знание - сила. № 4, 1988. С.11-16
5. Горшков М. В. Экологический мониторинг. Владивосток: ТГЭУ, 2010. 313 с.

УДК 551.583

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ БУДУЩЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ИЮЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю. В. Астанина

*Российский государственный гидрометеорологический университет,
пр. Махоохтинский, 98, 195196, г. Санкт-Петербург, Россия,
astanina.iu@yandex.ru*

Выбрана наиболее эффективная климатическая модель из 9-ти моделей исторического эксперимента проекта CMIP5. Построены пространственные распределения будущих норм температуры воздуха за июль при сценариях RCP4,5 и RCP8,5. Данная работа носит предварительный характер и может быть использована для последующих исследований климата как Кемеровской области, так и всей территории Сибири. Полученные расчетные значения будущих норм температуры воздуха могут быть использованы при моделировании переносов выбросов загрязняющих веществ, в сфере транспорта, строительства и др.

Ключевые слова: Кемеровская область; Кузбасс; изменение климата; CMIP5.

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF THE FUTURE AIR TEMPERATURE IN JULY IN THE KEMEROVO REGION

Yu. V. Astanina

*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky Ave., 195196, St.
Petersburg, Russia, astanina.iu@yandex.ru*

The most effective climate model out of 9 models of the historical experiment of the CMIP5 project has been selected. Spatial distributions of future air temperature norms for July under scenarios RCP4.5 and RCP8.5 are constructed. This work is theoretical in nature and can be used for subsequent climate studies of both the Kemerovo region and the entire territory of Siberia. The calculated values of the future air temperature norms in July can be used in modeling the transfer of pollutant emissions in the field of transport, construction, etc.

Keywords: Kemerovo region; Kuzbass; climate change; CMIP5.

Кемеровская область расположена на юге Западной Сибири, в зоне резко континентального климата. Большую часть региона занимает Кузнецкий угольный бассейн — одно из крупнейших угольных месторождений планеты. Добыча угля ведется как подземными, так и открытыми способами, с ежегодными объемами добычи свыше 220 млн. т. В регионе развиты многие отрасли промышленности: добывающая, химическая, легкая, пищевая, сельскохозяйственная, металлургия, машиностроение и др.

Главными экологическими проблемами региона, являются разрушение горных пород, изменение режима подземных вод, эрозия почв, а в крупных городах — химическое загрязнение.



Рис.1. Расположение метеостанций Кемеровской области

Основной целью работы является оценка будущих изменений температуры воздуха в июле на основе климатических моделей. Для этого выбраны 17 метеорологических станций, расположенных в разных частях региона, и 9 климатических моделей, находящихся в свободном доступе в сети Интернет: CMCC — модель Евро-Средиземноморского центра по изменению климата, CNRM — модель центра метеорологических национальных исследований, Hadley — модель Хэдли центра прогноза климата, INM — модель института вычислительной математики РАН, IPSL — французская модель института Лапласа, MIROC — японская модель MIROC3.2 с высоким разрешением, MPI — модель метеорологического института Макса Планка, Nor — модель Бьеркнессовского центра климатических исследований, BCC — модель пекинского климатического центра.

Выбор наиболее эффективной климатической модели сделан путем сравнения наблюдаемых климатических норм и норм, рассчитанных на основе исторического эксперимента проекта CMIP5 за совместный период до 2005 г. Результаты сравнения, представленные в виде отклонения от фактических наблюдений, приведены в таблице. В результате расчетов установлено, что климатическая модель INM является наиболее эффективной из 9-ти выбранных и может быть использована для расчетов будущих норм температуры воздуха в регионе.

**Отклонения норм расчетной температуры воздуха за июль по моделям климата
т фактических наблюдений за совместный период**

Станция	Яя	Тайга	Барзас	Мариинск	Тяжин	Топки	Кемерово	Крапивино	Центральный Рудник	Красное	Белово	Киселевск	Кузедеево	Междуре- ченск	Кондома	Усть-Кабырза	
Код	29540	29541	29548	29551	29552	29641	29645	29649	29654	29741	29745	29749	29849	29854	29946	29955	Среднее
CMCC	2,0	1,4	1,7	2,5	2,0	2,3	2,5	2,4	2,8	1,2	1,7	2,1	2,8	2,7	3,0	2,3	2,2
CNRM	8,5	0,9	0,7	0,4	5,5	7,1	0,2	0,1	0,6	0,8	0,6	0,3	1,1	0,9	1,2	0,6	1,8
HADLEY	2,9	4,1	3,6	2,5	3,0	2,3	2,3	2,3	2,2	4,1	3,1	2,2	2,1	2,7	2,4	3,2	2,8
INM	1,2	1,5	1,1	0,7	1,2	0,6	0,8	0,6	0,4	1,5	0,9	0,4	0,8	0,9	0,9	0,6	0,9
IPSL	2,5	3,4	3,0	2,1	2,6	2,3	2,4	2,3	1,9	3,3	3,0	2,0	1,2	1,3	1,9	2,4	2,3
MIROC	4,1	5,4	4,8	3,7	4,2	4,0	3,9	4,0	3,4	4,8	4,7	3,5	2,7	2,9	2,1	3,0	3,8
MPI	3,3	4,0	3,5	2,9	3,4	3,5	3,5	3,5	3,2	4,7	4,1	3,9	3,3	3,5	1,1	1,9	3,3
NOR	1,1	1,7	1,5	0,7	1,2	0,8	0,9	0,9	0,1	2,2	1,4	0,3	0,2	4,6	1,3	0,5	1,2
BCC	8,5	0,9	0,7	0,4	5,5	7,1	0,2	0,1	0,6	0,8	0,6	0,3	1,1	0,9	1,2	0,6	1,8

Для будущих оценок температуры воздуха по выбранной наиболее подходящей модели климата использованы климатические сценарии проектов СМIP5 и СМIP6, которые соответствуют проекциям RCP с суммарным антропогенным воздействием на климатическую систему к 2100 г. в 2,6, 4,5, 6,0 и 8,5 Вт/м². Считается, что по сценарию 2,6 выбросы CO₂ к 2100 г. будут минимальны и не превысят RCP 2,6 Вт/м² и, согласно 5-му оценочному докладу МГЭИК, повышение температуры не превысит 2 °С. Сценарий RCP 4,5 определяется как «средний», когда начало сокращения выбросов CO₂ начинается в середине этого века, а сценарий RCP8,5 — наихудший и самый маловероятный, когда выбросы CO₂ продолжают на протяжении всего периода. В работе приведены результаты модельных расчетов для двух сценариев RCP 4,5 и 8,5 Вт/м². Многолетние ряды сценарных значений среднемесячных температур с 2011 по 2100 гг. интерполированы из узлов регулярной сетки в точки с координатами каждой метеостанции и рассчитаны нормы температур за каждый из 30-летних периодов до конца 21 в. Для сравнения рассчитаны и современные климатические средние за период 1980-2010 гг. Пространственные закономерности изменений за четыре 30-летних периода общей продолжительностью 120 лет до конца 21 в. по сценарию RCP4,5 приведены на рис.2 и RCP8,5 — на рис. 3.

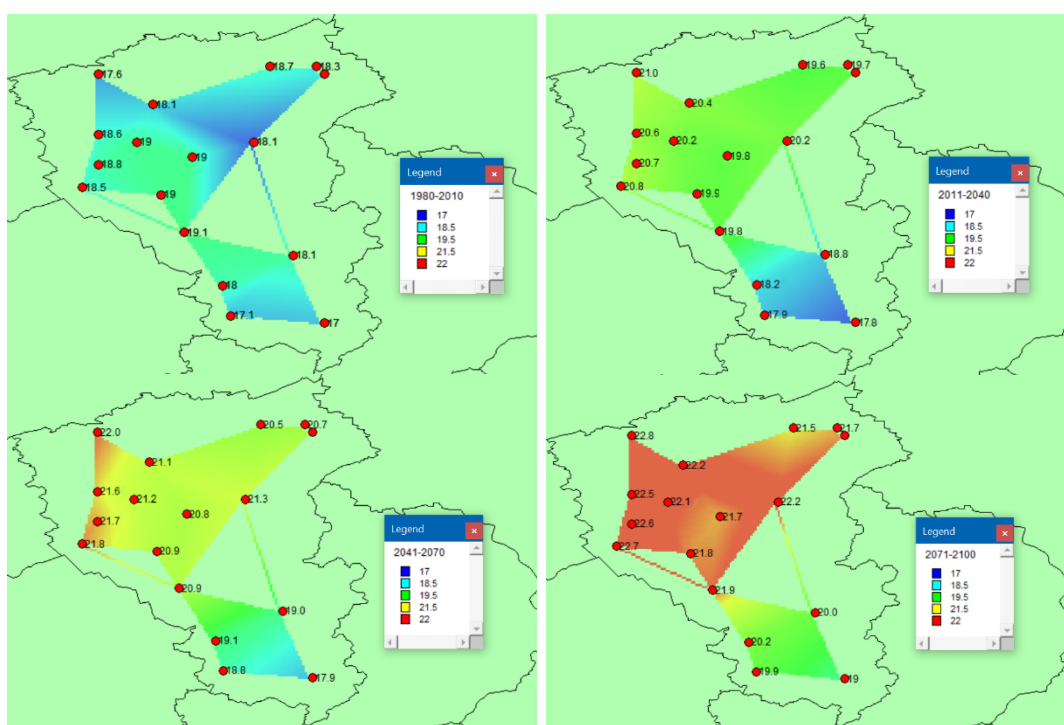


Рис.2. Пространственные распределения 30-летних средних температур июля за современный период (1980-2010 гг.) и три будущих периода (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 гг.) для сценария RCP4,5

В сценарии RCP4,5 нормы температуры увеличиваются каждые 30 лет. Так, современная норма температуры воздуха в июле по Кемеровской области составляет около 18,5 °С. К 2040 г. уже составляет в среднем до 20 °С. К 2070 г. рост температуры примерно на 1 °С к прошлому периоду и составляет в среднем 21 °С. К концу 21 века отмечается повышение температуры воздуха к предыдущему периоду (2041-70 гг.) до 1,5 °С, к современному периоду (1980-2010 гг.) — более, чем на 5 °С и температура в среднем по территории составит 22,5 °С.

В сценарии RCP8,5 рост температуры воздуха на территории Кемеровской области отмечается в следующие 30 лет. Современные нормы температуры те же, что и для предыдущего сценария. К 2040 г. рост температуры в среднем около 1 °С к современному периоду и не превышает 21 °С. К 2070 г. наблюдается увеличение температуры к прошлому периоду свыше 2 °С, северных районах около 23 °С, в южных — около 20 °С. К концу XXI в. температурные нормы составят к северу — до 25 °С (рост более, чем на 7 °С к современному периоду), к югу до 22 °С.

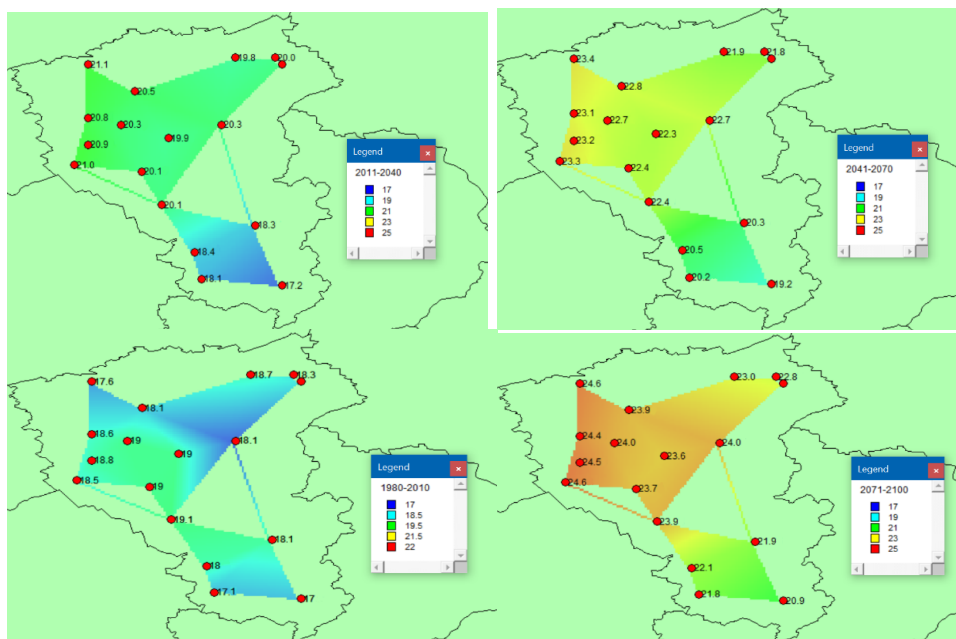


Рис.3. Пространственные распределения 30-летних средних температур июля за современный период (1980-2010 гг.) и три будущих периода (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 гг.) для сценария RCP8,5

Оба сценария описывают лишь возможные климатические изменения, которые скажутся на промышленности и экономике региона. В центральных и западных районах области расположены основные угольно добывающие, перерабатывающие предприятия, центры металлургии и дру-

гие главные источники выбросов, которые оседают в Кузнецкой котловине за счет физико-географических особенностей региона. На севере и северо-востоке области сосредоточены сельскохозяйственные территории, которые наиболее подвержены эрозии, засухе и опустыниванию, а зимой — загрязнению снежного покрова.

Библиографические ссылки

1. *Лобанов В. А., Смирнов И. А., Шадурский А. Е.* Практикум по климатологии, часть 1. (учебное пособие). Санкт-Петербург, 2011. 145 с.
2. *Лобанов В. А., Смирнов И. А., Шадурский А. Е.* Практикум по климатологии, ч. 2. (учебное пособие). Санкт-Петербург, 2012. 180 с.
3. *Лобанов В. А., Шадурский А. Е.* Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата Монография. Санкт-Петербург, издание РГГМУ, 2013. 123 с.
4. *Лобанов В. А.* Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн.1. В 2 кн.: учебник. СПб.: РГГМУ, 2016. 332 с.
5. *Переведенцев Ю. П.* Теория климата. Казанский государственный университет, 2009. 503 с.

УДК 628.81

ОСОБЕННОСТИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР ВСЛЕДСТВИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

М. М. Базова, Т. И. Моисеенко

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН,
ул. Косыгина д. 19, 119330, г. Москва, Россия, mm.bazova@yandex.ru*

Представлен анализ проблемы эвтрофирования водных объектов, как глобального процесса. Показаны объемы нарастающего использования азота и фосфора в планетарном масштабе, рассеивание которого в комплексе с потеплением климата приводит к повышению содержаний биогенных веществ в озерах. Выявлена тенденция нарастания содержаний азота и фосфора, а также органических веществ в водах озер даже в случае отсутствия непосредственного антропогенного воздействия. Доказано, что в арктических регионах основное влияние на увеличение содержаний биогенных веществ и трофического статуса озер оказывает потепление климата.

Ключевые слова: эвтрофирование; биогенные элементы; потоки фосфора; растворенное органическое вещество; трофический статус.

FEATURES OF ARCTIC LAKES EUTROPHICATION DUE TO CLIMATE WARMING

M. M. Bazova, T. I. Moiseenko

*Vernadsky Institute Geochemistry and Analytical Chemistry Russian Academy of Sciences,
Kosygina str.19, Moscow, 119991, Russia, mm.bzova@yandex.ru*

An analysis of the problem of eutrophication of water bodies as a global process is presented. The volumes of increasing use of nitrogen and phosphorus on a planetary scale are shown, the dispersion of which, in combination with climate warming, leads to an increase in the content of nutrients in lakes. A tendency has been revealed for an increase in the contents of nitrogen and phosphorus, as well as organic matter in lake waters, even in the absence of anthropogenic impact on the lakes. It has been proven that in the Arctic regions the main influence on the increase in the content of nutrients and the trophic status of lakes is climate warming.

Keywords: eutrophication; nutrients; phosphorus fluxes; dissolved organic matter; trophic status.

Проблема эвтрофирования водных объектов остро обозначилась в середине прошлого века и сохраняет свою актуальность в настоящее время. Развитие процесса обусловлено неконтролируемым поступлением азота и фосфора в биосферу: рассеиванием в глобальном масштабе, внесением на

поля в виде удобрений, поступлением с хозяйственно-бытовыми стоками и стоками животноводческих ферм. Общий сток реактивного фосфора в океаны, по оценкам ученых, увеличился в 9-10 раз по сравнению с доиндустриальным периодом [1]. Состояние тысяч озер, устьев водохранилищ и водно-болотных угодий по всему миру ухудшается из-за повышения уровня биогенных веществ в воде, вызывающих изменения в экологической структуре и функциях водных экосистем объектов [2, 3].

В литературе появляется все больше свидетельств, указывающих на влияние сопутствующего потепления климата, которое приводит к изменчивости химического состава вод и эвтрофированию водоемов [4]. В крупных озерах Америки обозначился процесс олиготрофикации [5], как и в крупных озерах России — Ладоге и Онеге [6].

Основные работы по предотвращению эвтрофирования водных объектов направлены на ограничения поступления биогенных веществ с точечными или диффузными источниками загрязнения. В то же время не представляется возможным ограничить влияние глобального обогащения биосферы фосфором и азотом, а также влияние потепления климата на биогеохимические циклы. Доказанными феноменами влияния потепления климата является повышение содержаний фосфора и азота, которому сопутствует увеличение органического вещества в водах [7]. Многолетние исследования озер Северной Америки показали повышение трофического статуса озер даже в случае отсутствия каких-либо антропогенных источников загрязнения. В отчетах АМАР [8] проблема повышения трофического статуса озер не рассматривается. На многочисленных конференциях, связанных с исследованиями арктического бассейна, вопрос об особенностях эвтрофирования вод высоких широт не выносится на обсуждение даже в связи с потеплением климата.

Исходными материалами послужила гидрохимическая база данных по малым озерам Кольского Севера за (1990, 1995, 2000, 2010, 2014 и 2018 гг.). На рисунке 1 приведена картосхема региона со схемой точек исследования. Изученные озера расположены в тундровой (n=15), лесотундровой (n=21) и северо-таежной зонах (n=32). Данные получены на основе методов, используемых в международной практике по программе ICP-Water, которые выполнялись по единым методикам в лабораториях Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН), который ежегодно принимал участие в международных интеркалибрациях. Более подробно методы исследований изложены в работе [9]. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием компьютерной программы «Statistica 10».

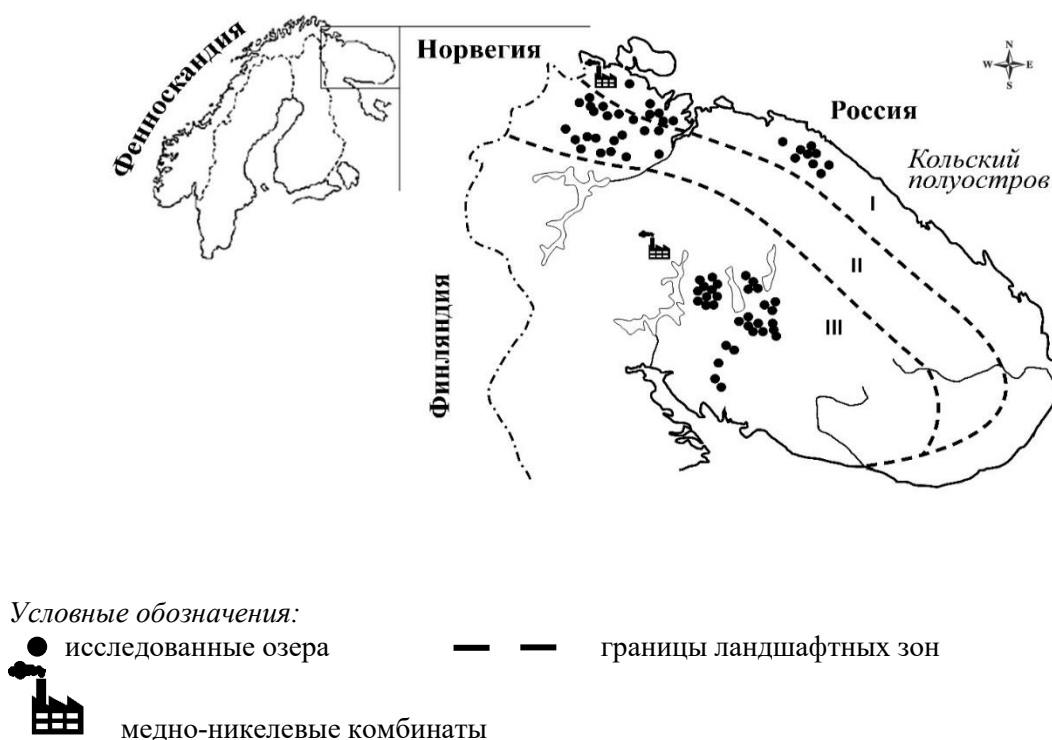


Рис. 1. Картосхема точек исследованных озер Кольского региона: I – тундровая, II – лесотундровая, III – северо-таежная зоны.

В таблице представлены содержания биогенных элементов, растворенного органического вещества, среднемесячная температура и среднемесячное количество осадков в выделенных ландшафтных зонах (тундра, лесотундра и северная тайга) за 2 периода (1990-2000 гг. и 2010-2018 гг.). Динамика среднегодовой температуры приземного слоя воздуха за два периода (1990-2000 гг.) и (2010-2018 гг.) в разных ландшафтных зонах показала увеличение, как по медианным, так и по максимальным значениям [10]. В северо-западной и северо-восточной частях региона (тундра) за рассматриваемый период среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1,1 °C, по максимальным значениям на 4,3 °C. Среднегодовая температура в центральной части региона (лесотундра) к 2010-2018 гг. увеличилась на 1,1 °C, по максимальным на 3,1 °C. В юго-восточной части региона (северная тайга) среднегодовая температура приземного слоя воздуха к 2010-2018 гг. по сравнению с 1990-2000 гг. увеличилась на 1,2 °C, по максимальным значениям на 1,7 °C. В воде озер, расположенных в тундровой зоне содержания растворенного органического вещества (DOC) достоверно увеличились по средним значениям ($t = +2.01$, $p < 0.05$) в период с 2010 по 2018 гг. Содержания N_{tot} ($t = +3.00$, $p < 0.01$) и P_{tot} ($t = +2.26$, $p < 0.05$) в воде озер достоверно увеличились к 2010-2018 гг, по сравнению с периодом 1990-2000 гг. В озерах лесотундровой зоны содержания общего азота (N_{tot}) и общего фосфора (P_{tot}) ($t = +3.22$, $p < 0.01$) достоверно

увеличились к 2010-2018 гг. В воде озер северо-таежной зоны содержания N_{tot} ($t = +2.04$, $p < 0.05$) и P_{tot} ($t = +3.17$, $p < 0.01$), достоверно увеличились к 2010-2018 гг., по сравнению с периодом 1990-2000 гг., концентрации Si достоверно снизились ($t = -3.74$, $p < 0.001$).

К 2010-2018 гг. по сравнению с периодом 1990-2000 гг. произошло снижение количества озер с общей концентрацией фосфора < 10 мкгР/л (рисунок 2), особенно отчетливо это проявилось в лесотундровой и таежной зонах, что скорее всего связано с повышением температуры воздуха в вегетационный период, в большей степени по минимальным и максимальным значениям (таблица).

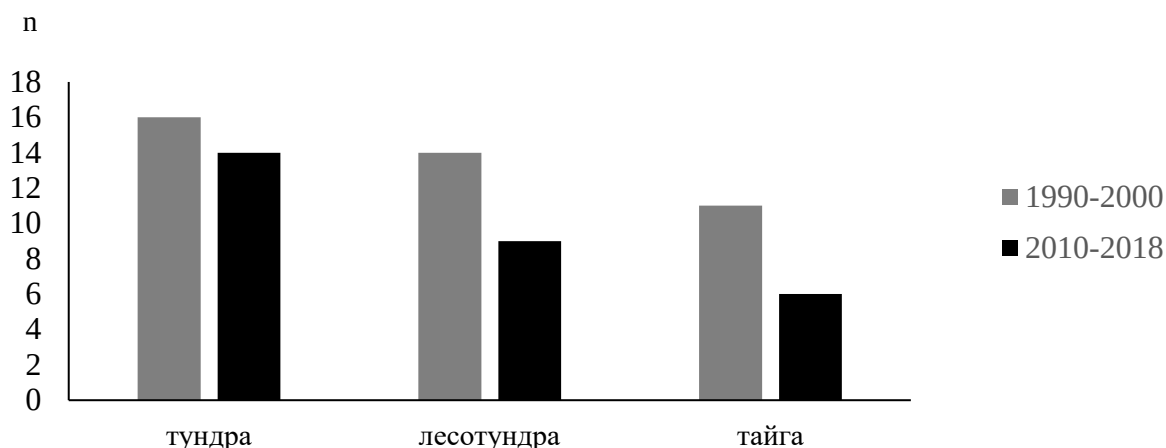


Рис. 2. Количество озер (n) с концентрацией $P_{tot} < 10$ мкгР/л в тундре, лесотундре и тайге в различные периоды: 1990-2000 гг. и 2010-2018 гг.

В последнее столетие остро обозначилась проблема эвтрофирования водоемов вследствие неконтролируемого поступления огромного количества биогенных элементов и органических веществ в биотических круговорот. Влияние потепления климата на фоне глобального рассеивания фосфора могут затронуть и отдаленные озера, включая арктические регионы. Для всей площади водосборных бассейнов исследованных озер на Кольском Севере характерно отсутствие близлежащих крупных населенных пунктов и промышленных производств, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Таким образом доказано, что потепление климата оказывает влияние на повышение трофического статуса арктических удаленных озер.

Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда, проект № 22-17-00061.

Содержание общего азота (N_{tot}), общего фосфора (P_{tot}), кремния (Si), растворенного органического вещества (DOC), среднемесячной температуры приземного слоя воздуха в летне-осенний период (июнь-сентябрь) (T) (в числителе – среднее значение и среднеквадратичное отклонение, в знаменателе – пределы содержания)

Параметр	Тундра		T	Лесотундра		t	Северная тайга		t
	1	2	P	1	2	p	1	2	p
T	8.9±1.9	10.5±2.1	+2.65	10.5±2.5	11.6±2.6	+2.88	11.2±2.3	12.4±2.5	+3.14
$^{\circ}\text{C}$	4.0-12.3	5.3-16.6	<0.05	2.5-15.7	6.4-18.8	<0.01	4.1-16.2	7.2-17.9	<0.01
DOC	5.3±2.3	5.8±1.8	+2.01	6.7±5.7	6.8±4.0	–	6.9±2.1	7.0±4.1	–
мгС/л	2.8-10.9	2.7-9.9	<0.05	1.6-16.8	3.8-16.5	–	2.1-14.5	2.2-17.3	–
Si	1.5±0.9	1.3±0.8	–	2.3±1.8	1.3±1.7	–	2.0±1.4	1.6±1.1	-3.74
мг/л	0.09-3.8	0.04-3.5	–	0.03-7.1	0.04-8.5	–	0.1-5.2	0.04-4.1	<0.001
N_{tot}	186±75	237±90	+3.00	245±122	350±163	+3.22	218±63	238±79	+2.04
мкгN/л	75-470	70-503	<0.01	57-477	117-593	<0.01	70-324	110-381	<0.05
P_{tot}	7±4	10±9	+2.26	10±11	20±21	+2.04	8±4	11±5	+3.17
мкгP/л	2-20	2-65	<0.05	1-54	4-93	<0.05	2-20	3-26	<0.01

Примечания. t – критерий Стьюдента, p – уровень значимости: – тренд недостоверный. * 1 – 1990-2000, 2 – 2010-2018

Библиографические ссылки

1. *Abid A. A., Gill S. S.* Eutrophication: Causes, Consequences and Control. Volume 2. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 2014. 262 p.
2. *Henderson-Sellers B., Markland, H. R.* Decaying Lakes. The Origin and Control of Cultural Eutrophication. 1990. L.: Gidrometeoizdat. 280 p.
3. *Lepori F., Roberts. J. J.* Effects of internal phosphorus loadings and food-web structure on the recovery of a deep lake from eutrophication. // J. Great Lakes Res. 2017. V.43. № 2.
4. *Моисеенко Т. И., Базова М. М., Дину М. И., Гашкина Н. А., Кудрявцева Л. П.* Изменение геохимии вод суши в условиях потепления климата и снижения выпадений кислот: восстановление или эволюция озер? // Геохимия. 2022. Т. 67. № 2. С. 668-685.
5. Great Lake Ecosystem Report. 2007. Available online: <http://www.epa.gov/glnpo/rptcong>. (accessed on 9 March 2006).
6. *Moiseenko T. I., Sharov A.* Large Russian lakes Ladoga, Onega, and Imandra under strong pollution and in the period of revitalization: a review // Geosciences. 2019. V.9. № 12. P.492.
7. *Moiseenko T. I., Bazova M. M., Gashkina N. A.* Development of Lake from Acidification to Eutrophication in the Arctic Region under Reduced Acid Deposition and Climate Warming // Water. 2022. V.14. 3467.
8. CliC/AMAP/IASC. The Arctic Freshwater System in a Changing Climate. WCRP Climate and Cryosphere (CliC) Project, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2016. International Arctic Science Committee (IASC)
9. *Моисеенко Т. И., Базова М. М., Льюмменс Е. О.* Биогеохимические изменения арктических озер в условиях потепления климата: региональные особенности // Геохимия. 2023. Т. 68. № 4. С. 409-423.
10. Архив погоды: Мурманская область. 2019. Справочно-информационный портал «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru&region=51>).

УДК 556.114.6.027

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА ЛЕДНИКОВ В ПИТАНИЕ р. ТАЛДУРА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛТАЙ) НА ОСНОВЕ ИЗОТОПНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Д. В. Банцев¹⁾, А. А. Овсепян¹⁾, А. В. Козачек^{1,2)}, К. Б. Чихачев^{1,2)}

¹⁾Санкт-Петербургский государственный университет, 10-я линия Васильевского острова, 31-33, 199178, Санкт-Петербург, Россия, bancev-d@yandex.ru; ²⁾Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга, д.38, 199397, Санкт-Петербург, Россия, aaricoop@aari.ru

Представлены результаты изотопно-гидрологических исследований на территории Центрального Алтая. Целью являлась оценка вклада ледникового питания в сток высокогорной реки Талдура. Для достижения цели решались задачи по определению изотопных характеристик ледникового льда, снега, осадков, а также выполнялось изотопное разделение гидрографа. Показано полное преобладание ледникового питания в стоке р. Талдура в середине сезона абляции.

Ключевые слова: Алтай; ледниковый сток; стабильные изотопы воды.

ESTIMATION OF GLACIER FRACTION TO THE RUNOFF OF THE TALDURA RIVER (CENTRAL ALTAI) BASED ON ISOTOPE INDICATORS

D. V. Bantcev¹⁾, A. A. Ovsepyan¹⁾, A. V. Kozachek^{1,2)}, K. B. Chikhachev^{1,2)}

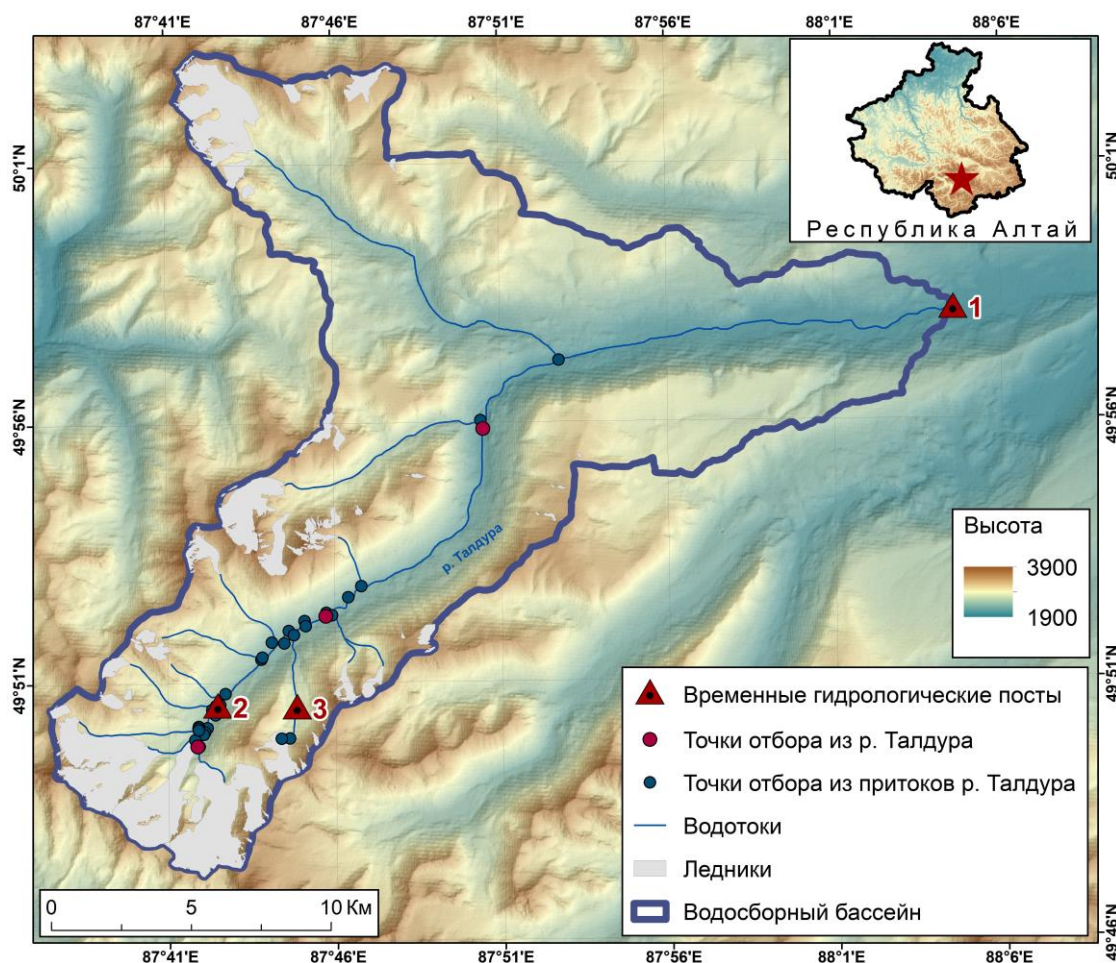
¹⁾St. Petersburg State University, 10th line of Vasilievsky Island, 31-33, 199178, St. Petersburg, Russia, bancev-d@yandex.ru ²⁾Arctic and Antarctic research Institute, 38 Bering Street, 199397, St. Petersburg, Russia, aaricoop@aari.ru

The results of isotope-hydrological studies in the Central Altai are presented. The aim of this study was to estimate the glacier meltwater fraction in the runoff of the high-altitude Taldura River. To achieve this goal, the isotopic characteristics of glacial ice, snow, precipitation were determined and isotope separation of the hydrograph was performed. The complete predominance of glacier feeding in the Taldura River runoff in the middle of the ablation season is shown.

Keywords: Altai; glacial runoff; stable isotopes of water.

Исследования выполнялись с 5 июля по 6 августа в бассейне р. Талдура на территории Южно-Чуйского хребта, Центральный Алтай. Река Талдура берет начало от крупного долинного ледника Большая Талдура,

площадь которого в 2017 г. оценена в 20,46 км² [1, с. 346]. Карта-схема района исследований показана на рис. 1.



Условные обозначения: 1 – нижний гидрологический пост на р. Талдура; 2 – верхний гидрологический пост на р. Талдура; 3 – гидрологический пост на притоке, вытекающем из ледника Некрасова.

Рис. 1. Карта-схема района проведения полевых работ по проекту в июле-августе 2023 г.

Всего было организовано 3 временных гидрологических поста (ГП): два на р. Талдура и один на правом притоке, берущем начало из небольшого карового ледника. Расстояние между верхним и нижним постом на р. Талдура составляло 33 км, перепад высот — 485 м.

На гидрологических постах отбор проб на изотопный анализ осуществлялся дважды в сутки: в 08:00 и 20:00. В случае интенсивных осадков или высокого таяния, отбиралась дополнительная проба, как правило, в 16:00. Измерения изотопного состава были выполнены в ЛИКОС ААНИИ по методике, указанной в [2, с. 50]. Изотопные характеристики воды на постах показаны в таблице.

Средневзвешенный изотопный состав $\delta^{18}\text{O}$ для всех пунктов составляет 9,5 ‰, летние осадки закономерно обладают наиболее тяжелым изотопным составом среди всех проб. При этом высотный эффект [3, с. 19] уменьшения изотопного состава осадков, как правило, не наблюдается. В речной воде суточная изменчивость $\delta^{18}\text{O}$ на всех постах практически отсутствует, но после выпадения осадков наблюдается повышение $\delta^{18}\text{O}$ речной воды. Это говорит о том, что атмосферные осадки оказывают влияние на сток.

Изотопный состав воды на временных гидрологических постах

Место отбора	Высота, м	Количество проб воды, шт	Диапазон $\delta^{18}\text{O}$, ‰	Среднее значение $\delta^{18}\text{O}$, ‰
Нижний ГП р. Талдура	1936	37	-16,76... -18,09	-17,80
Верхний ГП р. Талдура.	2420	68	-16,06... -18,04	-17,30
ГП на притоке, вытекающем из ледника Некрасова.	2770	56	-15,75...-18,01	-17,04

Помимо проб на ГП отбирались: ледниковый лед, снег, пробы воды из притоков как ледникового, так и неледникового происхождения. Среднее значение $\delta^{18}\text{O}$ ледникового льда — 18.27 ± 0.77 ‰, что хорошо согласуется с полученными ранее данными об изотопном составе ледников Алтая [4, с. 4]. На рис. 2 видно, что речная вода формируется в результате смешения изотопно-легких талых ледниковых вод и изотопно-тяжелых осадков.

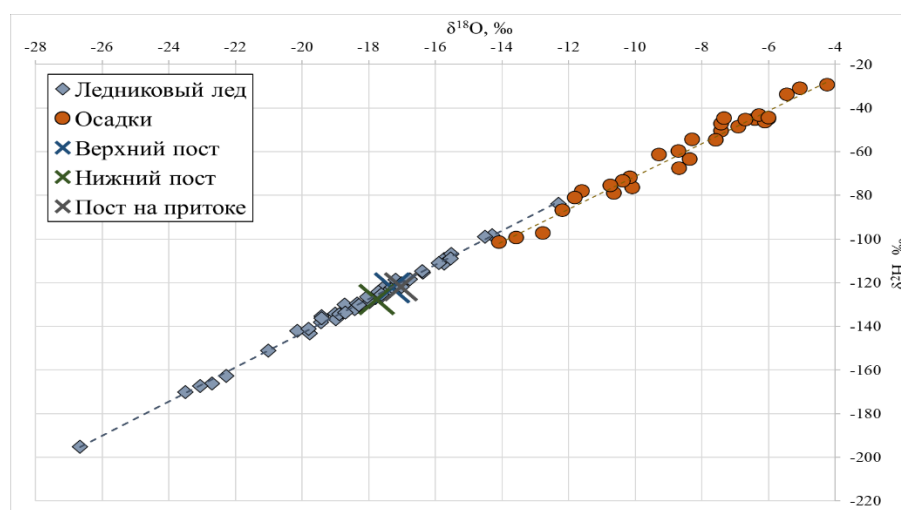


Рис. 2. Диаграмма $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ для групп проб

Для постов на р. Талдура по уравнению изотопного баланса [5, с. 2] выполнено двухкомпонентное разделение гидрографа. Результат отражены на рис. 3, 4.

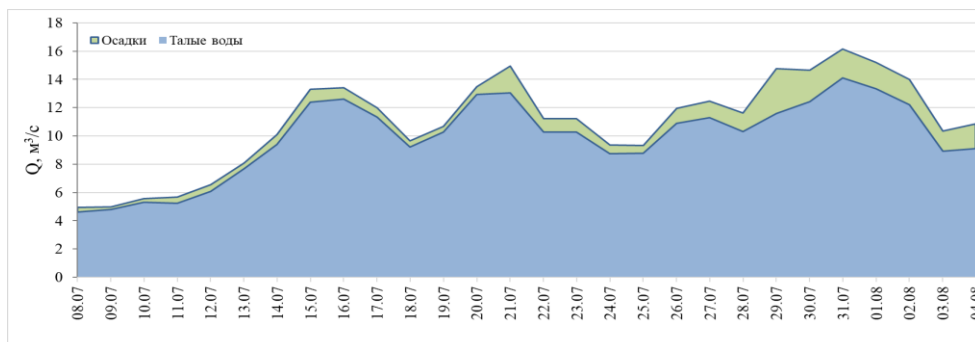


Рис. 3. Результат изотопного разделения гидрографа на верхнем посту р. Талдура

На верхнем гидрологическом посту доля осадков в стоке изменялась от 4 до 22 % и в среднем составляла 9 %. Максимальная доля осадков в стоке наблюдалась 29-30 июля после выпадения большого количества на фоне понижения температуры и, как следствие, уменьшения таяния.

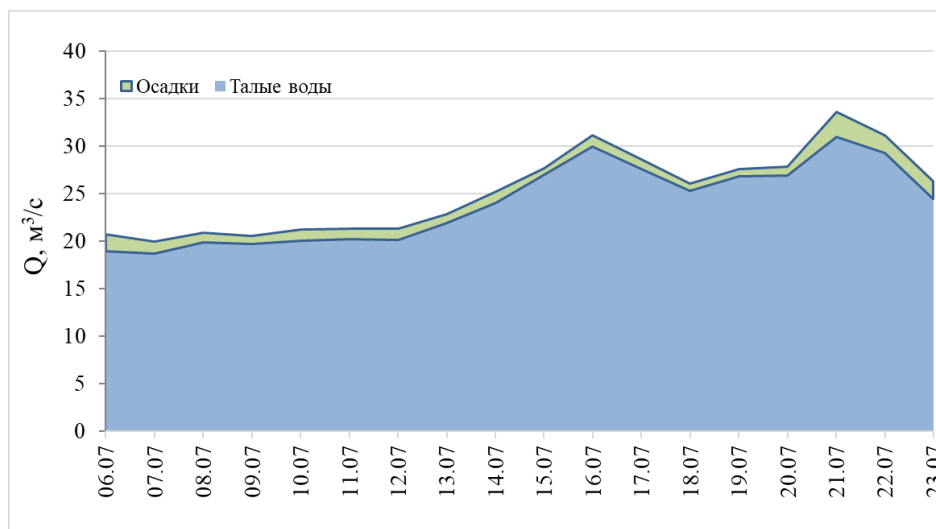


Рис. 4. Результат изотопного разделения гидрографа на нижнем посту р. Талдура

На нижнем гидрологическом посту за более короткий период наблюдений (до 23.07) доля осадков в стоке изменялась от 2 до 9 %, в среднем доля осадков составила 5 %. Максимальная доля осадков в стоке наблюдалась 21-23 июля после выпадения осадков в верхней части бассейна. Максимальный вклад осадков на нижнем посту зафиксирован 6.08 (дополнительная проба) и составил 17 %.

Таким образом, ледниковое питание в середине сезона абляции полностью преобладает в питании р. Талдура на всем ее протяжении. Интересно, что доля ледникового питания в р. Талдура увеличивается по мере удаления от ледника Большая Талдура из-за влияния притоков с менее крупных ледников.

Доля ледникового питания у устья р. Талдура может достигать 95 %. Вторым по значимости источником питания являются летние осадки, но их вклад в зависимости от условий как правило не превышает 10-20 %. Таким образом, дальнейшая деградация оледенения Южно-Чуйского хребта неизбежно повлияет на сток р. Талдура и на водный баланс территории в целом. Сейчас доля ледникового стока в питании р. Талдура очень высока, но при дальнейшем отступании ледников, помимо сокращения их площади снизится интенсивность их таяния, так как края ледников окажутся выше. Следовательно, в ближайшее время доля ледникового стока может даже возрасти, но при продолжении деградации оледенения неизбежно сократится, что приведет к значительному уменьшению водности р. Талдура.

Библиографические ссылки

1. Хромова Т. Е., Носенко Г. А., Глазовский А. Ф., Муравьев А. Я., Никитин С. А., Лаврентьев И. И. Новый Каталог ледников России по спутниковым данным (2016-2019 гг.) // Лед и Снег. 2021. Т. 61. № 3. С. 341-358.
2. Екайкин А. А. Стабильные изотопы воды в гляциологии и палеогеографии. Методическое пособие. СПб.: ААНИИ, 2016. 64 с.
3. Васильчук Ю. К., Чижова Ю. Н. Высотный градиент распределения $\delta^{18}\text{O}$ и δD в атмосферных осадках и в снежном покрове высокогорных районов // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 1. С. 13-21.
4. Bantsev D., Ganyushkin D., Terekhov A., Ekaykin A., Tokarev I., Chistyakov K. Isotopic Composition of Glacier Ice and Meltwater in the Arid Parts of the Altai Mountains (Central Asia) // Water. 2022. V. 14. 252. P. 1-11.
5. Чижова Ю. Н., Рец Е. П., Васильчук Ю. К., Токарев И. В., Буданцева Н. А., Киреева М. Б. Два подхода к расчету расчленения гидрографа стока реки с ледниковым питанием с помощью изотопных методов // Лед и Снег. 2016. Т. 56. № 2. С. 161-168.

УДК 911.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е. А. Батраченко

*Курский государственный университет, ул. Радищева, 33, 305000, г. Курск,
Российская Федерация, ostkat@yandex.ru*

Проанализированы возможности проектирования экологического каркаса селитебных территорий на основе теории «поляризованного ландшафта». Рассмотрены особенности включения новых элементов озеленения в структуру экокаркаса. Представлены картографические материалы, визуализирующие особенности пространственной структуры озеленения и возможности ее коррекции.

Ключевые слова: экологический каркас; экологические сети; поляризованный ландшафт; демэкологический фактор.

DESIGNING THE ECOLOGICAL FRAMEWORK OF RESIDENTIAL AREAS.

E. A. Batrachenko

*Kursk State University, 33 Radishchev Street, 305000, Kursk,
Russian Federation, ostkat@yandex.ru*

The possibilities of designing the ecological framework of residential areas based on the theory of «polarized landscape» are analyzed. The features of the inclusion of new landscaping elements in the structure of the eco-frame are considered. Cartographic materials visualizing the features of the structure of green spaces and the possibilities of their correction are presented.

Keywords: ecological framework; ecological networks; polarized landscape; house environmental factor.

Проблемы устойчивого развития селитебных территорий в условиях усиливающегося распространения антропогенных ландшафтов вызывает беспокойство. Возможностью нивелировать антропогенное воздействие и улучшить комфортность среды для человека является создание экологического каркаса в виде элементов различного типа. Экологический или зеленый каркас, термин, распространившийся в экологии, географии и геоурбанистике в середине XX в. У большинства авторов понимается как совокупность геосистем в пределах определенного ландшафта, выполняющих функцию защиты окружающей среды и «мягкого» управления ландшафтом [2]. В зарубежных исследованиях нередко встречается термин

«экологические сети» [1-3]. Экологическая сеть является комплексной, многофункциональной природной системой, к основным функциям которой относятся сохранение биоразнообразия, стабилизация экологического равновесия, повышение производительности ландшафтов, улучшение состояния окружающей среды, переход к сбалансированному устойчивому развитию региона [4]. Экологический каркас может включать разные элементы (рис.1).

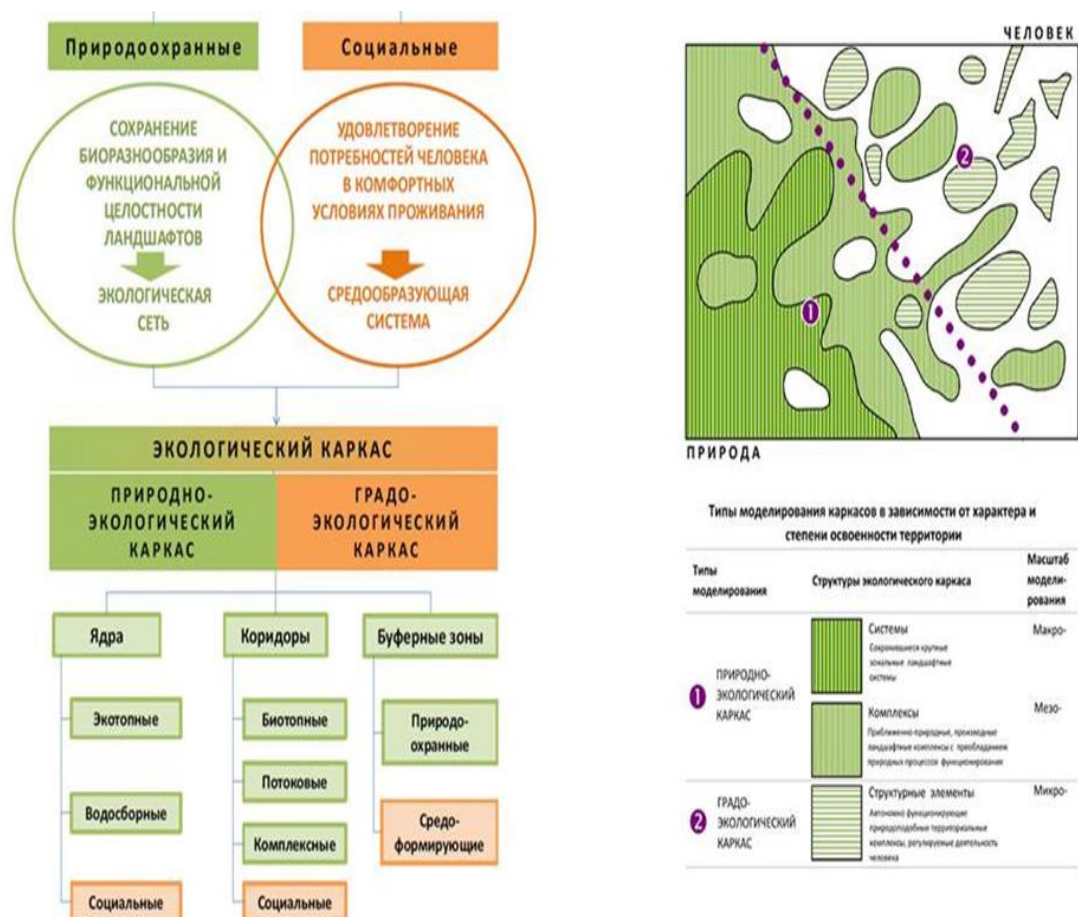


Рис. 1. Элементы природно-экологического каркаса (Курбатова А. С.) [4]

Исследуя аспекты формирования экок каркаса следует отметить существование различных подходов к проектированию экологического каркаса территории, один из вариантов, теория «поляризованного ландшафта» Б.Б. Родомана, где экок каркас является способом сохранения ландшафтов и рекреационных ресурсов [5-9]. Основная идея теории: охраняемые и интенсивно используемые природные территории должны быть максимально удалены друг от друга. При этом особую важность приобретает структура экологического каркаса, так как на оптимизируемой территории важную роль выполняют буферные участки, которые отделяют

зоны интенсивного использования от зон экологического равновесия. Создание единой системы озеленения на территории муниципального образования позволяет оптимизировать проблемы различных аспектов: экологического, экономического, демэкологического (рис. 2).



Рис. 2. Взаимодействие элементов природно-экологического каркаса

«Поляризованный ландшафт» выявляет демэкологические предпосылки для выделения зон влияния урбанизированных территорий на природные ландшафты. В качестве модели приводится примерная картосхема формирования системы озеленения Щигровского района Курской области (рис 3).

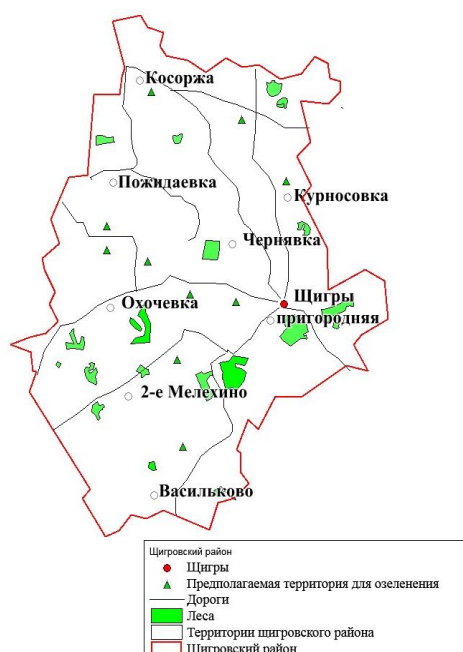


Рис. 3. Размещение будущих «ядер» озеленения в Щигровском районе Курской области (Батраченко, Доценко, 2023 г.)

Предварительно проанализирован демэкологический фактор (фактор людности), а также выделены ареалы влияния селитебных ландшафтов на природные. Особую роль играет пространственное доминирование в районе исследования сельскохозяйственных ландшафтов в сочетании с селитебными. Соответственно проектирование единой зеленой сети территории перспективно с использованием средостабилизирующих элементов агроландшафта (лесозащитных полос, лугово-пастбищных угодий). В целом при проектировании «зеленого» каркаса необходимо учитывать демэкологический фактор: ареалы влияния населенных пунктов при рациональном сочетании природоохранной и хозяйственной деятельности могут являться структурной основой для экологического каркаса. Для данных территорий целесообразно увеличение площадь природных ландшафтов с целью ограничения распространения природно-антропогенных ландшафтов и формирования буферных зон с целью нивелирования антропогенного влияния.

Библиографические ссылки

1. Constructing a resilient ecological network by considering source stability in the largest Chinese urban agglomeration, Journal of Environmental Management, Volume 328, 2023, 116989, ISSN 03014797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116989>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722025622>)
2. Construction and optimization of green space ecological networks in urban fringe areas: A case study with the urban fringe area of Tongzhou district in Beijing, Journal of Cleaner Production, Volume 276, 2020, 124266, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124266>
3. <https://soildb.ru/map?lat=51.8944&lng=38.0182&zoom=9&feature=19385>
4. Курбатова А. С. Природно-экологический каркас в территориальном планировании муниципальных образований / А. С. Курбатова, Б. И. Кочуров, Д. З. Гриднев // Проблемы региональной экологии. 2010. № 6. С. 186-194. EDNNCSNDF.
5. Родоман Б. Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.
6. Родоман Б. Б. Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов // Ресурсы, среда, расселение. М.: Наука, 1974. с. 150-162.
7. Родоман Б. Б. Введение в социальную географию. М.: Изд-во Рос. открытого ун-та, 1993. 78 с.
8. Родоман Б. Б. Саморазвитие культурного ландшафта и геобионические закономерности его формирования // Географические науки и районная планировка. Сб. ст. М., 1980. С. 56-68
9. Родоман Б. Б. Поляризованный ландшафт // Социально-экономическая география. Понятия и термины / А. П. Горкин. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 178-180.

УДК 550.0 (476)

ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Е. С. Бережкова, П. А. Слесарев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, katarina0704@tut.by*

Исследование направлено на определение ветроэнергетического потенциала территории Республики Беларусь, и его изменений в рамках потепления климата. Акцентировано внимание на обеспечении удаленных от источников электроэнергии объектов. На примере объемов потребляемой электроэнергии единичной автомобильной заправочной станции (далее – АЗС) рассчитана эффективность использования ветрогенераторов в денежном эквиваленте.

Ключевые слова: ветер; ветроэнергетический потенциал; ветрогенератор; АЗС.

ASSESSMENT OF WIND ENERGY POTENTIAL IN THE TERRITORY OF BELARUS

E. S. Berezhkova, P. A. Slesarev

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030,
Minsk, Belarus, katarina0704@tut.by*

The study is aimed at determining the wind energy capacity of the territory of the Republic of Belarus and its changes within the framework of climate warming. Attention is focused on providing remote sources of electricity from facilities. Due to the volume of electricity consumed by the only automobile filling station (hereinafter referred to as the gas station), the efficiency of using wind generators in monetary terms was calculated.

Keywords: wind; wind energy potential; wind generator; gas station.

Материалы и методы исследования. Исследование основано на фактических метеорологических данных Белгидромета за период 1991-2021гг. по 42 метеорологическим станциям Беларуси. Визуализация данных выполнена с помощью ArcGIS.

Ветроэнергетический потенциал рассчитан по формулам:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot (V^3)_{cp} \quad (1) [1]$$

$$(V^3)_{cp.} = (V_{cp.})^3 \cdot (1 + 3 \cdot c_v^2,2 + A \cdot c_v^3) \quad (2) [1]$$

где P – удельная мощность ветрового потока, Вт/м²; ρ – плотность воздуха, г/см³, (для нормальных условий атмосферы составляет 1,226 кг/м³); V и $V_{cp.}$ соответственно мгновенная и средняя скорость ветра, м/с; c_v – коэффициент вариации скорости ветра; A – коэффициент асимметрии распределения скорости ветра.

Если расчеты выполняются для года в целом, то V , c_v и A являются характеристиками годовой совокупности значений скорости ветра.

Упрощенный вариант расчетов скорости ветра может быть использован с применением функции Максвелла, где значения c_v , и A , принимаются равными 0,52 и 0,63 соответственно:

$$(V^3)_{cp.} \approx 1,9 \cdot (V_{cp.})^3 \quad (3)$$

Общая формула суммарного (полного) ветрового потока, оценивается по формуле:

$$P_T = 0,5 \cdot \rho \cdot (V^3)_{cp.} \cdot S_k \cdot T, \quad (4)$$

где T – период времени, за который производится оценка; S_k – площадь сечения ветрового потока.

Расчет необходимого количества ветроэнергетических установок проведен по формулам:

$$F_1 = \left(\sqrt{\frac{B_1 \div A_2}{\pi}} \right) \cdot 2 \cdot R_0 \quad (5) \quad F_2 = \left(\sqrt{\frac{B_2 \div A_1}{\pi}} \right) \cdot 2 \cdot R_0, \quad (6)$$

где F_1 – необходимое количество установок при максимальной нагрузке на электросеть; F_2 – необходимое количество установок при минимальной нагрузке на электросеть; A_1 – верхний предел диапазона теоретически возможной выработки (0,9 мВт); B_1 – верхний предел диапазона годовой потребности АЗС (26 мВт); A_2 – нижний предел диапазона теоретически возможной выработки (0,4 мВт); B_2 – нижний предел диапазона годовой потребности АЗС (15 мВт); R_0 – 2,8 м. диаметр классического ветроколеса.

Главный энергетический показатель ВЭУ — установленная мощность. Мощность ветрового потока определяется по формуле [2]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3, \quad (7)$$

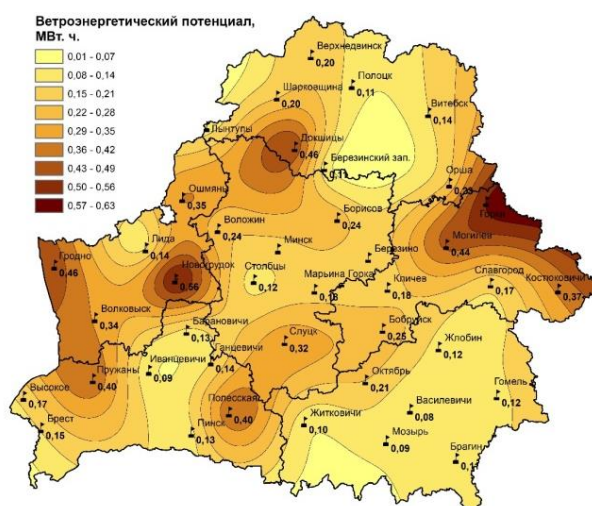
где P – мощность ветрового потока (Вт); ρ – плотность воздуха (при обычных условиях принимается равной $1,225 \text{ кг/м}^3$); S – площадь сечения поперечного ветрового потока (м^2); v – скорость ветра (м/с).

Если известна среднегодовая скорость ветра (и распределение скоростей ветра имеет типичный характер), то средняя мощность ветрового потока определяется из выражения:

$$P_C = 1,17 \cdot S \cdot v_C^3, \quad (8)$$

где P_C – средняя мощность ветра (Вт); v_C – средняя скорость ветра (м/с).

Результаты расчетов ветроэнергетического потенциала были визуализированы и представлены на рисунке.



Пространственное распределение значений ветроэнергетического потенциала на высоте 10 м. [по фактическим метеорологическим данным Белгидромета, составлено автором]

Выявлено, что максимальный ветроэнергетический потенциал характерен для Оршанской и Новогрудской возвышенностей [3, 4].

Основываясь на результатах расчетов, определено оптимальное количество ветроэнергогенераторов для обеспечения одной АЗС. Единичный объект требует от 2 до 3 ветроэнергетических установок с диаметром ветроколеса 2,8 метра.

Расчеты эффективности использования ветроэнергетических установок по отношению к удельному топливу позволили выявить, что годовая экономия условного топлива составляет по отношению к оценочной годовой потребности в электроэнергии для АЗС 7,6 тыс. рублей в год (в долларовом эквиваленте — 1 514 \$). Годовая экономия условного топлива по

отношению к фактической годовой потребности в электроэнергии для АЗС составляет 7,0 тыс. в год (в долларовом эквиваленте — 1 395 \$.)

Удельная экономия затрат на топливо при оценки экономической эффективности для общей стоимости получаемой электроэнергии составила 6 889 руб. или же порядка 2 090 \$. Для получаемой электроэнергии с учетом простоя ветрогенератора на техническом обслуживании составила порядка 6 348 руб. либо 1 925 \$. Общая экономия получаемой электроэнергии как для полного года, так и с учетом простоя ветроэнергетической установки на техническом обслуживании (45 дней, 1 080 часов) составила порядка 576 \$ для полного года и 530 \$ с вычетом простоя ВЭУ.

Выводы. 1. Максимальный уровень ветроэнергетического потенциала характерен для Оршанской и Новогрудской возвышенностей.

2. Оптимальное количество ветроэнергогенераторов для обеспечения одной АЗС — 2 до 3 ветроэнергетических установок с диаметром ветроколеса 2,8 метра.

3. Использование ветрогенераторов на АЗС является эффективным при существующих средних скоростях ветра на территории Беларуси.

Библиографические ссылки

1. Соляр А. Б. Об эффективности использования ветроэнергетических установок в Самарской области / А. Б. Соляр, С. С. Голубев, К. В. Трубицын. Текст: непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых (Екатеринбург, 18–21 декабря 2012 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 385-390.

2. Кулаков Г. Т. К вопросу совершенствования показателей эффективности использования топлива в белорусской энергосистеме / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, В. В. Кравченко // Опубликовано в: Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: науч.-техн. и произв. журн. / учредители: Электроэнергет. совет СНГ [и др.]. 2010, № 1-6. № 2. С. 77-83.

3. Бережкова, Е. С. Изменение скорости ветра на территории Беларуси / Е. С. Бережкова, П. Д. Слесарев // Сб. матер. Уч-ов XIX Большого географического фестиваля, посвященного 220-летию со дня начала первой русской кругосветной экспедиции под руководством И. Ф. Крузенштерна и Ю. Ф. Лисянского (1803-1806 гг.). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. С. 241-244. ISBN 978-5-4386-2282-6

4. Бережкова Е. С., Лопух П. С. Трендовые риски, связанные с опасными метеорологическими явлениями, в гражданской авиации на территории Беларуси. География; 1. 2023 С. 3-7

УДК: 551.465.41:556.532

ВЛИЯНИЕ РЕЧНОГО СТОКА НА ПЛОТНОСТНУЮ СТРАТИФИКАЦИЮ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

А. А. Букатов, Е. А. Павленко, Н. М. Соловей

*Морской гидрофизический институт РАН, Капитанская улица, 4,
299011, г. Севастополь, Россия, mhi.pavlenko@gmail.com*

На основе данных реанализа ECMWF ORAP5 о среднемесячных значениях температуры и солёности, и данных о среднемесячных расходах воды на замыкающих створах с 1979 по 2013 гг. исследовано влияние стока арктических рек на плотностную стратификацию морей: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского и Бофорта. Определены районы с наиболее выраженным откликом плотностной стратификации на сезонные колебания объемов стока рек.

Ключевые слова: Баренцево море; Карское море; море Лаптевых; Восточно-Сибирское море; Чукотское море; море Бофорта; частота Вьяйсяля-Брента; вертикальная структура вод; сток рек.

RIVER RUNOFF EFFECT ON THE DENSITY STRATIFICATION OF THE ARCTIC SEAS

A. A. Bukatov, E. A. Pavlenko, N. M. Solovei

*Marine Hydrophysical Institute of RAS, Kapitanskay, 4,
299011, Sevastopol. Russian Federation, mhi.pavlenko@gmail.com*

Based on ECMWF ORAP5 reanalysis data on average monthly temperature and salinity values, and data on average monthly water discharge from 1979 to 2013 the effect of the Arctic rivers runoff on the density stratification of the Barents, Kara, Laptev, East Siberian, Chukchi and Beaufort seas was studied. Areas with the most pronounced response of density stratification to seasonal fluctuations in river flow volumes were identified.

Keywords: Barents Sea; Kara Sea; Laptev Sea; East Siberian Sea; Chukchi Sea; Beaufort Sea; water density stratification; buoyancy frequency; river runoff.

Сток северных рек является важным фактором формирования гидрологического режима арктических морей. В результате смешения речных и морских вод на обширных участках арктического шельфа и континентального склона образуются области солоноватой воды. В процессе их взаимодействия с более солеными и теплыми глубинными водами формируются значительные вертикальные градиенты солёности и плотности [1]. Хорошо выраженный арктический галоклин играет роль экрана для вер-

тикального потока тепла, определяет образование и распространение морских льдов, оказывает влияние на вертикальное распределение биогенных элементов, взвешенных минеральных и органических веществ, а также загрязнений [1, 2]. Вертикальную стратификацию плотности можно охарактеризовать по распределению частоты плавучести (частоты Вьяйсяля-Брента), которая является фундаментальной величиной в динамике стратифицированной жидкости.

В данной работе на основе среднемесячных термохалинных данных реанализа ORAP5 за период 1979-2013 гг. с разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ [3, 4] рассчитывалась плотность вод арктических морей: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Бофорта. По распределениям плотности выполнялся анализ вертикальной структуры частоты плавучести, находился максимум по глубине ($N_{\max}(z)$). Используя корреляционный анализ, определялась региональная зависимость стратификации морских вод от сезонных колебаний объемов стока рек Печоры, Оби, Енисея, Лены, Колымы, Хатанги, Маккензи, Юкон. Получены коэффициенты (R) парной линейной корреляции между значениями $N_{\max}(z)$ и расходами воды за рассматриваемый месяц R_0 , а также коэффициенты R_1, R_3, R_6, R_9 между значениями $N_{\max}(z)$ и суммарными среднемесячными расходами за 1, 3, 6, 9 предшествующих месяцев, включая месяц, за который рассматривается $N_{\max}(z)$.

Установлено, что максимальная устойчивость вод в Баренцевом море наступает в июле, а в Карском — в августе-сентябре (рис. 1) [5]. В теплый период года слой $N_{\max}(z)$ поднимается к поверхности. Значения максимума частоты плавучести в Карском море в несколько раз превышает $N_{\max}(z)$ в Баренцевом, что обусловлено, в том числе, различием в объеме стока речных вод. В центральной части Баренцева моря с июня по сентябрь значения $N_{\max}(z)$ составляют менее 5 цикл/час, а в северной части максимум частоты плавучести повышается до 10 цикл/час. Низкая устойчивость в центральной части Баренцева моря объясняется тем, что здесь проходит Нордкапское течение, имеющие высокую соленость и температуру. При движении на восток эти воды сравнительно быстро охлаждаются и опускаются вниз, что приводит к сглаживанию разницы в плотности между слоями и потере равновесия.

Центральная часть Карского моря в июне также занята водами с относительно невысокими значениями частоты Вьяйсяля-Брента. С 75° по 80° с. ш. значения максимума частоты плавучести составляют около 15 цикл/час. К концу летнего периода устойчивость увеличивается по всей акватории рассматриваемых морей. Особенно это заметно в юго-восточной прибрежной части Баренцева моря и юго-западной части Карского моря, вблизи устьев рек Обь и Енисей и в Пясинском заливе.

Плотностная стратификация вод моря Лаптевых наиболее выражена с конца весны до начала осени в юго-восточных и юго-западных районах моря и у кромки льдов. В устье реки Лена значения $N_{\max}(z)$ в июле достигают 86 цикл/час, в устье реки Хатанга — 75 цикл/час. В юго-восточной части моря Лаптевых, куда под действием циклонической циркуляции в поверхностном слое моря распространяется большая часть стока рек Хатанги и Лены, пикноклин прослеживается на протяжении всего года.

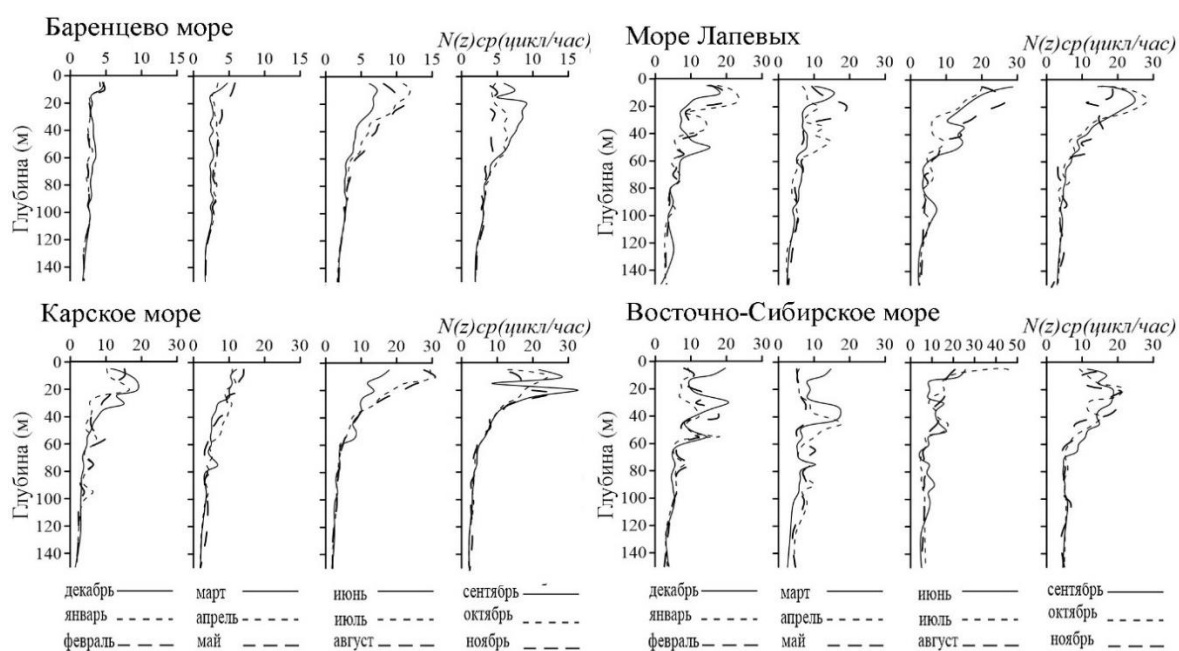
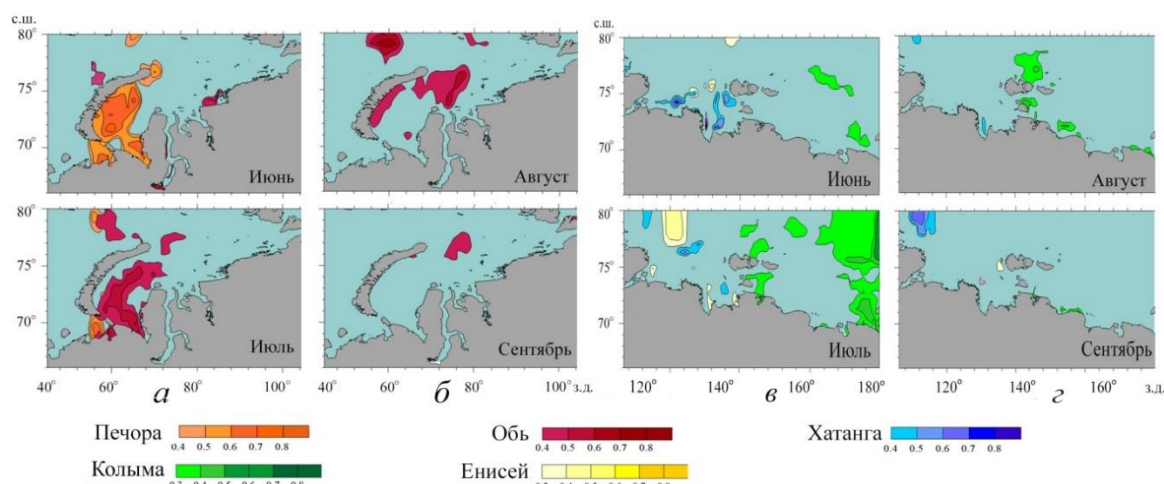


Рис. 1. Распределение по глубине осредненных по акватории моря значений частоты плавучести

В Восточно-Сибирском море внутригодовой максимум устойчивости вод приходится на июль-август. Сезонный пикноклин прослеживается с июня по сентябрь, глубина его залегания во всех районах моря в летний период — 5 м. Среднее значение $N_{\max}(z)$ в юго-западном районе моря в августе составляет 51 цикл/час, в северном и юго-восточном районах в июле — 46 и 42 цикл/час соответственно. Максимальные значения частоты плавучести отмечены в приустьевых участках рек Колымы и Индигирки. В этих областях значения $N_{\max}(z)$ достигают 70 и 85 цикл/час. В глубоководных северном и юго-восточном районах Восточно-Сибирского моря на глубинах 25–55 м наблюдается слой постоянного пикноклина, который прослеживается на протяжении всего года. Среднее значение $N_{\max}(z)$ в слое скачка достигает 12–18 цикл/час в весенне-летний период года и 21 цикл/час в осенне-зимний.

Максимальная устойчивость вод в Чукотском море наступает в июле, а в море Бофорта — в июне. В Чукотском море плотностная стратификация наиболее выражена у западного побережья, в районе влияния опресненных вод вдоль берегового Сибирского течения. Значения $N_{\max}(z)$ достигают в июне 34 цикл/час, в июле — 37 цикл/час. В море Бофорта наибольших значений $N_{\max}(z)$ достигает в зоне воздействия стока Макензи: ≈ 80 цикл/час — в июне, ≈ 74 цикл/час — в июле. В прикромочных районах значения $N_{\max}(z)$ достигают 25–30 цикл/час.

Определено, что сток Печоры оказывает влияние на гидрологические условия юго-восточного района Баренцева моря и юго-западную часть Карского моря (рис. 2а). Коэффициенты R_0 достигают значений 0,68 в мае и 0,76 — в июне. Области влияния Оби находятся в юго-западном, северо-западном и центральном районах Карского моря (рис. 2б). Максимальные значения R_0 изменяются от 0,64 до 0,72 (с максимумом в июле). Статистически значимая связь найдена также с суммарными объемами стока за предшествующие 3 и 6 месяцев, R_3 , R_6 достигают 0,7.



Примечание. Выделенные участки — районы статистически значимых значений R (90% доверительный интервал)

Рис. 2. Карты распределения коэффициентов корреляции R_0

Изменчивость стока Енисея (рис. 2в) влияет на гидрологию восточного района Карского моря, а также северо-западного и центрального районов моря Лаптевых, где величины R_0 достигают значений 0,46–0,49. Коэффициенты R_6 , R_9 достигают значимых положительных величин вблизи побережья полуострова Таймыр, вследствие восточного переноса опресненной шельфовой линзы Карского моря. Максимум R_9 отмечен в июле $\approx 0,60$. Области значимых R_0 между объемом стока Хатанги и максимумами частоты Вьясяля-Брента по глубине лежат в западном и северо-западном районах моря Лаптевых. За период июнь–сентябрь максимальные значения коэффициентов R_0 изменяются от 0,52 до 0,85. Коэффициенты

R_0 между объемом стока Лены и максимумами частоты Вьясяля-Брента достигают статистически значимых величин от 0,44 до 0,66 (с максимумом в сентябре) в опресненной прибрежной зоне шельфа.

На плотностной стратификации Восточно-Сибирского моря отражается изменчивость стока Колымы. Коэффициенты R_0 достигают $\approx 0,62$ в июле; а R_3 , R_6 , $R_9 \approx 0,56$; 0,51; 0,50 в сентябре. Районы наибольших значений R_0 расположены на западе и востоке моря (рис. 2з).

Наибольшее влияние на плотностную стратификацию вод морей Чукотского и Бофорта оказывает сток Маккензи и Юкона за предшествующий месяц, а сток Колымы – за 3, 6 предшествующих месяцев. Влияние стока Маккензи наиболее выражено с июля по сентябрь. Области значимых коэффициентов R_1 находятся в юго-восточной и центральной частях моря Бофорта. Максимум достигает $\approx 0,60$. Влияние стока Юкона определяется в районе Берингова пролива, в северном районе Чукотского моря и на западной периферии круговорота Бофорта, куда поступают опресненные стоком Юкона воды Аляскинского прибрежного течения.

Значения коэффициентов корреляции наибольшие в сентябре, достигают 0,75. Влияние стока Колымы на плотностную стратификацию вод проявляется у западного побережья Чукотского моря, в районе Берингова пролива, залива Коцебу и на юго-западной периферии круговорота Бофорта. Величины R_6 достигают максимума в августе и сентябре и составляют $\approx 0,52$.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2024-0001.

Библиографические ссылки

1. Carmack E. C., Yamamoto-Kawai M., Haine T. W. N., Bacon S., Bluhm B. A., Lique C., Melling H., Polyakov I. V., Straneo F., Timmermans M. L., et al., 2016. Freshwater and its role in the Arctic Marine System: Sources, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and global oceans. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 121, 675–717. doi: <https://doi.org/10.1002/2015JG003140>
2. Randelhoff A., Holding J., Janout M., Sejr M. K., Babin M., Tremblay J. É., et al., 2020. Pan-arctic ocean primary production constrained by turbulent nitrate fluxes. *Front. Mar. Sci.* 7:150. doi: <https://doi.org/10.3389/fmars>.
3. Zuo H., Balmaseda M. A., Mogensen K., 2015. The new eddy-permitting ORAP5 ocean reanalysis: description, evaluation and uncertainties in climate signals. *Climate Dynamics*, doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2675-1>
4. Zuo H., Balmaseda M. A., Mogensen K., 2015. The ECMWF-MyOcean2 eddy-permitting ocean and sea-ice reanalysis ORAP5. Part 1: Implementation. *ECMWF Tech Memo* (736), doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3305.2248>
5. Букатов А. А., Соловей Н. М., Павленко Е. А. Свободные короткопериодные внутренние волны в арктических морях России // *Морской гидрофизический журнал*. 2021. Т. 37, № 6. с. 645–658. doi:10.22449/0233-7584-2021-6-645-658

УДК 631.459.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ БАССЕЙНОВОЙ СИСТЕМЫ МАЛОЙ РЕКИ

Ж. А. Буряк

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, 308015, г. Белгород, Россия, buryak@bsu.edu.ru*

Исследование посвящено оценке темпов водной эрозии почв в аграрно освоенном водосборе малой реки (р. Ворскла, Белгородская область). Для территории водосбора выполнено моделирование эрозионно-аккумулятивных процессов с использованием модели WaTEM/SEDEM, оценены темпы почвенных потерь с пашни, а также изучены особенности транспорта и перетолжения наносов до речного русла в условиях геоморфологической контрастности бассейна.

Ключевые слова: ливневая эрозия; сток наносов; пашня; WaTEM/SEDEM; речной бассейн.

MODELING EROSIONAL-ACCUMULATIVE PROCESSES TO ASSESS THE STATE OF THE SMALL RIVER BASIN SYSTEM COMPONENTS

Zh. A. Buryak

*Belgorod State National Research University, Pobedy Str., 85, 308015,
Belgorod, Russia buryak@bsu.edu.ru*

The study is devoted to assessing the rate of water erosion of soils in the agriculturally developed catchment area of a small river (Vorskla River, Belgorod Oblast). For the catchment area, modeling of erosion-accumulation processes was carried out using the WaTEM/SEDEM model. The rate of soil loss from arable land was assessed, and the features of transport and deposition of sediment to the river bed were studied under the conditions of geomorphological contrast in the basin.

Keywords: rainfall erosion; sediment runoff; arable land; WaTEM/SEDEM; river basin.

В современных исследованиях рисков проявления водной эрозии почв и ее экологических последствий (дегумификация почв, нарушение земель, деградация малых рек и др.) подходы к моделированию среднегодовых темпов склоновой эрозии интегрированы с оценками доставки наносов, вынесенных за пределы агроландшафтов водосборного бассейна [1, 2].

В сравнении с естественными темпами геологической эрозии равнинных бассейнов (0,1-3 т/га) скорости среднегодовых эрозионных потерь с пашни на аналогичных по геоморфологии склонах геометрически возрастают и могут превышать 25 т/га [3]. По результатам обобщения полевых оценок для малых водосборов (до 10 км²) коэффициента доставки наносов [4], выражающего соотношение между доставляемыми к устью наносами, суммарно перемещенному по водосбору материала, доля выносимого материала колеблется от 12 до 95% и значительно зависит от морфологии водосбора [5].

Особенности проявления водно-эрозионных процессов рассмотрены для бассейна верхнего течения р. Ворскла (Белгородская обл., Россия до границы с Украиной), расположенного в лесостепной зоне на юго-западе Среднерусской возвышенности (рис. 1).

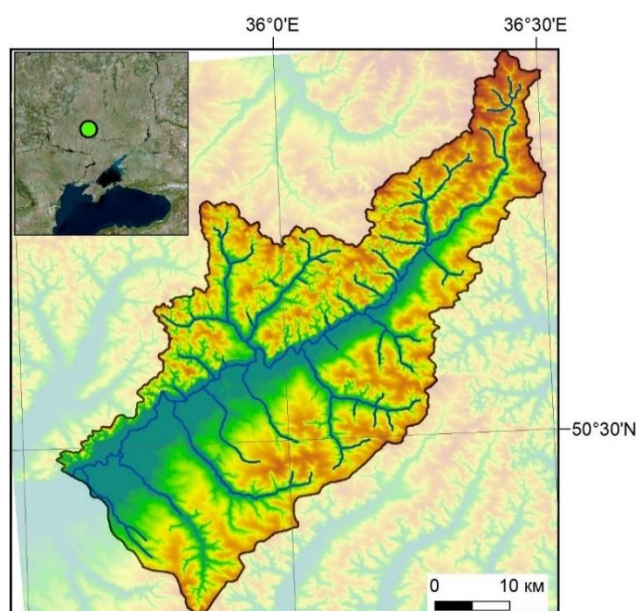


Рис. 1. Бассейн р. Ворскла

Рассматриваемая часть речной системы по протяженности (113 км) и площади водосбора (1,85 тыс. км²) позволяет отнести ее к категории малых рек. Бассейн реки является типичным примером аграрно освоенного бассейна, где распаханность составляет 58 %. В верховьях бассейна расположен Яковлевский ГОК — один из крупнейших карьеров Курской магнитной аномалии по добыче железной руды подземным способом. Таким образом, территория бассейна подвергается интенсивному антропогенному прессингу и требует комплексных решений по оптимизации недропользования, земле- и водопользования.

Особенностью данного бассейна является геоморфологическая асимметрия его макросклонов [6] и контрастность почвенных условий на них,

что определяет различных характер проявления эрозионно-аккумулятивных процессов. Левый макросклон площадью 112 тыс. га пологий и слаборасчлененный, средняя крутизна 1,7°, распахан на 68 %. Лесистость (с учетом лесополос) составляет всего 5 %. Почвенный покров агроландшафтов представлен черноземами типичными и выщелоченными.

Правый макросклон площадью 73 тыс. га характеризуется сильным вертикальным расчленением, глубокими врезами эрозионных форм и их густотой. Средняя крутизна здесь составляет 3,7°. Исторически на левом берегу Ворсклы произрастали леса, которые в процессе хозяйственного освоения сменялись пашней. Поэтому современный почвенный покров представлен здесь преимущественно черноземами оподзоленными и темно-серыми лесными почвами, имеющими низкую противоэрозионную устойчивость. Распаханность данной части бассейна составляет 42 %. Остатки реликтовых лесов до сих пор сохранились и обеспечивают достаточно высокий показатель лесистости для региона в 26 %.

Оценку суммарных эрозионных потерь в результате ливневой эрозии почв выполняли по модели WaTEM/SEDEM, которая позволяет рассчитывать баланс выносимых как с пашни, так и со всего водосбора наносов, с учетом структуры его угодий и противоэрозионной устойчивости почв (рис. 2). Для расчета LS-фактора использовали цифровую модель рельефа FABDEM.

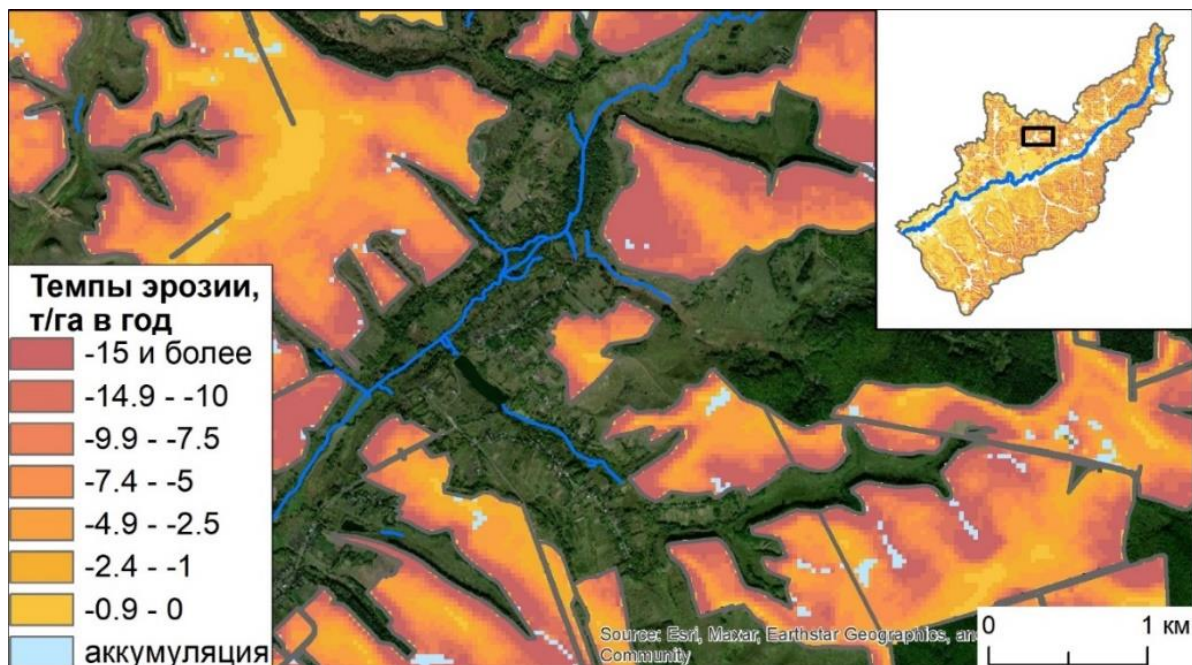


Рис. 2. Расчет темпов водной эрозии и аккумуляции с пашни по модели WaTEM/SEDEM

Результаты моделирования баланса наносов (тыс. т/год) от ливневой эрозии по макросклонам бассейна р. Ворскла

Макро-склон	Эрозия с пашни						С макросклона	
	Почвы*	Площадь, га	Доля пашни, %	Эрозия	Аккумуляция	Вынос	Вынос с поверхности	В речном стоке
Левый	Чт, Чв	76167	71,2	373,3	215,6	157,7	47,1	37,7
	Итого	76167	71,2	373,3	215,6	157,7		
Правый	Чт, Чв	20754	19,4	171,5	65,2	106,3	36,4	34,9
	Чоп	5742	5,4	56,4	23	33,4		
	СЛт	4283	4,0	56,3	26,6	29,7		
	Итого	30779	28,8	284,2	114,8	169,4		
Всего по бассейну		106946	100,0	657,5	330,4	327,1	83,5	72,6

*Чт – чернозем типичный, Чв – чернозем выщелоченный, Чоп – чернозем оподзоленный, СЛт – темно-серая лесная

Результаты моделирования (таблица) показывают, что почвенно-геоморфологические условия могут сильно дифференцировать интенсивность поступления наносов с макросклонов в пределах одного водосбора. Так правая часть бассейна, будучи в 2,5 раза меньше распаханой обеспечивает бóльший вынос педоседиментов с пашни (169 тыс. т) по сравнению с более пологим левым макросклоном (158 тыс. т). Средние темпы эрозии с пашни на левом склоне с черноземов типичных и выщелоченных составили 2,1 т/га в год. На правом склоне на тех же почвах отмечен среднегодовые почвенные потери в 5,1 т/га, а с темно-серых лесных он достигает 6,9 т/га.

Особенности транспорта и переотложения наносов до речного русла показывают, напротив, больший вклад левого макросклона в эрозионную работу. Это связано, прежде всего с пространственной организацией землепользования. Левый склон слабо обеспечен прибалочными противоэрозионными лесными полосами, а также зачастую массивы пашни примыкают непосредственно к прирусловой территории, что обеспечивает транспорт наносов непосредственно в реку. На правом берегу на прирусловых склонах и в поймах преобладают лесные массивы, которые являются перехватчиком твердого стока.

Таким образом, оценка угрозы последствий водной эрозии почв должна быть дифференцирована в зависимости от фокуса поставленной задачи (почвоохранные мероприятия на пашне или регулирование поступления наносов в речную сеть) и учитывать как эрозионный потенциал почвенно-геоморфологических факторов, так и структуру землепользования на водосборе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания №FZWG-2023-0011

Библиографические ссылки

1. On the potential of a low-complexity model to decompose the temporal dynamics of soil erosion and sediment delivery / F. Matthews, P. Panagos, A. Fendrich, G. Verstraeten // EGU sphere [preprint]. 2023.
2. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary / A. Zhidkin, A. Gennadiev, D. Fomicheva, E. Shamshurina, V. Golosov // Geoderma. 2023. Vol. 430, art. 116322.
3. Эрозия и потери органического углерода почв при распашке склонов / А. Н. Геннадиев, А. П. Жидкин, К. Р. Олсон, В. Л. Качинский // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С 32-38.
4. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М. : ГЕОС, 2006.
5. *Безухов Д. А., Голосов В. Н., Панин А. В.* Оценка коэффициента доставки наносов малых водосборов в лесостепных и степных районах Восточно-Европейской равнины // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Географическая. 2019, № 4. С. 73-84.
6. *Лисецкий Ф. Н., Буряк Ж. А., Маринина О. А.* Геоморфологическая асимметрия разнопорядковых речных бассейнов (на примере Белгородской области) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2018. Т. 160, кн. 3. С. 500-513.

УДК 551.55

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИЛЬНОГО ВЕТРА И СМЕРЧЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

И. В. Буяков, И. С. Данилович

*Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины 10,
220076 г. Минск, Беларусь, buyakov-ivan@mail.ru*

В статье исследованы пространственно-временные особенности распространения сильных ветров и смерчей на территории Республики Беларусь. На основании данных государственной гидрометеорологической сети и сведений очевидцев были проанализированы случаи смерчей и сильного ветра за 1951-2023 гг. Используя статистические и картографические методы, были выявлены районы, пострадавшие от смерчей, а также территории с наибольшей повторяемостью сильных ветров

Ключевые слова: сильный ветер; смерч; опасные гидрометеорологические явления.

THE MODERN FEATURES OF STRONG WINDS AND TORNADO DISTRIBUTION ON THE TERRITORY OF BELARUS

I. V. Buyakov, I. S. Danilovich

*The Institute of Nature Management of NAS, F. Scoryny str., 10,
220076, Minsk, Belarus, buyakov-ivan@mail.ru*

The article examines the spatiotemporal features of strong winds and tornadoes distribution across the territory of the Republic of Belarus. The cases of tornadoes and strong winds from 1951 to 2023 were analyzed based on data from the state hydrometeorological network and eyewitness information. Areas affected by tornadoes were identified, as well as areas with the highest frequency of strong winds using statistical and cartographic methods.

Keywords: strong wind; tornado; natural hazards.

Современные особенности изменения климата способствуют возрастанию числа случаев и интенсивности неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлений. Особый интерес представляют сильные ветры, шквалы и смерчи, которые, несмотря на локальный характер распространения, способны причинять значительный экономический ущерб, а также угрожать жизни и здоровью людей.

Проведен анализ распространения опасных явлений, связанных с сильным ветром (25 и 30 м/с) в период 1971-2020 гг. и смерчами на территории страны в период 1951-2023 гг.

Сильный ветер. Согласно ТКП 17.10-06-2008 «Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения», максимальная скорость ветра, включая порывы, равная и (или) превышающая 25 м/с считается опасным метеорологическим явлением [1].

Скорость ветра выше 30 м/с близка к ураганной скорости. Согласно ТКП 304-2011 Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций под ураганом понимается ветер разрушительной силы и значительной продолжительности, скорость которого превышает 32 м/с [2].

Динамика атмосферной циркуляции, и как следствие, ветровой режим характеризуется междесятилетней изменчивостью. Одним из факторов мультидекадной изменчивости климата является автоколебательный процесс перераспределения тепла в системе океан-атмосфера-континент. Чередование периодов синхронизировано с сокращением и увеличением теплосодержания верхнего слоя океана, что и обуславливает трансформацию атмосферной циркуляции и ветра [3,4]. В связи с этим в работе использованы 10-летние интервалы осреднения характеристик ветра для учета разнонаправленных тенденций ветрового режима и учета междесятилетней изменчивости параметров ветра на территории страны.

Карты пространственного распределения максимальных порывов ветра были построены по данным инструментальных измерений скорости ветра на 45 метеорологических станциях Белгидромета Минприроды. Период обобщения охватывает временной интервал с 1971 по 2020 гг. С целью выявления наиболее неблагоприятных районов по ветровой нагрузке на объекты инфраструктуры и ее изменения во времени, обозначенный период обобщения был разбит на пять подпериодов: 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2020 гг.

За каждое десятилетие выявлены районы, где максимальные порывы ветра достигали критерия опасного явления или превышали ее. Карта районов с наибольшей повторяемостью порывов ветра 25 м/с и более была получена путем наложения расчетных полей ветра за 5 десятилетий, для которых имелись доступные данные, и суммирования числа десятилетий с порывами ветра 25 м/с и более. Затем строилась карта поля ветра для подпериодов с использованием алгоритма интерполяции «Сплайн с натяжением» в программном пакете ArcGis 10.4. Для фрейма карт была задана следующая система координат: WGS_1984_UTM_Zone_35N, проекция поперечная Меркатора.

Наибольшая повторяемость сильного ветра (>25 м/с), случаи которого отмечены в 4-5 десятилетиях из 5, характерна для большей части территории Витебской области (районы метеостанций Полоцк, Шарковщина, Докшицы), южных районов Минской области и прилегающих к ним территорий соседних областей (метеостанции Слуцк, Ганцевичи, Октябрь,

Полесская), центральных и северо-восточных районов Могилевской области (метеостанции Славгород и Горки), западных и северных районов Гродненской области (метеостанции Гродно, Волковыск, Ошмяны и Воложин). Наиболее спокойный ветровой режим (повторяемость сильных ветров не превышает 1 десятилетие из 5) характерен для северной половины Минской области (метеостанции Борисов, Марьино Горка, Березино, Вилейка и Нарочь), а также южной части Гомельской области (метеостанции Житковичи, Мозырь, Брагин).

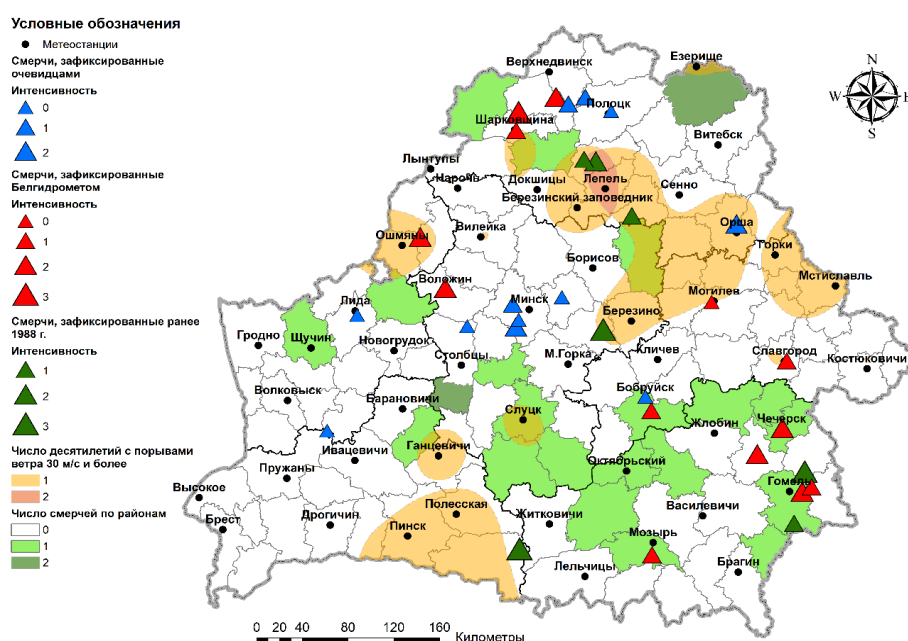
Скорость ветра выше 30 м/с близка к скорости ураганного ветра, что является неблагоприятным фактором для работы ряда отраслей экономики. Такие скорости ветра, как правило, характерны для теплого времени года и наблюдаются во время шквалов. Как показывает рисунок, случаи порывов ветра 30 м/с и более отмечены в районах, наиболее подверженных воздействию сильного ветра 25 м/с и более за исключением метеостанций Березино, Пинск и Полесская.

Смерч. Смерч представляет собой сильный маломасштабный вихрь, который приносит колоссальные разрушения и человеческие жертвы. Смерчи образуются под хорошо развитыми кучево-дождевыми облаками и распространяются в виде гигантского облачного столба, опускающегося в виде воронки к поверхности земли (или воды). В этих вертикальных вихрях, спускающихся с облаков в виде облачной воронки, развиваются скорости ветра, которые могут достигать 50 м/с и более. В результате вращения внутри смерча возникает разрежение, а вокруг ядра смерча сильные, до 70-90 м/с восходящие движения воздуха. Это приводит к тому, что встречающиеся на пути даже тяжелые предметы всасываются в область смерча, поднимаются и переносятся на большие расстояния. Обычно продолжительность такого явления в одном месте лишь несколько минут, и полоса разрушений относительно невелика — несколько десятков или сотен метров в ширину и несколько километров или десятков километров в длину.

Согласно схематической карте районирования территории бывшего СССР по смерчопасности и каталогу смерчей на территории бывшего СССР (РБ-022-01), территория Беларуси относится к смерчопасным [5].

На рисунке представлено пространственное распределение случаев смерчей на территории Беларуси за последние 70 лет. Условными знаками (треугольниками) обозначены случаи смерчей, зафиксированные официально на наблюдательной сети Белгидромета Минприроды, а также по сведениям очевидцев. Размер условного знака соответствует интенсивности явления. При отсутствии сведений о точном месте прохождения смерча, на карте цветом обозначен район, где он был зафиксирован.

В целом за рассматриваемый период на территории Беларуси зафиксировано 55 случаев смерчей, большинство из них относится к 0-2 классу интенсивности по шкале Фуджиты, крайне редко фиксируются события с интенсивностью 3 класса. Так 18 августа 1958 г. смерч образовался недалеко от д. Старый Пруд Червеньского района Минской области. Данное событие имело интенсивность EF3 и привело к значительным разрушениям в населенных пунктах Старый Пруд, Карпиловка, Хутор, Луница и Буйнов. Были разрушены жилые и хозяйственные постройки, коровник. Ширина воронки колебалась от 15 до 250 м, а пройденный путь составил 22 км. Пострадало несколько десятков человек, из них 20 потребовалась госпитализация [6].



Пространственное распределение смерчей по территории Беларуси за 1951-2023 гг. и повторяемости максимальных порывов ветра 30 м/с и более за 1971-2020 гг.

В связи с тем, что смерч явление редкое и его не всегда может зафиксировать наблюдатель на метеорологической станции, в анализ включены случаи смерчей, зафиксированных очевидцами. Согласно всем доступным сведениям о смерчах, в период с 1951 по 2023 гг. общее количество смерчей составляет 55 случаев. Наиболее часто смерчи отмечены в Гомельской области и их количество составляет 15 случаев за 70 лет, далее следуют Витебская и Минская области — по 14 случаев, в Гродненской и Могилевской областях по 5 случаев, в Брестской — 5 случаев.

Библиографические ссылки

1. ТКП 17.10-06-2008 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск : 2008. 34 с.
2. ТКП 304-2011 (02300) Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций. Общие положения. Порядок функционирования системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Минск : 2011. 44 с.
3. *Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Мельник В. И.* / Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. 2-е изд. Минск: УП «Энциклопедикс», 2020. 264 с.
4. *Логинов В. Ф., Лысенко С. А.* Современные изменения регионального и глобального климата. Минск : Беларуская навука, 2019. 314 с.
5. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии. РБ-022-01. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.secnrs.ru/documents/rbs/%D0%A0%D0%91-022-01/RB022-01r-1.htm> (дата обращения: 15.11.2023).
6. Смерчи в Беларуси. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geosum.by/blogs/tapan-m-ka/smerchi-v-belarusi.html> (дата обращения 16.11.2023).

УДК 551.515

ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Э. Д. Винер

*Российский государственный гидрометеорологический университет
г. Санкт-Петербург, Россия, elyviner@gmail.com*

Исследовано влияние североатлантических циклонов, подпитываемых энергией тропических циклонов в период 2017-2023 гг., на синоптическую ситуацию западной части Европы, Скандинавии и европейской части России и вследствие на жизнедеятельность людей, проживающих на выбранных территориях.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления; циклоны Северной Атлантики; особые случаи; последствия прохождения барического образования; социально-экономические потери.

THE IMPACT OF NORTH ATLANTIC CYCLONES ON HUMAN LIFE

E. D. Viner

*Russian State Hydrometeorological University Saint Petersburg,
Russia, elyviner@gmail.com*

The influence of North Atlantic cyclones fueled by the energy of tropical cyclones in the period 2017-2023 on the synoptic situation in the western part of Europe, Scandinavia and the European part of Russia and, consequently, on the livelihoods of people living in selected territories is studied.

Keywords: dangerous hydrometeorological phenomena; cyclones of the North Atlantic; special cases; consequences of the passage of baric formation.

Циклоны — области пониженного давления в атмосфере Земли, являющиеся атмосферными вихрями с локальной циркуляцией, структурой полей метеорологических величин и погодными условиями, которые медленно претерпевают изменения в течение всего цикла существования барического образования. Циклон именуется «носитель погоды», и прогноз его перемещения и развития считается одной из важнейших составляющих синоптического краткосрочного прогноза погоды [1, с. 326].

По месту возникновения барические образования классифицируются:

1. Тропические циклоны — формируются между 5° и 20° широты в обоих полушариях. Идентифицируются в отличие от циклонов умеренных широт меньшим размером (диаметр не более 1000 км) и имеют высокие барические градиенты и скорости ветра, достигающие уровня шторма. Траектории таких циклонов лежат с востока на запад, но способны отклоняться в сторону высоких широт. В процессе развития тропические образования могут переходить во внетропические, но часто ослабевают, когда достигают умеренных широт.

2. Внетропические циклоны — возникают в полярных и умеренных широтах. Они оказывают значительное влияние на атмосферные процессы над европейской территорией России. Это восходящие воздушные вихри очень большие по размерам — от тысячи до нескольких тысяч километров в диаметре. Из-за своих габаритов такой циклон может оказывать влияние на погодные условия огромных территорий [1, с. 328].

В работе будут исследованы *особые* случаи, когда внетропические циклоны Северной Атлантики в процессе развития объединялись в одну изобару с приближающимися к ним с юга тропическими циклонами. Таким образом тропические циклоны «подпитывали» энергией североатлантические, способствуя их регенерации и дальнейшему существованию, и влиянию на погоду западной части Европы, Скандинавии, европейской части России [2, с. 2].

Тропический циклон Leslie 12.10.2018-14.10.2018. Впервые наблюдался 12.10.2018 г. на юго-западе от штата Массачусетс ($P=976$ гПа), углубляясь (13.10 давление достигло 971 гПа), устойчиво двигался на северо-восток и 14 был у северо-западных берегов Испании ($P=1004$).

Над тропическим циклоном действовал, подпитываемый им, внетропический циклон Северной Атлантики. 12.10 он находился на юго-западе от Исландии ($P=957$ гПа), перемещался, огибая Исландию, сначала на юго-восток, а потом на северо-запад, где давление составляло 974 гПа.

В это время над Россией действовал антициклон ($P=1035$ гПа), 12 октября был зафиксирован над Тверью, 13 над Рязанью, 14 — над Воронежем, давление сохранялось, незначительно (на 2 гПа) понизившись к 14.10 (рис. 1).

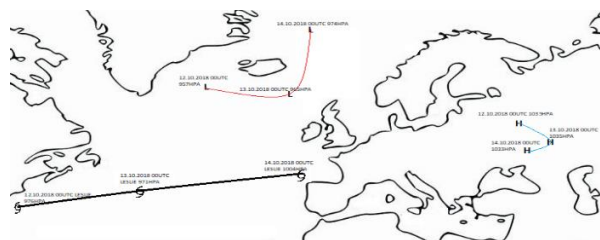


Рис. 1. Траектория тропического циклона Leslie, объединившегося с североатлантическим 12.10.2018 - 14.10.2018

Во Франции Leslie вызвал сильное наводнение, правительство объявило «красную тревогу», в городе Треб (недалеко от Каркассона) за 12 часов выпало 295 мм осадков. Около 1000 человек были срочно эвакуированы после прорыва дамбы. В деревне Вейярдоннель дома и улицы были затоплены водой, а автомобили смыты паводковыми водами. В Вейярдоннеле и Конк-сю-Орбиэль вода достигали высоты окон первого этажа. Уровень воды в реке Од поднялся более чем на 7 м и достиг 7,6 м в Требе. В городе обрушился мост. В Эро выпало не менее 210 мм осадков. Около 6000 человек остались без электричества в Оде и еще 2000 — в Эро. Набережная Леклерк в Сете была закрыта из-за прибоя высотой 7,6 м и порывов ветра 30 м/с.

Leslie влиял на синоптическую ситуацию европейской части России, Европы и Скандинавии. Это можно отчетливо увидеть, анализируя синоптическую ситуацию Сыктывкара и Нурланна в период 11.10.2018-14.10.2018 (табл. 1, 2).

Таблица 1

Синоптические условия в Сыктывкар, ULLI

Дата	Давление, гПа	Направление ветра, м/с	Явления погоды	Облачность	Видимость, км
11.10.2018	985	Северо-западный, 12	Ливневой дождь	SCT009 BKN017 Сб OVC036	10,0 и более
12.10.2018	1003	Северо-западный, 12		SCT023 Сб BKN043	10,0 и более
13.10.2018	1005	Северо-западный, 9		OVC029	10,0 и более
14.10.2018	1007	Западо-юго-западный, 3		OVC030	10,0 и более

Примечание. Ветер достигал 12 м/с; - 11 и 12 наблюдались кучево-дождевые облака, - 13 и 14 - сплошная облачность с ВНГО около 900 м.

Таблица 2

Синоптические условия в Нурланне, ENBO

Дата	Давление, гПа	Направление ветра, м/с	Явления погоды	Облачность	Видимость, км
11.10.2018	1000	Востоко-юго-восточный, 19		FEW040	10,0 и более

12.10.2018	995	Востоко-юго-восточный, 12		FEW050 SCT200	10,0 и более
13.10.2018	997	Восточный, 19		FEW030 SCT070 BKN120	10,0 и более
14.10.2018	996	Восточный, 11		FEW020 SCT040	10,0 и более

Примечание. Ветер достигал 19 м/с 11 и 13 октября.

Lee 18.09.2023-22.09.2023. Тропический циклон начал действие 18.09.2023 г. над Северной Атлантикой. Впервые зафиксирован над западными берегами Ньюфаундленда, давление составляло 995 гПа. Его траектория лежала на северо-восток, давление сохранялось до 20.09, 21 уменьшилось на 20 гПа. К 22 *Lee* заполнился на 10 гПа.

В этот период действовал внетропический циклон в районе Исландии, который подпитывался от тропического образования. 18.09 он находился у юго-западных берегов Исландии ($P=980$), двигался, огибая южный берег Исландии на северо-восток, сохранял значение давления. К 22.09 заполнился на 10 гПа.

Над Россией находился блокирующий антициклон, центр которого в начале был над Москвой ($P=1025$ гПа) за сутки переместился на северо-восток, давление уменьшилось на 5 гПа. Значение сохранялось до 20 сентября, в то время как барическое образование двигалось на юго-восток от положения 19.09. 21 сентября действовал над Челябинском. К 22.09 сменил траекторию и стал двигаться на запад, где его давление составляло 1025 гПа (рис. 2).



Рис. 2. Траектория тропического циклона *Lee*, объединившегося с североатлантическим 18.09.2023 - 22.09.2023

Тропический циклон *Lee* обрушился на Новую Шотландию, Ньюфаундленд и Лабрадор на юге Северной Атлантики. Принес дожди и штормовые ветра в некоторые районы Великобритании и Ирландии. Опасные гидрометеорологические явления, вызванные *Lee*,

обрушили сильный прибой и разрывные течения вдоль всего атлантического побережья Соединенных Штатов. Ветер с порывами ураганной силы вызвал обширные перебои в подаче электроэнергии в американском штате Мэн и в канадских провинциях Нью-Брансуик и Новая Шотландия. Последствия прохождения барического образования вызвали большие социально-экономические потери.

Фактическая погода России (Санкт-Петербург) и Европы (Уэльс) (табл. 3, 4).

Таблица 3

Синоптические условия в Санкт-Петербурге, ULLI

Дата	Давление, гПа	Направление ветра, м/с	Явления погоды	Облачность	Видимость, км
17.09.2023	1018	Южный, 2		NSC	10,0 и более
18.09.2023	1018	Западо-северо-западный, 10		BKN036	10,0 и более
19.09.2023	999	Южный, 11		FEW035	10,0 и более
20.09.2023	1000	Юго-западный, 15		SCT025 BKN040 Cb	10,0 и более
21.09.2023	1004	Западно-юго-западный, 8		BKN011	10,0 и более
22.09.2023	1013	Южный, 10		FEW036	10,0 и более

Примечание. С начала срока фиксировалось увеличение скорости ветра до 15 м/с; - 21.09 высота нижней границы разорванной облачности опускалась до 330 метров.

Таблица 4

Синоптические условия в Инвернесс, EGPE

Дата	Давление, гПа	Направление ветра, м/с	Явления погоды	Облачность	Видимость, км
17.09.2023	1019	Штиль	Дымка	NSC	1,1
18.09.2023	988	Западный, 10	Ливневой дождь	FEW011 SCT028	10,0 и более
19.09.2023	984	Юго-западный, 13		FEW022 SCT035	10,0 и более
20.09.2023	976	Юго-юго-западный, 21	Ливневой дождь	FEW020 SCT034	10,0 и более
21.09.2023	979	Юго-юго-западный, 21	Ливневой дождь	FEW015 SCT030	10,0 и более
22.09.2023	992	Юго-западный, 5	Ливневой дождь	FEW012 SCT030	10,0 и более

Примечание. С началом действия барического образования скорость ветра возросла на 10 м/с, к 20 числу достигла 21 м/с; - наименьшая ВНГО наблюдалась 18.09 – 330 м.

Циклоны Северной Атлантики, подпитываемые энергией тропических циклонов — *особые* случаи, действовавшие в период 2017-2023 гг., повлияли на синоптическую ситуацию западной части Европы, Скандинавии и европейской части России. Последствия прохождения барических образований — ураганы, торнадо, наводнения — принесли колоссальные социально-экономические потери в виде нарушения инфраструктуры (разрушение дорог, линий электропередач, телефонных вышек и др.), разрушение жилых домов и потери человеческих жизней.

Библиографические ссылки

1. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология. Лен. Гидрометеиздат; 1991 г. 616 с.
2. Винер Э. Д., Волобуева О. В. Циклоны Северной Атлантики в зимний период. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета «Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии» 11-13 октября 2023 г. Минск: Изд-во БГУ. 2023. с. 232-239. [Электронный ресурс]: <https://geo.bsu.by/index.php/nauka/konferentsii/1734-fundamentalnye-i-prikladnye-issledovaniya-v-gidrometeorologii.html>
3. Национальный центр ураганов и Центрально-тихоокеанский центр ураганов. [Электронный ресурс]: <https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/index.php?season=2023&basin=at>
4. Climate Reanalyzer. [Электронный ресурс]: <https://climatereanalyzer.org/>
5. Архив синоптических карт. [Электронный ресурс]: http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html
6. Архивы повторного реанализа. [Электронный ресурс]: wetterzentrale.de
7. Архив погоды. [Электронный ресурс]: [ventusky](http://ventusky.com)
8. Погода и климат. [Электронный ресурс]: <https://rp5.ru>

УДК 556.5(476)

АСИНХРОННОСТЬ В КОЛЕБАНИЯХ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская 267,
224017, г. Брест, Беларусь, Volchak@tut.by*

Исследован режим колебаний различных видов стока по четырем рекам Беларуси за период с 1877 по 2020 гг. С помощью коэффициентов корреляции и асинхронности дана количественная оценка синхронности в формирования стока рек Беларуси.

Ключевые слова: расходы воды рек; асинхронность; обеспеченность; корреляция.

ASYNCHRONICITY IN RIVERS FLUCTUATIONS IN BELARUS

A. A. Volchak

*Brest State Technical University, st. Moskovskaya, 267,
224017, Brest, Belarus, Volchak@tut.by*

The regime of fluctuations of various types of flow along four rivers of Belarus for the period from 1877 to 2020 was studied. Using correlation coefficients and asynchrony, a quantitative assessment of synchronicity in the formation of river runoff in Belarus is given.

Keywords: river water flows; asynchrony; availability; correlation.

Водные ресурсы любой страны являются главным природным ресурсом, т. к. их количество и качество определяют экономику, развитие биосферы и человеческого общества. В тоже время водным ресурсам присущи значительные пространственно-временные колебания, что затрудняет их количественную оценку, прогноз и использование.

Цель настоящей работы — дать количественную оценку асинхронности в колебаниях различных видов стока за характерные интервалы времени.

Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе речного стока. Системный анализ накопленной информации позволил синтезировать закономерности пространственно-временных колебаний водных ресурсов и объективно оценить их количественные характеристики, с помощью совместного использования коэффициентов асинхронности, корреляции и изменение обеспеченностей стока по территории.

В основу используемой методики положено определение эффекта асинхронности по совмещенным кривым обеспеченности суммарных хронологического и равнообеспеченного рядов значений модульных коэффициентов речного стока [1].

При построении кривой обеспеченности суммарного равнообеспеченного ряда модульные коэффициенты располагались в убывающем порядке и суммировались. Затем, в зависимости от места, занимаемого каждым членом такого суммарного убывающего ряда, ему присваивалась соответствующая обеспеченность, рассчитываемая как:

$$P = \frac{m}{n+1} 100\%$$

где m – номер члена в ранжированном ряду; n – количество членов ряда.

Построение кривой обеспеченности суммарного хронологического ряда осуществлялось путем суммирования модульных коэффициентов двух створов речного стока за соответствующие годы в хронологическом порядке, с последующим их ранжированием в убывающем порядке. Равнообеспеченные ряды получались путем суммирования предварительно ранжированных модульных коэффициентов для каждой пары точек.

Коэффициент асинхронности P -ой обеспеченности определяется как:

$$K_{ac}(P) = \frac{K_{xp}(P)}{K_{po}(P)}$$

где $K_{xp}(P) = \sum_{j=1}^K K_{ij}$ – хронологическая сумма модульных коэффициентов

для i -го года; j – количество пунктов наблюдения; $K_{po}(P) = \sum_{j=1}^K K_{pj}$ –

сумма равнообеспеченных ранжированных модульных коэффициентов для каждой j -й пары створов.

При совместной оценке водных ресурсов двух рек учет асинхронности в их формировании стока осуществлялся по зависимости:

$$Q_j(P) = K_{ac}(P) \cdot Q_k(P),$$

где $Q_j(P), Q_k(P)$ – расход воды j -й и k -й реки одинаковой обеспеченности.

Данный подход позволил оценить асинхронность в колебаниях среднегодовых, максимальных весеннего половодья, минимальных летне-осенних и зимних расходов воды рек Беларуси.

Исходными данными послужили материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за стоком 4 рек за период с 1877 по 2020 гг., т. е. 144 года, расположенных на юге, севере, западе и востоке страны: Припять в створе г. Мозыря ($Q_{\text{ср.год.}}=391 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{вес.пол.}}=1580 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.л-ос.}}=154 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.зим.}}=155 \text{ м}^3/\text{с}$), Западная Двина в створе г. Витебска ($Q_{\text{ср.год.}}=225 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{вес.пол.}}=1500 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.л-ос.}}=52,2 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.зим.}}=54,6 \text{ м}^3/\text{с}$), Неман в створе г. Гродно ($Q_{\text{ср.год.}}=194 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{вес.пол.}}=792 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.л-ос.}}=89,5 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.зим.}}=71,9 \text{ м}^3/\text{с}$), Днепр в створе г. Речицы ($Q_{\text{ср.год.}}=363 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{вес.пол.}}=1710 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.л-ос.}}=152 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{мин.зим.}}=129 \text{ м}^3/\text{с}$).

На предварительном этапе проведен статистический анализ, восстановлены пропущенные данные с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [2, 3, 4]. Для исследования влияния современного потепления климата, выполнен сравнительный анализ двух интервалов: 1877-1965 гг. период до начала массовых мелиораций, характеризующийся минимальным антропогенным воздействием и условно естественным водным режимом; с 1966 по 2020 гг. — период антропогенных воздействия и потепления климата, который в свою очередь разбит на два интервала: 1966-1986 гг. — период массовых мелиораций и 1987-2020 гг. — период современных климатических изменений.

Отдельно анализировались ряды наблюдений за последние 50 лет (1971-2020 гг.), т. е. расчетный период, рекомендуемый для определения статистических характеристик и построения математических моделей прогнозирования стока рек Беларуси.

На первом этапе выполнены расчеты обеспеченности по рассматриваемым видам стока и рекам по формуле (1). В качестве примера в табл. 1 приведены значения расходов воды за конкретный год и их обеспеченности для отдельных лет (середины расчетных интервалов). Как видно из табл. 1, наблюдается широкий разброс обеспеченностей как по годам, так и по видам стока. Поэтому при оценке водных ресурсов больших территорий необходимо учитывать асинхронность в их формировании.

Корреляционный анализ стока исследуемых рек показал существенную асинхронность в их формировании за рассматриваемый период в целом (табл. 2). Большая асинхронность имела место для интервала 1877-1965 гг. по сравнению с интервалом 1966-2020 гг., т. е. в период массовых

мелиораций и современного потепления климата. Крупномасштабные мелиорации привели к увеличению густоты речной сети и приближению ее к среднему значению по стране.

Таблица 1

Расход воды (м³/с) и обеспеченность (%) стока рек за отдельные годы

Год	Вид стока							
	Средне- годовой	Макси- мальный полово- дья	Минимальный		Средне- годовой	Макси- мальный полово- дья	Минимальный	
			летне- осенний	зимний			летне- осенний	зимний
	Припять – Мозырь				Западная Двина – Витебск			
1972	267/81,1	598/85,2	120/61,4	145/41,4	154/89,7	798/89,7	36,5/77,9	37,3/73,8
1905	315/71,7	1180/55,6	89,5/83,5	78,9/81,4	319/10,3	2080/10,3	56,8/29,0	64,9/24,8
1977	486/19,3	1190/55,9	305/3,45	117/58,6	207/57,2	1570/57,2	49,0/44,8	39,8/69,0
2004	382/51,7	1140/59,3	164/40,0	166/33,1	244/34,5	2040/34,5	52,3/39,3	131/1,38
2002	342/62,8	919/70,3	111/68,3	180/28,3	180/73,8	903/73,8	33,6/81,4	60,2/32,4
	Днепр – Речица				Неман – Гродно			
1972	246/96,6	801/82,1	121/83,5	128/43,5	155/86,2	347/91,7	95,3/33,1	28,7/98,6
1905	460/12,4	3130/11,0	146/46,2	127/44,1	196/38,6	845/30,3	88,0/46,2	68,0/51,7
1977	307/76,6	925/74,5	170/28,3	81,4/75,9	203/33,1	448/80,0	106/18,6	49,3/87,6
2004	401/27,6	1830/39,3	194/13,1	208/10,3	192/44,1	192/99,3	105/20,0	81,3/24,8
2002	304/77,9	755/88,3	125/77,9	196/15,2	161/82,8	475/74,5	55,0/98,6	56,8/80,7

Таблица 2

Матрица коэффициентов корреляции стока рек

Река – створ	Период	Вид стока			
		Средне- годовой	Максимальный половодья	Минимальный	
				летне-осенний	зимний
Западная Двина – Витебск Припять – Мо- зырь	1877 - 2020	0,33	0,48	0,28	0,52
	1877 - 1965	0,36	0,42	0,32	0,44
	1966 - 1986	0,28	0,52	0,19	0,73
	1987 - 2020	0,43	0,49	0,41	0,49
	1971 - 2020	0,33	0,39	0,32	0,43
Неман – Гродно Днепр – Речица	1877 - 2020	0,56	0,70	0,47	0,35
	1877 - 1965	0,55	0,60	0,41	0,27
	1966 - 1986	0,79	0,80	0,60	0,66
	1987 - 2020	0,58	0,35	0,72	0,38
	1971 - 2020	0,52	0,58	0,62	0,51

Современные климатические колебания внесли существенные изменения в структуру стока. Рост температуры в зимний период вызвал частые оттепели, что привело к увеличению минимальных зимних расходов, что в свою очередь привело к повсеместному снижению максимальных

расходов воды весеннего половодья. Среднегодовой сток особых изменений не претерпел. Рост минимальных летне-осенних расходов воды наблюдается на водосборах со значительными мелиорированными площадями [5].

В табл. 3 приведены значения коэффициентов асинхронности для очень многоводных ($P=5\%$) и очень маловодных ($P=95\%$) лет. При этих обеспеченностях коэффициенты асинхронности имеют максимальные отклонения от единицы. При обеспеченностях $P < 3\%$ и $P > 97\%$ коэффициенты асинхронности стремятся к единице. Величина отклонения коэффициентов асинхронности от единицы, по абсолютной величине, для маловодных лет больше, чем для многоводных.

Таблица 3

Матрица коэффициентов асинхронности стока рек

Река – створ	Обеспеченность	Вид стока			
		Среднегодовой	Максимальный половодья	Минимальный	
				летне-осенний	зимний
Зап. Двина – Витебск Припять – Мозырь	$K_{ac}(P_{5\%})$	0,87	0,96	0,90	0,97
	$K_{ac}(P_{95\%})$	1,16	1,17	1,12	1,27
Неман – Гродно Днепр – Речица	$K_{ac}(P_{5\%})$	0,88	0,88	0,93	0,91
	$K_{ac}(P_{95\%})$	1,35	1,09	1,06	1,31

В первом случае основной фактор формирования стока определяется геологическим строением водосбором рек. В многоводные годы главным в формировании стока выступают климатические факторы. Для многоводных лет $K_{ac} < 1$, т. е. вероятность синхронного формирования максимальных среднегодовых расходов воды на реках меньше и слабо зависит от направления. Для максимальных расходов весеннего половодья асинхронность более выражена в долготном направлении.

В период маловодных лет асинхронность больше в долготном направлении для среднегодового стока и минимального зимнего стока.

Полученные результаты показали, что асинхронность в формировании стока рек Беларуси существенная и ее необходимо учитывать при оценке водных ресурсов для маловодных и многоводных лет.

Библиографические ссылки

1. Логинов В. Ф., Волчек А. А. Водный баланс речных водосборов Беларуси. Минск: Тонпик, 2006. 160 с.
2. Валуев В. Е., Волчек А. А., Пойта П. С., Шведовский П. В. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. 252 с.

3. Волчек А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие. Москва : КНОРУС, 2021. 418 с.

4. Волчек А. А., Парфомук С. И. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. № 1. 2009. С. 22-30.

5. Волчек А. А., Корнеев В. Н., Парфомук С. И. Булак И. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. Брест : Альтернатива, 2017. 228 с.

УДК 556.5.06 (476)

ОЦЕНКА КОЛЕБАНИЙ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, 224017
г. Брест, Беларусь, Volchak@tut.by, zte0607@yandex.ru*

В статье представлены результаты оценки динамики водопотребления для различных отраслей экономики Белорусского Полесья за период 2000-2022 гг. Сделан вывод о сравнительно низкой эффективности использования водных ресурсов, показана необходимость рационального потребления воды за счет внедрения водосберегающих технологий, водооборотных систем.

Ключевые слова: Белорусское Полесье; динамика водопотребления; водные ресурсы; отрасли народного хозяйства; Брестская и Гомельская области.

ASSESSMENT OF FLUCTUATIONS IN WATER CONSUMPTION IN THE BELARUSIAN POLESIE

A. A. Volchek, T. E. Zubritskaya

Brest State Technical University, Moskovskaya str., 267, 224017 Brest, Belarus, Volchak@tut.by, zte0607@yandex.ru

The article presents the results of an assessment of the dynamics of water consumption for various sectors of the economy of the Belarusian Polesie for the period from 2000 to 2022. The conclusion is made about the relatively low efficiency of water resources use, the need for rational water consumption through the introduction of water-saving technologies and water circulation systems is shown.

Keywords: Belarusian Polesie; dynamics of water consumption; water resources; branches of the national economy; Brest and Gomel regions.

С увеличением населения, развитием промышленности и увеличением потребления воды возникает необходимость более эффективного использования и сохранения водных ресурсов, включая меры по очистке и повторному использованию сточных вод, улучшению систем водоснабжения и водоотведения, а также разработке новых технологий для увеличения имеющихся водных ресурсов. Это важные задачи для обеспечения устойчивого развития и сохранения природной среды.

По материалам статистической отчетности РУП «ЦНИИКИВР» — сводные данные «Водные ресурсы, их использование и качество вод за

2000-2022 годы» были структурированы, проанализированы с представлением динамики водопотребления Белорусского Полесья [1].

Территория Белорусского Полесья располагает наименьшими водными ресурсами по сравнению с другими районами Беларуси, и, по мнению экспертов, в первую очередь здесь могут наблюдаться дефициты водохозяйственного баланса. Поэтому проблема рационального использования водных ресурсов в Полесье является актуальной и требует изучения. Накопленный материал по отраслям экономики позволяют выполнить комплексный анализ состояния водопотребления в Белорусском Полесье, выявить происходящие процессы и наметить пути минимизации негативных последствий [2].

В связи с тем, что почти вся территория Брестской и Гомельской областей располагается в пределах Белорусского Полесья, а основные показатели водопотребления публикуются по областям, сводные результаты этих областей и будут характеризовать представление о водопотреблении Белорусского Полесья в целом [3].

Динамика водопотребления Белорусского Полесья отражена на рис. 1. Отмечается общая тенденция снижения потребления воды. До 2003 г. наблюдается рост общего забора воды, а затем до 2020 г. этот показатель систематически уменьшался, незначительное увеличение общего забора воды было отмечено лишь в 2011, 2012, 2021 гг. Это вызвано различными факторами. В первую очередь следует отметить спад экономики в данные периоды, изменение политики в области водопотребления и водопользования направленной на рациональное использование водных ресурсов и т. д. [4]

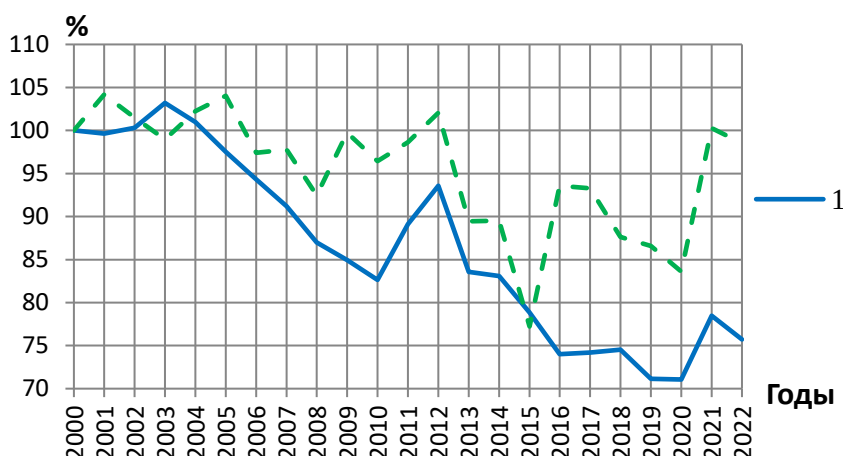


Рис. 1. Динамика использования водных ресурсов и сброса загрязненных сточных вод в Белорусском Полесье, %: 1 – общее водопотребление свежей воды; 2 – сброс сточных вод

Снижение забора пресной воды составило в 2000-2022 гг. 126,56 млн. м³. В то же время объемы водоотведения (сброса) всех видов сточных вод в по-верхностные водные объекты до 2012 г. оставались практически на одном уровне, а к 2015 г. этот показатель сократился на 24 %, и затем вновь увеличился к 2022 г. Судя по всему, это происходит за счет неадекватного изменения водоотведения в накопители, на поля фильтрации, а также свидетельствует о неучтенных данных ливневой канализации предназначенной для сбора воды — дождевой, а также образующейся в результате таяния снега и льда.

Анализ данных по использованию водных ресурсов как на региональном, так и на отраслевом уровнях осуществлялся в каждом конкретном случае с учетом всех видов использования воды — хозяйственно-питьевое, производственное, сельскохозяйственное водоснабжение, рыбо-прудовое хозяйство (рис. 2). Использование пресной воды на все нужды в Полесье в 2022 г. составило 394,94 млн. м³ против 521,5 в 2000 г. Следует учитывать, что в этот период происходило упорядочение хозяйственно-бытового водоснабжения, экономия подачи воды в распределительные сети, установка водомерных устройств, стимулирующих учет и более рациональное водопользование в жилищно-коммунальном хозяйстве.

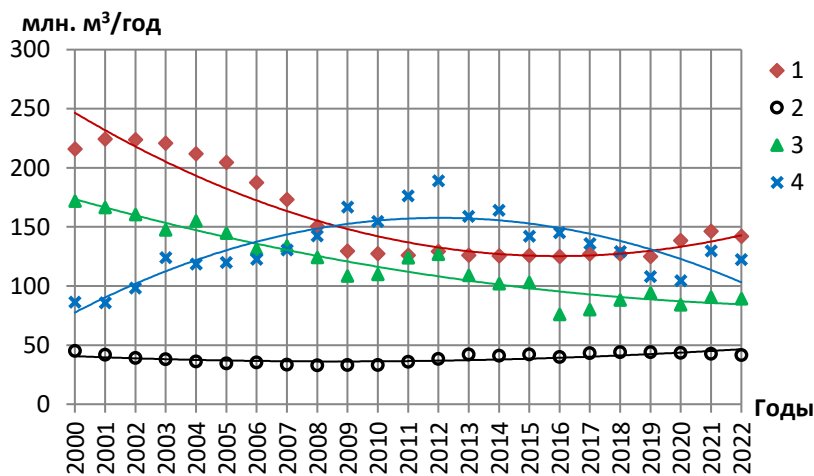


Рис. 2. Динамика использования водных ресурсов Белорусского Полесья:
1 – хозяйственно-питьевое; 2 – сельскохозяйственное; 3 – промышленное;
4 – рыбо-прудовое хозяйство

Сельское хозяйство является одной из ведущих отраслей экономики. Основные отличия сельскохозяйственного водоснабжения от промышленного заключаются в рассредоточенности потребителей и сезонной цикличности производства. Вода в данной отрасли расходуется на хозяйственно-питьевые нужды населения, на животноводческих фермах, на

предприятиях по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, на полив растений в парниках и теплицах и т. д. С 2000 г. прослеживается незначительное уменьшение водоснабжения по Белорусскому Полесью с 44,9 млн. м³/год до 32,8 млн м³/год (к 2008 г.), а затем постепенное увеличение до 41,43 млн. м³/год (к 2022 г.). Снижение использования воды на сельскохозяйственные нужды объясняется рядом проблем, таких как аварийное состояние и высокий износ элементов систем водоснабжения, недостаточное оснащение хозяйств приборами учета расхода воды, увеличение доли убыточных сельскохозяйственных организаций, уменьшение численности населения в селах. Дальнейшее постепенное увеличение объемов водоснабжения в сельском хозяйстве связано с принятием Государственной программы возрождения и развития села на 2005–2010 гг., направленной на полное удовлетворение потребностей сельского населения и сельскохозяйственных предприятий в качественной питьевой воде за счет реконструкции и развития систем центрального и локального водоснабжения, обеспечения технического переоснащения агропромышленного комплекса. Заложенные направления развития агропромышленного комплекса позже нашли продолжение и в программах на 2011–2015 и 2016–2020 гг.

В промышленном секторе вода используется для различных целей, как правило, в качестве теплоносителя или охлаждающего средства, для мойки транспорта, продукции и сырья, для парообразования и т. д. В структуре промышленного производства Брестской области преобладают машиностроение, металлообработка, пищевая промышленность. В Гомельской области — черная металлургия, топливная, химическая, нефтедобывающая, пищевая, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная отрасли. На период с 2000 по 2016 гг. по Полесью произошло снижение водопотребления в производстве на 44 %. Это вызвано внедрением водосберегающих технологий, разработок в области ресурсосбережения и энергосбережения, расширением оборотного и последовательного водоснабжения и т. д. С утверждением Положения о порядке разработки и согласования технологических нормативов водопотребления и водоотведения от 24.07.2008 г., использование воды на промышленные нужды стало более рациональным и экономным.

На период с 2017 по 2022 гг. увеличение объема водопотребления по Полесью происходит за счет ввода в эксплуатацию и выхода на проектную мощность крупных объектов деревообработки.

В промышленных предприятиях значительный объем потребляемой воды приходится на системы оборотного и повторного водоснабжения. Обустройство таких систем водоснабжения значительно снижает объем

сбрасываемых промышленных стоков и, как следствие, снижает уровень загрязненности и улучшает качество воды в водных объектах.

Рыбное хозяйство непосредственно связано с использованием водных ресурсов и предъявляет высокие требования к качественным и количественным характеристикам природных вод. Для успешного воспроизводства и нормального развития рыбы необходимы чистая вода с достаточным количеством растворенного кислорода и отсутствием вредных примесей, соответствующей температуры.

С момента принятия республиканской программы развития рыбной отрасли на 2006-2010 гг., целями и задачами которой являлось обеспечение потребности населения в рыбе и рыбных продуктах, рациональное использование рыбных ресурсов естественных водоемов, повышение качества выпускаемой продукции, наблюдается подъем водопотребления в данной отрасли более чем в два раза.

Государственная программа развития рыбохозяйственной деятельности на 2011-2015 гг. предусматривала увеличение потребления деликатесной рыбы, поставку рыбы на экспорт, увеличение объемов производства рыбной продукции. Водопотребление в рыбо-прудовом хозяйстве было максимальным в 2012 г., доля промыслового улова рыбы по Полесью составила 55 % от общего республиканского уровня. С 2013 по 2022 гг. динамика использования водных ресурсов на нужды рыбо-прудового хозяйства заметно уменьшилась. Одним из факторов снижения водопотребления стали достаточно засушливые 2014–2015 гг., также наблюдалось отклонение от нормы среднего количества осадков по Полесью. Острый дефицит воды в этот период привел к сокращению площадей для нагула рыбы и увеличению зарастаемости прудов.

Другим фактором снижения водопотребления в рыбо-прудовом хозяйстве в последние годы, стали нарушения технологии производства рыбы, что привело предприятия к серьезным убыткам в областях.

По структуре водопользования в Белорусском Полесье в 2000 г. 41% забираемой из водных объектов воды использовался на хозяйственно-питьевые нужды, 33 % — на производственные, 26 % — на сельскохозяйственные, включая рыбо-прудовое хозяйство. К 2022 г. произошли изменения в объемах забираемой воды, что повлекло за собой и преобразования в структуре водопользования, отражающиеся, в первую очередь, на социальной составляющей водопотребления. Так, объем воды на хозяйственно-питьевое водоснабжение снизился до 36 %, в промышленности — до 23 %, доля расхода воды на сельскохозяйственные нужды стала 11 %, водопотребление рыбо-прудовых хозяйств увеличилось с 17 % до 31 %. [5]

В ближайшем будущем в стране не ожидается значительных изменений в потреблении воды, и существующие водные ресурсы должны быть достаточны для удовлетворения потребностей всех отраслей экономики и экологических требований.

Библиографические ссылки

1. Окружающая среда и природные ресурсы Республики Беларусь: Статистический сб. Минстат Республики Беларусь, НИИ статистики. Минск, 2000 – 2022 гг.
2. Волчек, А. А. Проблемы водопотребления Беларуси / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2016. № 2(98). С. 7-10.
3. Волчек, А. А. Водопотребление в областных центрах Республики Беларусь / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая, Н. Н. Шешко // Вода Magazine, № 4, 2018. С. 46-52.
4. Волчек, А. А. Динамика распределения водных ресурсов Беларуси между секторами экономики / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2019. № 2(115). С. 6-9.
5. Волчек, А. А. Дифференцированная оценка колебаний водопотребления в Республике Беларусь / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания. ICER – 2022 : сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 26–28 октября 2022 г. : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. Ч. 2. С. 61-66.

УДК 556.555.6

ОЦЕНКА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК БЕЛАРУСИ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А. А. Волчек, И. Н. Розумец

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, 224017,
г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by, ivan.rozumets@bk.ru*

В работе представлены эмпирические нелинейного регрессионного модели для определения мутности воды на малых реках Беларуси при отсутствии данных наблюдений. Построенная карта мутности воды малых рек Беларуси.

Ключевые слова: сток взвешенных наносов; мутность воды; регрессионный анализ; твердый сток.

ASSESSMENT OF SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF IN RIVERS OF BELARUS IN THE ABSENCE OF OBSERVATION DATA

A. A. Volchek, I. N. Rozumets

*Brest State Technical University, st. Moskovskaya, 267, 224017, Brest, Belarus,
volchak@tut.by, ivan.rozumets@bk.ru*

The paper presents empirical nonlinear regression models for determining water turbidity on small rivers of Belarus in the absence of research data. Constructed map of water turbidity in small rivers of Belarus.

Keywords: suspended sediment runoff; water turbidity; regression analysis; solid runoff.

Введение. Речные наносы формируются в русле реки и ее пойме и являются неотъемлемой составляющей характеристикой любой речной экосистемы. Помимо экологической роли, речные наносы широко используются в строительстве как нерудные строительные материалы. Поэтому количественные и качественные характеристики наносов необходимы для решения теоретических и практических задач. Карта распределения мутности воды по территории Беларуси опубликованная в 60-х гг. XX столетия [1], имеет две градации и в неполной мере отражает реальную картину.

В настоящее время измерения наносов на реках Беларуси существенно сокращены и недостаточны для объективной оценки режима

стока наносов [2]. Поэтому в ряде случаев приходится прибегать к расчетным методам, от корректности выбора метода расчета зависит точность полученных результатов.

Целью настоящего исследования является адаптация методов регрессионного анализа к расчетам стока наносов на реках Беларуси.

Методы исследования и исходные данные. В настоящее время наблюдения за стоком наносов производится на 11 гидропостах 9 рек Беларуси. На 4 гидропостах наблюдение началось с 2018 г., поэтому включать данные реки в оценку не целесообразно. На р. Добысна наблюдения ведутся только в теплый период, что не позволяет полноценно оценить сток взвешенных наносов.

Расход наносов (R кг/с) переносимых рекой через поперечное сечение может быть определен по формуле [3]:

$$R = C \cdot Q \cdot 10^{-3},$$

где C – мутность воды, г/м³, Q – расход воды, м³/с

Анализ моделей расчета мутности воды на равнинных реках, показал, что допустимо использование регрессионных моделей [4]. В силу того, что мутность воды хорошо коррелируют с расходами воды и носит нелинейный характер, использована нелинейная регрессионная модель степенного вида [4]:

$$C = aQ^b + \delta,$$

где a и b – параметры подгонки, δ – нормально распределенная случайная ошибка.

Результаты и обсуждение. Мутность воды рек значительно меняется по живому сечению потока, по его длине и во времени. Распределение мутности по живому сечению носит сложный и в значительной мере беспорядочный характер. Как правило, мутность возрастает от поверхности ко дну. Это происходит главным образом за счет крупных фракций наносов, увеличивающихся ко дну. Мелкие же фракции обычно распределяются довольно равномерно по глубине потока. По этой причине, чем больше в составе наносов крупных фракций, тем неравномернее они распределены по глубине. С увеличением турбулентности потока распределение взвешенных наносов по вертикали становится более равномерным. Сказанное справедливо только как самая общая схема. В действительности все сложнее: схема нарушается под влиянием возникающих водоворотов и циркуляционных течений.

Еще более сложный характер носит распределение наносов по ширине реки. Здесь вообще трудно подметить сколько-нибудь отчетливо выраженную закономерность. Распределение наносов по ширине потока сильно меняется в зависимости от направления течения, местных размылов русла и берегов, впадения притоков, несущих большее или меньшее количество наносов, чем главная река.

По данным наблюдений за мутностью и расход воды методом наименьших квадратов подобраны коэффициенты регрессии для эмпирических моделей по исследуемым рекам (табл. 1).

Таблица 1

Параметры подгонки нелинейной регрессионной модели (2)

Река - створ	Параметр		
	a	b	r^2
р. Виляя – г. Вилейка	0,96	0,67	0,78
р. Виляя – с. Стешицы	3,68	0,13	0,74
р. Полота – с. Янково 1-е	6,32	0,01	0,40
р. Лесная – с. Тюхиничи	4,47	0,05	0,74
р. Ясельда – с. Сенин	5,09	0,12	0,80
Объединенный ряд	10,18	0,13	0,62

Для расширения зоны действия модели выполнено пространственно-временное объединение имеющихся данных в один квазивременной ряд.

Проверка адекватности полученных моделей по отдельным створам показала хорошую сходимость рассчитанных и измеренных величин (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная оценка измеренной и рассчитанной мутности воды, г/м³

Река – створ	C	C_R	$\Delta C_R, \%$
р. Виляя – г. Вилейка	7,26	7,36	1,4
р. Виляя – с. Стешицы	4,49	4,78	6,1
р. Лесная – с. Тюхиничи	4,91	4,96	0,3
р. Ясельда – с. Сенин	5,68	5,71	0,5
р. Полота – с. Янково 1-е	6,21	6,95	11,9

Регрессионные модели, полученные по среднемесячным измеренным значениям мутности и расхода воды, можно использовать только для расчета значений мутности воды месячного осреднения. Замену в уравне-

нии расхода воды иными переменными необходимо дополнительно обосновывать, так как расход воды является наилучшим вариантом для прогнозирования мутности.

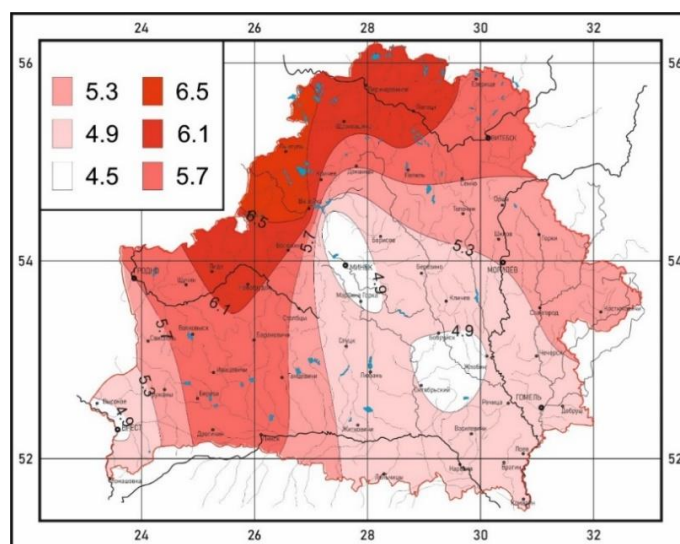
Таблица 3

Значения измеренных и рассчитанных величин мутности воды, г/м³

Год	р. Виляя – г. Вилейка		
	C	C_R	$\Delta C_R, \%$
1990	10,40	8,69	-16,5
1995	10,08	6,36	-36,9
2000	5,38	5,62	4,4
2005	6,11	7,87	28,9
2010	7,43	10,10	36,1
2015	5,55	5,75	3,5

Погрешность определения среднегодовых значений мутности воды за отдельные годы колеблется в широком диапазоне от -36,9 % до 36,1 %. Поэтому использовать данные модели для определения мутности воды рек за отдельные годы нужно с большой осторожностью.

С использованием приведенной методики построена пространственная структура распределения мутности воды за период 1990-2021 гг. (рис.). Значения среднегодовой мутности приведены в г/м³ [2, 5].



Карта среднегодовой мутности малых рек Беларуси (1990 – 2021гг.), г/м³

Выводы. Предложена эмпирическая модель определения мутности воды малых рек Беларуси при отсутствии данных наблюдений. Контроль рассчитанных значений может осуществляться по приведенной в работе

карте распределения мутности воды малых рек Беларуси за период осреднения 1990-2021 гг.

Библиографические ссылки

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат. Т. 5. ч. I. 1966. 718 с.; – ч. II. 1966. 621 с.
2. Волчек, А. А., Розумец, И. Н. Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси / Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов», приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов (Минск, 22-24 марта 2023 г.) / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, РУП «ЦНИИКИВР» ; [отв. ред. О. В. Ковзунова]. Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2023. С. 21-24.
3. Волчек А. А., Шведовский П. В., Волчек А. А., Шешко Н. Н. Гидравлика, гидрология и гидрометрия в дорожном строительстве : учебное пособие / Под ред. А. А. Волчека. Минск : РИВШ, 2020. 420 с.
4. Тананаев Н. И. Использование регрессионного анализа в расчетах стока взвешенных наносов: особенности метода // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 557-57.
5. Волчек А. А., Розумец И. Н. Пространственно-временные колебания речных наносов на территории Беларуси / Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Географические аспекты устойчивого развития регионов», (Гомель, 25-26 мая 2023 года) / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, Воронежский гос. ун-т, Гомельский обл. отдел обществ. об-ния «Белорусское геогр. о-во», Рос. центр науки и культуры в Гомеле ; [отв. ред. А. И. Павловский]. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. С. 65-69.

УДК 556.16

ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДАХ

А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук

*Брестский государственный технический университет, ул.Московская,267,
224017, г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by*

В данной статье рассмотрены многолетние колебания максимальных расходов весеннего половодья реки Припять в створе г. Мозыря за 142-летний период наблюдений. Для оценки периодических составляющих в исследуемом ряду использован метод эмпирической модовой декомпозиции. Данный подход позволяет выявить скрытые закономерности нелинейных нестационарных временных рядов.

Ключевые слова: максимальный сток; периодичность; эмпирическая модовая декомпозиция; внутренняя модовая функция.

IDENTIFYING HIDDEN PERIODIC COMPONENTS IN HYDROLOGICAL SERIES

A. A. Volchak, S. V. Sidak, S. I. Parfomuk

*Brest State Technical University, Moskovskaya str., 267,
224017, Brest, Belarus, volchak@tut.by*

This article examines long-term fluctuations in the maximum spring flood runoff of the Pripyat River at the Mozyr site over a 142-year observation period. To estimate the periodic components in the series under study, the method of empirical mode decomposition was used. This approach allows us to identify hidden patterns of nonlinear nonstationary time series.

Keywords: maximum runoff; periodicity; empirical mode decomposition; intrinsic mode function.

Водные ресурсы жизненно важны для человечества и имеют решающее значение для социально-экономического развития государства и устойчивости экологической среды. Происходящие во всем мире процессы изменения климата находят свое отражение в нестационарности гидрологических данных [1, с. 94]. Особенно затруднительной при анализе таких данных является задача определения цикличности колебаний стока. Решение этой проблемы имеет важное значение для понимания и прогнозирования гидрологических процессов. Периодичность колебаний стока может отражать сезонные изменения, циклические процессы или

долгосрочные тенденции в гидрологических данных. Как правило, для исследования цикличности колебаний стока применяют разностные интегральные кривые, спектральный анализ, преобразование Фурье, вейвлет-преобразование [2, с. 229]. В данном исследовании для выявления скрытых периодических составляющих в гидрологических рядах предлагается использование метода эмпирической модовой декомпозиции (empirical mode decomposition, EMD). EMD — это относительно новый метод, который позволяет работать как с нелинейными, так и с нестационарными данными. Предложенный метод имеет ряд преимуществ перед другими методами спектрального анализа: в отличие от сингулярного спектрального анализа, преобразования Фурье и вейвлет-преобразования, EMD не требует какой-либо заранее определенной функции разложения, с его помощью можно извлекать внутренние модовые функции из исходного сигнала адаптивно [3, с. 100; 4, с. 907]. Благодаря таким характеристикам метод EMD можно использовать для анализа и обработки нестационарных и нелинейных временных рядов, преодолевая ограничения традиционных методов.

Суть метода EMD заключается в декомпозиции исходного временного ряда на набор внутренних модовых функций (intrinsic mode functions, IMF) и остаток, после чего в результате анализа каждой моды отдельно или в комбинации с другими модами возможно выявление во временном ряду скрытых осцилляций, трендов, циклов и других характеристик. Каждая компонента IMF должна удовлетворять двум условиям: 1) во всем ряду данных количество экстремумов и количество пересечений нуля должно быть либо равным, либо отличаться не более чем на 1; 2) в любой точке среднее значение огибающей, определяемой локальными максимумами, и огибающей, определяемой локальными минимумами, равно нулю.

В данной работе исследование периодичности выполнено по данным наблюдений за максимальными расходами воды весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря за период инструментальных наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Период исследования составил 142 года (1877–2018 гг.).

Для временного ряда расходов речного стока $Q(t)$ ($t = 1, 2, \dots, n$, n — объем выборки) процедура EMD может быть описана следующим образом [5, с. 70]:

- 1) определить все локальные максимумы и минимумы исходного временного ряда $Q(t)$;

- 2) используя истокообразную аппроксимацию [3, с. 101], построить верхнюю $Q_{up}(t)$ и нижнюю $Q_{low}(t)$ огибающие соответствующих локальных экстремумов;
- 3) вычислить среднее значение $m(t)$ верхней и нижней огибающих:

$$m(t) = (Q_{up}(t) + Q_{low}(t))/2;$$

4) рассчитать значение разницы $w(t)$ между временным рядом $Q(t)$ и средним значением $m(t)$;

5) проверить значение разности $w(t)$:

- если $w(t)$ удовлетворяет двум условиям IMF, то $w(t)$ определяется как i -я IMF, а остаток $r(t) = Q(t) - w(t)$ заменяет $Q(t)$. Каждая i -я IMF обозначается как $c_i(t)$;

- если $w(t)$ не является IMF, тогда $w(t)$ заменяет $Q(t)$.

6) повторять шаги 1)–5) до тех пор, пока остаток $r(t)$ не станет монотонной функцией или число экстремумов будет меньше или равно 1.

Исходный временной ряд $Q(t)$ можно обозначить как сумму IMF $c_i(t)$ и остатка

$$r(t): Q(t) = \sum_{i=1}^m c_i(t) + r(t),$$

где m , $c_i(t)$ и $r(t)$ представляют собой общее количество функций IMF, i -ю IMF и остаток соответственно.

Средний период каждой IMF можно рассчитать, разделив двойной размер выборки ($2N$) на количество пересечения нуля.

Ни рис. 1 представлен многолетний ход изменения максимальных расходов весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря. К ряду в дальнейшем применен метод EMD.

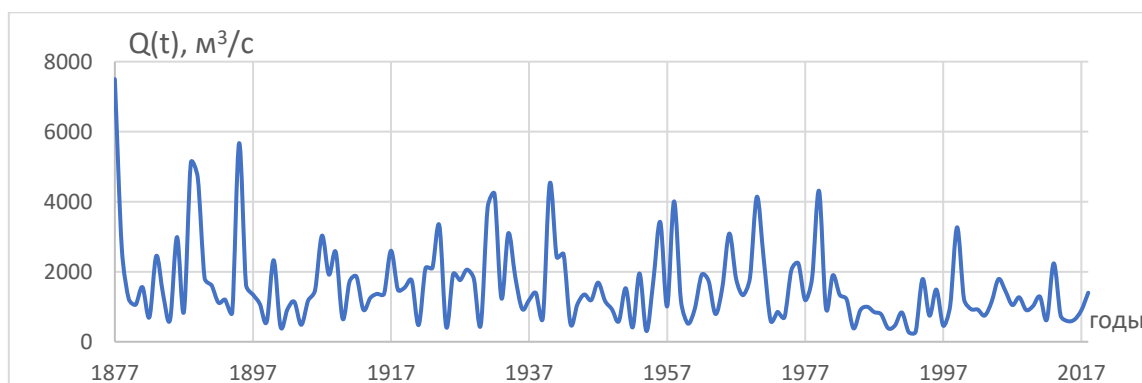


Рис. 1. Хронологический график многолетних колебаний максимального стока весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря

На рисунке 2 показаны результаты применения метода EMD к исследуемому ряду. Анализ полученных IMF выявил колебания со средними периодами 3 года (IMF1), 8 лет (IMF2), 19 лет (IMF3) и 47 лет (IMF4).

Метод EMD позволил выполнить разложение исходного ряда на четыре IMF и остаток, из которых можно сформировать фоновые составляющие или просто очистить от «помех» график исходных величин [6, с. 236]. Возможно совмещение процедуры снятия фона со сглаживанием полученного результата, если из процесса суммирования исключить самую высокочастотную модовую функцию — IMF1 [6, с. 235]. На рис. 3 в качестве примера представлены фоновые составляющие, реализованные по 3 вариантам: сумма IMF2, IMF3, IMF4 и остатка; сумма IMF3, IMF4 и остатка; сумма IMF4 и остатка.

Использованные в данной работе подходы и полученные результаты могут быть применены в дальнейшем для определения краткопериодных и длиннопериодных изменений водного режима, оценки синхронности колебаний стока рек Беларуси, а также при моделировании гидрологических процессов и получении прогнозных оценок стока.

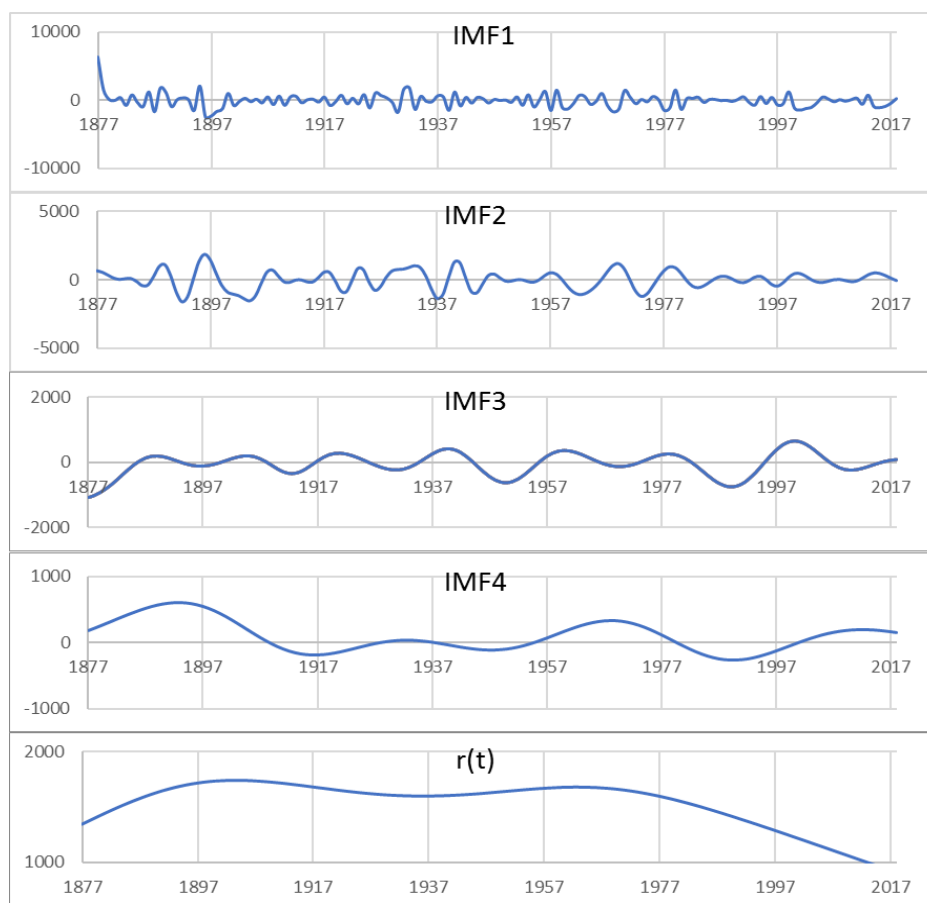


Рис.2. Разложение ряда максимальных расходов весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря на модовые функции (IMF) и остаток (r)

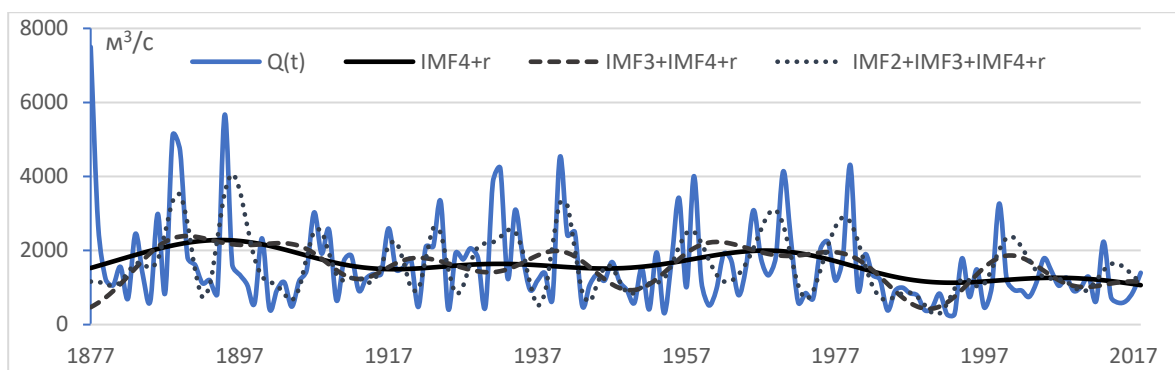


Рис.3. Формирование фоновой составляющей временного ряда максимальных расходов весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря

Библиографические ссылки

1. Volchak A. A., Sidak S. V., Parfomuk S. I. Statistical assessment of the runoff time series homogeneity of the rivers in Belarus // Vestnik of Brest State Technical University. 2021. № 3 (126). P. 92-95.
2. Volchek A. A., Sidak S. V., Parfomuk S. I. Dynamics of aquatic resources change in Belarus in modern conditions // Инновации: от теории к практике : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 21-22 окт. 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Зазерская [и др.]. Брест, 2021. С. 228-236.
3. Долгаль А. С., Христенко Л. А. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. 2017. Т. 328. № 1. С. 100-108.
4. Huang N. E., etc. The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Non-linear and Non-stationary Time Series Analysis // Proc. Royal Soc. London. 1998. Vol. 454. P. 903-995.
5. Волчек А. А., Парфомук С. И., Сидак С. В. Прогнозные оценки максимальных расходов воды реки Днепр в створе города Речицы // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. 2021. № 1 (124). С. 69-76.
6. Христенко Л. А. Метод эмпирической модовой декомпозиции при выделении информативных компонент результатов электропрофилирования // Стратегия и процессы освоения георесурсов : сб. науч. тр. Пермь : ГИ УрО РАН, 2018. Вып. 16. С. 233-237.

УДК 528.9

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек, Н. В. Усс

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267,
224017, г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by, natallyanovosad@mail.ru*

Глобальная цифровизация экономики привела к развитию геоинформационных систем, сервисов и интерактивных карт. Их разработка и актуальное информационное наполнение является одним из приоритетных направлений исследований. В статье описаны особенности создания интерактивной карты рек и водоемов Беларуси на базе геоинформационной системы ArcGIS. Разработка в настоящее время не имеет отечественных аналогов, так как доступные интерактивные карты не раскрывают в должной мере информацию о водных объектах Республики Беларусь.

Ключевые слова: интерактивная карта рек и водоемов Беларуси; геоданные; геообъекты, геоинформационные системы; ArcGIS, визуализация.

ON THE ISSUE OF DEVELOPING AN INTERACTIVE MAP RIVERS AND RESERVOIRS OF BELARUS

A. A. Volchek, N. V. Us

*Brest State Technical University, st. Moskovskaya, 267, 224017, Brest,
Belarus, volchak@tut.by, natallyanovosad@mail.ru*

The global digitalization of the economy has led to the development of geographic information systems, services and interactive maps. Their development and up-to-date information content is one of the priority areas of research. The article describes the features of creating an interactive map of rivers and reservoirs of Belarus based on the geographic information system ArcGIS. The development currently has no domestic analogues, since the available interactive maps do not adequately disclose information about the water bodies of the Republic of Belarus.

Keywords: interactive map of rivers and reservoirs of Belarus; geodata; geoobjects, geoinformation systems; ArcGIS, visualization.

В настоящее время стремительное развитие информационных технологий и активная цифровизация различных отраслей экономики требуют своевременного и быстрого обновления информации о существующих географических объектах, событиях и процессах, что сложно обеспечить с помощью традиционных бумажных карт, которые обновляются довольно редко.

Для решения этой проблемы наиболее эффективно использование электронных интерактивных карт, где в режиме реального времени можно найти любые географические объекты, а также различного рода информацию о них.

Однако далеко не на всех интерактивных картах в достаточной степени предоставлена точная и достоверная информация. Поэтому создание актуальных интерактивных карт и их информационное наполнение, которое можно своевременно редактировать и дополнять, является актуальным и важным направлением исследований.

Анализ существующих интерактивных карт показал, что в настоящее время отечественных аналогов карты, которая в полном объеме раскрывает информацию о водных объектах Беларуси не существует.

В связи с этим целью исследования является разработка актуальной интерактивной карты рек и водоемов Беларуси.

Основными направлениями применения интерактивной карты водных объектов Беларуси, являются:

- изучение географии и гидрологии страны (может помочь изучить расположение различных водных объектов, таких как реки, озера, водохранилища и др., а также их основные характеристики);
- разработка инфраструктуры и градостроительства (применяться при планировании строительства мостов, плотин и объектов, связанных с водой);
- планирование путешествий и отдыха (для планирования маршрутов путешествий по воде, например, для плавания на лодке, каяке или для рыбалки);
- образование и научные исследования (является важным инструментом для изучения и преподавания географии, гидрологии и экологии в учебных заведениях, а также для проведения научных исследований в этих областях);
- рыболовство и рыбоводство (помогает определить лучшие места для рыболовства, разведения рыбы и других видов аквакультуры).

В основе создания информационных карт могут лежать различные технологии. К ним можно отнести технологии дистанционного зондирования, технологии обработки изображений и технологии векторных и растровых данных.

Одним из наиболее распространенных является использование геоинформационных систем (ГИС). Эти системы содержат данные о пространственных объектах в цифровой форме. Они позволяют вводить, хра-

нить, обрабатывать (пространственно анализировать), обновлять, получать доступ, отображать и распространять пространственные данные с использованием цифровых карт [1]. ГИС сочетают в себе функции систем управления базами данных, редакторов растровой и векторной графики, а также инструментов анализа.

После изучения современных картографических сервисов для создания интерактивной карты рек и водоемов Беларуси выбран наиболее популярный ArcGIS Server, который по характеристикам и функциональным возможностям максимально подходит для выполнения поставленной задачи.

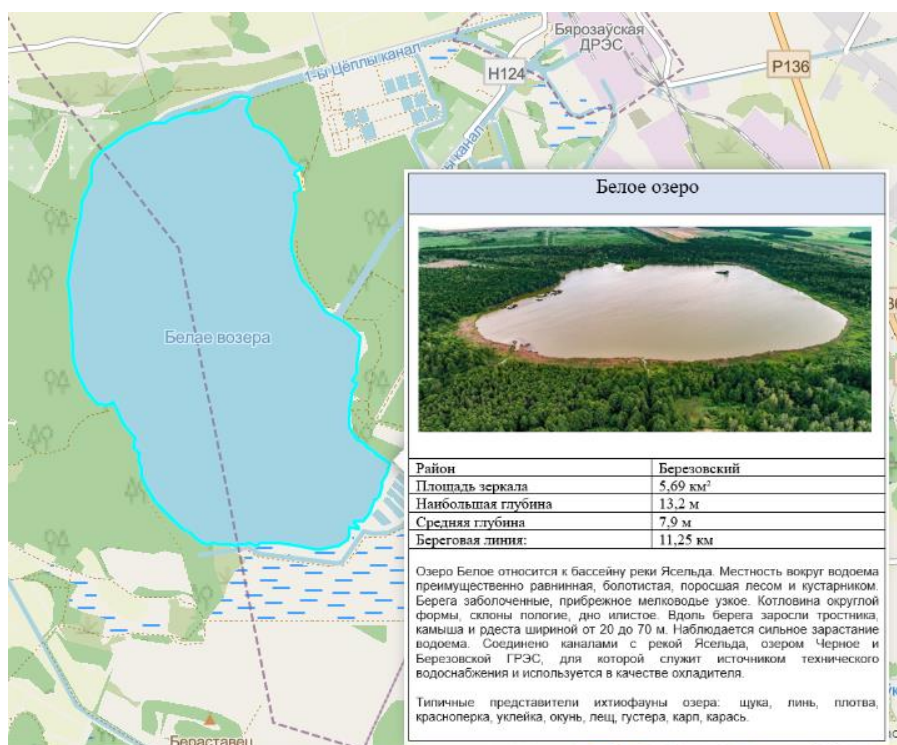
ArcGIS является семейством программных продуктов компании ESRI (США), которая является одним из лидеров на мировом рынке геоинформационных систем. Этот софт позволяет отображать статистическую информацию в виде цифровой карты с учетом географической привязки. С его помощью можно создавать и редактировать карты любого масштаба, выполнять пространственные запросы, анализ и моделирование геоданных. Система полностью интегрирована с системами управления реляционными базами данных (СУБД) [2].

Карты могут быть опубликованы и использованы в различных контекстах: в настольных приложениях, веб-браузерах, на местности, с использованием мобильных устройств. Также ArcGIS предоставляет инструменты для разработки собственных приложений [3].

ArcGIS обладает множеством функций, среди которых можно выделить следующие:

- 1) работа с линейными геообъектами;
- 2) работа с полигональными геообъектами;
- 3) создание тематических карт;
- 4) применение оверлейных операций, что позволяет работать с различными слоями картографической информации одновременно;
- 5) интеграция картографического изображения [4].

Авторами разработаны методики создания интерактивной карты с помощью программного обеспечения ArcGIS ArcMap и облачной платформы ArcGIS Online, позволяющие при выборе водного объекта открывать информационное окно с полной информацией о нем, включая фото, описание и основные характеристики (рис.).



Пример структуры информационного окна
на интерактивной карте рек и водоемов Беларуси в ArcMap

Так же изучена возможность создания Web-приложения Online-карты рек и водоемов Беларуси с использованием сервиса ArcGIS Online.

Структурная схема информационного окна интерактивной карты рек и водоемов Беларуси может содержать следующую информацию:

1) для озер: название, фото, координаты центра, бассейн реки, площадь зеркальной поверхности, длина и ширина (средняя и наибольшая), глубина (средняя и наибольшая), длина береговой линии, объем воды, описание;

2) для рек: название, фото, координаты истока и устья, наибольшая глубина и ширина, длина, средний уклон поверхности, площадь водосбора, описание;

3) для водохранилищ: название, фотография, координаты центра, площадь водного зеркала, длина и ширина, максимальная глубина, протяженность береговой линии, объем воды полный, описание.

Описание представляет собой отличительные особенности водного объекта, уникальные характеристики (для каждого вида объектов выбираются и прописываются отдельно). При необходимости могут быть включены гидрологические характеристики: уровень и расход воды, скорость течения, средняя температура воды в течение определенного периода времени, мутность и химический состав воды, прозрачность, соленость, кислотность.

Важным показателем при описании является биологическое разнообразие: наличие различных видов растений, животных и микроорганизмов. Биоразнообразие водных объектов играет ключевую роль в поддержании здоровой и стабильной экосистемы, выполняя функции фильтрации воды, регуляции климата, поддержание баланса питательных веществ. Наличие в воде вредных веществ или микроорганизмов, опасных для здоровья людей или экосистемы нужно также отобразить в описании.

Экосистемные услуги, которые люди получают от водных объектов (питьевая вода, рыболовство, рекреационная деятельность и т. д.) являются отличительным показателем водного объекта и могут быть представлены на карте.

Поскольку большинство людей лучше воспринимает визуальные данные, то важным является использование качественных фотоснимков и 3D-панорам водных объектов. Следует отметить, что количество фото- и видеоматериалов по более мелким гидрологическим объектам Беларуси в сети интернет весьма ограничено, а порой и вовсе отсутствует. Следовательно, сбор такого материала может стать целью специальных экологических экспедиций [5].

Библиографические ссылки

1. Ловцов Д. А., Черных А. М. Геоинформационные системы: учеб. пособие. М.: РАП, 2012. 193 с.
2. Кулугин Д. Н. Геоинформационные системы в картографо-геодезическом производстве : дис. маг. техн. наук : 1-51-80-01 / Д.Н. Калугин. Новополоцк, 2020. 106 с.
3. Семейство программных продуктов ArcGIS ESRI [Электронный ресурс] – Режим доступа https://stydopedya.ru/1_12721_semeystvo-programmnih-produktov-ArcGIS-ESRI.html – Дата доступа: 11.02.2024.
4. Возможности использования программы ArcGIS в экологическом проектировании водоохранных зон (на примере кольского залива) - Студенческий научный форум [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017512>. Дата доступа: 03.02.2024.
5. Акулова О. А., Розумец И. Н., Лисицкая А. А., Горбачук Е. В. Интерактивная карта рек и озер Республики Беларусь // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26-28 октября 2022 г. : в 2 ч. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. Брест: БрГТУ, 2022. Ч. 2. С. 245-252.

УДК 556.53(476)

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ
МИНИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ПЕРИОДА ОТКРЫТОГО
РУСЛА РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

А. А. Волчек, Д. А. Шпока

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, 224017,
г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by, daryashpoka@rambler.ru*

В статье представлены результаты исследований колебаний минимальных уровней воды периода открытого русла рек Белорусского Полесья за время инструментальных наблюдений по 2020 г. Установлено влияние природных факторов и антропогенного воздействия на основные статистические параметры временных рядов минимальных уровней воды периода открытого русла рек Белорусского Полесья.

Ключевые слова: уровень воды; минимальные уровни; гидрологический створ; тренды.

**SPATIAL AND TEMPORAL FLUCTUATIONS OF MINIMUM
WATER LEVELS DURING THE OPEN RIVERBED OF THE
BELARUSIAN POLESIE**

A. A. Volchak, D. A. Shpoka

*Brest State Technical University, Moskovskaya St., 267, 224017, Brest, Belarus,
volchak@tut.by, daryashpoka@rambler.ru*

The article presents the results of studies of fluctuations in the minimum water levels of the period of the open riverbed of the Belarusian Polesie during the period of instrumental observations until 2020. The influence of natural factors and anthropogenic influences on the main statistical parameters of the time series of minimum water levels during the open riverbed of the Belarusian Polesie has been established.

Keywords: water level; spring flood; hydrological range; trends.

Белорусское Полесье находится в зоне переменного увлажнения, при этом отток подземных вод в речную сеть более или менее длителен и постоянен. Минимальные уровни и сток воды в летний период наблюдаются при высоких среднесуточных температурах воздуха и при продолжительных периодах отсутствия осадков.

Летне-осенняя межень в бассейне р. Припять обычно наступает в конце мая–середине июня и заканчивается в октябре. Минимальные уровни наблюдаются в абсолютном большинстве случаев в период летне-

осенней межени, т. е. в период наименьшей водности. В отдельные годы при отсутствии осенних паводков межень может продолжаться до появления ледовых образований — середины ноября—начала декабря. Наиболее маловодный период летне-осенней межени в основном наблюдается в июле—августе, реже — в сентябре. Продолжительность его для малых и средних водотоков составляет до 130 дней, для р. Припять — 85–90 дней. Наиболее раннее начало летне-осенней межени отмечается в 1 декаде мая. Средняя продолжительность равна 120–140 дней, наибольшая — 180–220 дней. Средняя продолжительность наиболее маловодного периода летне-осенней межени составляет 20–30 дней, наибольшая — 60–140 дней. Конец летне-осенней межени относится к 3 декаде ноября–1 половине декабря. В засушливые годы (1939, 1951, 1952 и др.) в бассейне р. Припять, наблюдалось пересыхание 36 водосборов водотоков с площадями свыше 1000 км² [1].

Целью исследований является пространственно-временной анализ колебаний минимальных уровней воды периода открытого русла рек Белорусского Полесья в условиях изменяющегося климата.

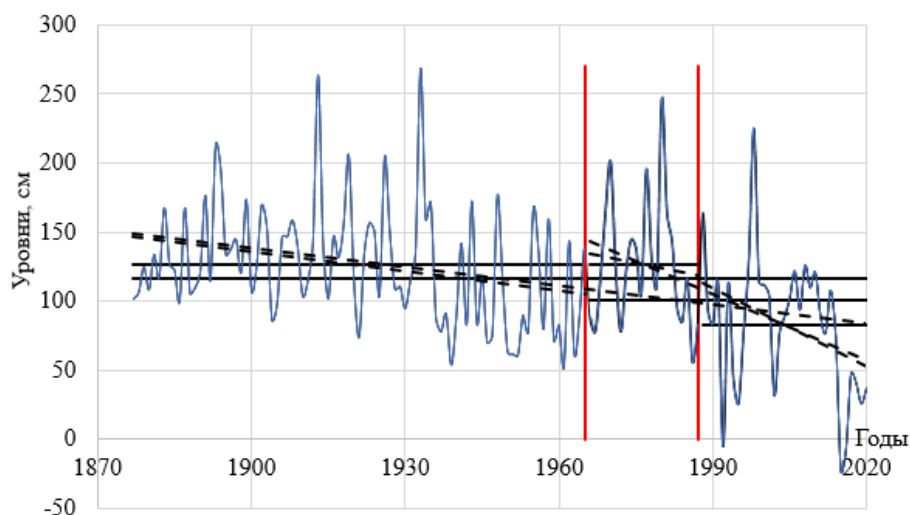
Исходные материалы и методы исследования. В работе использованы материалы наблюдений за многолетними минимальными уровнями воды периода открытого русла рек Белорусского Полесья Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за время от начала инструментальных наблюдений до 2020 г. [2].

Исследование основано на статистических методах, позволяющих получить объективную оценку колебаний уровней воды рек Белорусского Полесья на примере р. Припять.

Оценка однородности временных рядов уровней воды осуществлялась с помощью критериев Стьюдента для средних величин и Фишера для характера их колебаний по методике, приведенной в [3, 4].

Для оценки влияния антропогенного воздействия и климатических факторов имеющуюся гидрологическую информацию разбили на следующие интервалы: с начала инструментальных наблюдений до 1965 г. — период, характеризующийся минимальным антропогенным воздействием и условно естественным водным режимом; с 1966 по 2020 гг. — период крупномасштабных мелиораций и современного потепления климата, который в свою очередь разбит на два интервала: 1966–1987 гг. — период массовых мелиораций и 1988–2020 гг. — период современных климатических изменений.

Результаты исследований. На рис. 1 представлена пространственная структура средних минимальных уровней воды периода открытого русла



Условные обозначения: — — — линия тренда; горизонтальная линия – средние минимальные уровни воды периода открытого русла реки; вертикальные линии: первая линия – год начала крупномасштабной мелиорации (1965 г.), вторая линия – год начала современного потепления (1987 г.)

Рис. 2. Временной ход минимальных уровней воды периода открытого русла р. Припять – г. Мозырь.

В таблице 1 представлены средние значения уровней воды ($H_{\text{ср}}$, см) за рассматриваемые периоды, коэффициент вариации (C_v), коэффициент автокорреляции ($r(1)$), линейные тренды градиента изменения уровня воды в см за 10 лет (α , см/10 лет), коэффициент корреляции тренда (r) представлены на примере р. Припять в створе г. Мозыря [4, 5].

Таблица 1

Основные статистические характеристики минимальных уровней воды периода открытого русла р. Припять в створе г. Мозыря за различные периоды

Период наблюдений, годы	n, лет	$H_{\text{ср}}$, см	Коэффициенты			Линейные тренды $H_{\text{max}}(t) = H_{\text{max}}(0) \pm \Delta H_{\text{max}} \cdot t$	
			C_v	C_s	$r(1)$	$\alpha = 10 \cdot \Delta H_{\text{min}}$, см/10 лет	r
1877-2020	144	116	0,42	0,27	0,37	-5	-0,39
1877-1965	89	126	0,34	0,79	0,21	-5	-0,29
1966-2020	55	101	0,53	0,22	0,46	-16	-0,48
1966-1987	22	127	0,37	0,92	0,27	-8	-0,10
1988-2020	33	83	0,61	0,13	0,41	-19	-0,36

Примечание. Выделенные значения статистически значимые.

Анализ минимальных уровней воды р. Припять – г. Мозырь показал, что за все рассматриваемые периоды наблюдается уменьшение градиента. Различия средних величин отмечаются для интервалов: 1877-1965 гг. к 1966-2020 гг.; 1877-1965 гг. к 1988-2020 гг.; 1966-1987 гг. к 1966-2020 гг.;

1988-2020 гг. к 1966-1987 гг. Характер колебаний изменился в интервалы 1877-1965 гг. к 1966-2020 гг.

В таблице 2 приведены выборочные оценки статистических характеристик за периоды, а также тенденции в колебаниях уровней воды, которые оценивались с помощью линейных трендов.

Таблица 2

Статистические характеристики и параметры линейных трендов временных рядов минимальных уровней воды рек Белорусского Полесья

Период наблюдений, годы	n, лет	H _{ср} , см	Коэффициенты			Линейные тренды – H(t)=H(0)±ΔH·t	
			вариации C _v	асимметрии C _s	автокорреляции r(1)	α=10·ΔH _{min} , см/10 лет	К-т корреляции
р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)							
1979 - 2015	37	46	0,62	–0,03	0,25	–10,6	–0,37
р. Припять – д. Черничи							
1931 - 2015	85	106	1,05	0,32	0,83	35,14	0,77
р. Припять – г. Петриков							
1931 - 2015	85	431	0,14	0,53	0,31	8,48	0,23
р. Припять – г. Мозырь							
1881 - 2015	135	119	0,40	0,43	0,28	–3,98	–0,33

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик минимальных уровней воды рек Белорусского Полесья позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике уровня режима, обусловленных естественно-климатическими изменениями гидрологического цикла и антропогенным воздействием.

Библиографические ссылки

1. Волчек А. А., Грядунова О. И. Минимальный сток рек Беларуси. Брест: БрГУ, 2010. 169 с.
2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Ч. 1 Реки и каналы. Ч. 2 Озера и водохранилища. Т. III. Минск : 1881-2020 гг.
3. Валуев В. Е., Волчек А. А., Пойта П. С., Шведовский П. В. Статистические методы в природопользовании. Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. 252 с.
4. Волчек А. А. Гидрологические расчеты. Москва: КРОНУС, 2021. 418 с.
5. Калинин М. Ю., Волчек А. А. Водные ресурсы Белорусского Полесья: использование и охрана / Природные ресурсы, 2001. № 4. С. 35-49.

УДК 551.59

ВРЕМЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА ПРИШЛО

Е. Д. Вязилов

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных,
ул. Королева, 6, 249035, Обнинск. Россия, vjaz@meteo.ru*

Осуществлен анализ международных и российских документов, в которых предлагается проводить адаптацию предприятий и населения к изменениям климата, и использовать возможности информационных технологий для решения этой проблемы. Показано, что для повышения эффективности адаптации необходимо увеличение осведомленности руководителей предприятий и населения о самом экстремальном явлении, его возможных воздействиях на виды деятельности.

Ключевые слова: изменения климата; адаптация; повышение осведомленности; руководители предприятий.

THE TIME IS NOW TO ADAPT TO CLIMATE CHANGE

E. D. Viazilov

*All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information –
World Data Centre, Obninsk, Russia, vjaz@meteo.ru*

An analysis of international and Russian documents was carried out, which propose to adapt enterprises and the population to climate change, and the possibilities of using information technology to solve this problem. It is shown that in order to increase the effectiveness of adaptation, it is necessary to increase the awareness of enterprise heads and the population about natural hazards itself and its possible impacts on enterprise activities.

Keywords: natural hazards, climate change; adaptation; raising awareness; enterprise heads.

Отсутствие реальных мер по адаптации к изменениям климата на уровне территорий, поселений, предприятий и населения дорого обходится обществу. Экономические потери от экстремальных погодных и климатических явлений в Европейском союзе в период 1980-2021 гг. достигли более полутриллиона евро [1]. Мир проигрывает борьбу с экстремальными климатическими явлениями. Ущерб от опасных и экстремальных явлений (ОЯ) связан не столько с отсутствием возможности предотвратить последствия, сколько с недостаточной осведомленностью руководителей предприятий, органов государственного управления и населения.

Опыт по адаптации накапливается руководителями предприятий при принятии решений, но не собирается и теряется после того, как они уходят с этой должности. Сайты с данными по окружающей среде ориентируются на самообслуживание, что затрудняет поиск необходимой информации. К сожалению, и нормативно-правовое обеспечение адаптации не достаточное.

В статье [2] отмечается: «уже произошла трансформация проблемы из сферы академических исследований в область принятия управленческих и инвестиционных решений государства и бизнеса». Рассматривается готовность к адаптации, что может быть сделано и делается, чтобы меры по адаптации в будущем сработали. За последние десятилетия произошли события, которые существенно повлияли на возможности развития адаптации. К ним можно отнести разработку серии международных и национальных нормативно-правовых документов, в т. ч. в России и использование современных информационных технологий для адаптации.

Разработка нормативно-правовых документов. Основополагающим документом в этой области является Рамочная конвенция об изменении климата (1992), подписанная на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро. Следующим документом, направленным на уменьшение выбросов опасных для климата газов, был Киотский протокол (1997 г.). Парижское соглашение (2015 г.) тоже направлено на уменьшение выбросов в атмосферу углекислого газа в соответствии с принятыми каждой страной обязательствами.

ВМО провела работу по организации Глобальной рамочной программы для климатического обслуживания (GFCS) [3, 4], которая поддерживает, укрепляет и координирует разработку, предоставление и использование климатических услуг для содействия принятию решений путем устранения рисков, связанных с климатом, на национальном, региональном и глобальном уровнях. ВМО подготовила Руководство по климатическим наблюдениям [5], Будущее климатических сервисов [6] и много других документов. В 2014 г. Всемирный метеорологический конгресс провозгласил: «Прогноз воздействий опасных явлений на промышленные объекты одним из направлений деятельности национальных гидрометеорологических служб».

Первым документов для адаптации является стандарт ISO 14090:2019 Адаптация к изменениям климата. Принципы, требования и руководящие указания [7]. На его основе во Франции [8] и других странах составлены национальные планы адаптации. В США в 2023 г. разработан чрезвычайный план президента по адаптации и устойчивости, направленной на защиту уязвимых стран от последствий изменения климата [9].

В 2009 г. Европейская комиссия приняла к исполнению Белую книгу «Адаптация к изменению климата: на пути к европейской программе действий», которая предлагает программу по смягчению последствий климатических изменений. Комиссия признала, что в виду разнообразных последствий изменения климата по регионам, большинство мер по реализации стратегии адаптации должно приниматься на региональном или местном уровнях. В 2020 г. Миссия по адаптации к изменению климата, включая трансформацию общества, подготовила отчет «Климатоустойчивая Европа», который готовит Европу к изменениям климата и ускоряет переход к устойчивой Европе к 2030 г.

В Китае [10] для борьбы с негативными последствиями изменения климата в 2007 г. создан Национальный комитет по изменению климата.

В России создаются нормативно-правовые документы в области подготовки к адаптации. В 2009 г. утверждена распоряжением Президента Российской Федерации климатическая доктрина Российской Федерации [11], для выполнения которой в 2011 г. разработан План действий на 2011-2020 г. В 2019 г. [12] утвержден Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г., в 2023 г. — второй Национальный план мероприятий по адаптации к изменениям климата на период до 2025 г. [13]. На основе национальных планов разработана программа действий, охватывающая направления охраны окружающей среды для Финского залива. Имеется опыт разработки программ по адаптации и изменению климатических условий в Ростовской области и республике Башкортостан. 10 ведомств разработали планы адаптации, в которых сформулированы запросы на метеорологические и климатические данные. Главным недостатком этих планов [3] является то, что в них не указано, как будут использоваться метеорологические и климатические данные для адаптации отраслей к изменениям климата.

Бурная деятельность не привела к организации работ по адаптации на конкретных объектах. В подготовленных документах очень мало оценок воздействий от последствий изменения климата и не предлагаются меры по адаптации стран, предприятий, территорий и населения. Среди разработанных документов очень мало, приказов, предписаний, рекомендаций, специально посвященных регулированию деятельности предприятий в период ОЯ. Можно привести только межведомственное Положение о взаимодействии аварийно-спасательных служб министерств, ведомств и организаций на море и водных бассейнах России при отрыве льда от берега [14].

Нормативно-методическая база оценки последствий изменений климата и воздействий ОЯ требует существенного развития. Проблемой является отсутствие обязательности применения гидрометеорологической

информации при принятии решения, выполнении рекомендаций. Кто будет отвечать за последствия принятия решений в случае убытков на предприятии? В Китае бездействие руководителей предприятий в период ОЯ, приведшее к материальному ущербу, наказывается штрафом или увольнением [10].

Повышение осведомленности руководителей предприятий и населения. Для повышения осведомленности руководителей предприятий и населения необходимо существенно повысить уровень автоматизации ГМО руководителей предприятий и населения [15]. Развитие гидрометеорологического обеспечения руководителей различных отраслей должно строиться на современных ИТ-достижениях. Это интеграция данных; выявления трендов, расчеты показателей пожароопасности, ветроустойчивости; организация автоматического доведения информации; прогнозирование возможных воздействий экстремальных явлений, получение рекомендаций для принятия решений.

Осуществлен анализ международных и российских документов, в которых предлагается проводить адаптацию предприятий и населения к изменениям климата и использования информационных технологий для решения этой проблемы. Показано, что основным фактором, влияющим на повышение эффективности адаптации, является увеличение осведомленности руководителей предприятий, органов государственного управления и населения о самом экстремальном явлении, его возможных воздействиях на различные виды деятельности и превентивных мероприятиях, которые необходимо выполнить до, в период и после явления. Системы раннего предупреждения могут повысить осведомленность, если они будут выпускать не только сведения о раннем предупреждении, но и выдавать прогнозы возможных воздействий и рекомендации для принятия решений.

Библиографические ссылки

1. Economic losses from climate-related extremes in Europe. 2019. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-3/assessment-1>. Accessed: 8 February 2019.
2. Анисимов О. А., Гайда И. В., Му А. Адаптация к изменению климата как путь снижения рисков для бизнеса. Журнал «Фундаментальная и прикладная климатология». 2023, т. 96 № 2, с. 224–242. URL: DOI: 10.21513/2410-8758-2023-2-224-242. Accessed: 04.01.2024.
3. Step-by-step guidelines for establishing a national framework for climate. services. Global Framework for Climate Services. 2018. WMO-No. 1206. 51 p.

4. Климатическое обслуживание для принятия решений. Краткое введение в глобальную рамочную основу для климатического обслуживания. ВМО. Global Framework for Climate Services Office. 2014. URL: https://gfcs.wmo.int/sites/default/files/GFCS_3-fold_flyer_July2014_ru.pdf. Доступ: 05.05.2023.
5. Guidelines on Climate Watches. 2005, World Meteorological Organization. WMO/TD No. 118x. 44 с.
6. Allis E., Hewitt C. D., Ndiaye O., Hama A. M., Fischer A. M., Bucher A., Shimp A., Pulwarty R., Mason S., Brunet M., Tapia B. The Future of Climate Services. Bulletin WMO. 2019, vol 68 (1). P. 50–58.
7. ГОСТ Р ИСО 14090–2019. Адаптация к изменениям климата. Принципы, требования и руководящие указания. (ISO 14090:2019, IDT). Издание официальное. М.: Стандартинформ. 2019. 26 с.
8. French National Climate Change Impact Adaptation Plan 2011–2015. ANNEXE II. Detailed action sheets. 108
9. Tomorrow.io and TomorrowNow supports the president’s emergency plan for adaptation and resilience in Africa. URL: <https://www.tomorrow.io/blog/>. Accessed: 04.01.2024.
10. Цзяо М., Сун Л., Цзян Т., Чжан Д., Чжай Ц. Выпуск в Китае заблаговременных предупреждений с учетом возможных последствий и оценки рисков. Бюллетень ВМО 64 (2). 2015, С. 9–12.
11. Климатическая доктрина Российской Федерации. Утв. распоряжением Президента Российской Федерации 01.06.2009. https://rusecounion.ru/ru/doc_rf_klimadoctrina.
12. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г. Утв. распоряжением правительства РФ от 25.12.2019 № 3183-р.
13. Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года. М.: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 марта 2023 г., №559-р, 7 с.
14. Положение о взаимодействии аварийно-спасательных служб министерств, ведомств и организаций на море и водных бассейнах России. М.: МЧС России. 1995. Утв. МЧС России 21.06.1995, Минобороны РФ 18.04.1995, Минтранс РФ 29.03.1995, Минтопэнерго РФ.
15. 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.

УДК 551.465.7

О КЛИМАТОЛОГИИ ЦИКЛОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Н. А. Вязилова, А. Е. Вязилова

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
ул. Королева, 6, 249035 г. Обнинск, Калужской обл., Россия,
nav@meteo.ru, nev5199@gmail.com*

Представлено исследование внетропических циклонов, генерируемых в районе Баренцева и Карского морей, а также циклонов, выходящих в данный район из других регионов генезиса. Траектории циклонов рассчитаны на основе данных приземного давления реанализа ERA5/ ECMWF за период с 1979 по 2022 гг. Представлено пространственное распределение плотности генезиса и затухания траекторий циклонов, количества глубоких циклонов по районам генезиса. Показаны особенности межгодовой изменчивости количества центров циклонов и индекса циклонической активности в зимнюю и летнюю половину года.

Ключевые слова: траектории циклонов; районы генезиса циклонов; циклоническая активность.

ON CLIMATOLOGY OF BARENTS SEA CYCLONES

N. A. Viazilova, A. E. Viazilova

*FGBU «RIHMI-WDC», Korolev st, 6, 249035, Obninsk, Kaluga reg.,
Russia, nav@meteo.ru, nev5199@gmail.com*

A study of extratropical cyclones generated in the area of the Barents and Kara Seas, as well as cyclones entering this area from other regions of genesis, is presented. The cyclones tracks were calculated based on automated cyclone detection/tracking algorithm based on the 6-hourly MSLP of reanalyses ERA5/ ECMWF for 1979-2022. The spatial distribution of the density of genesis and attenuation of cyclones is presented, the features of interannual variability in the number of cyclone centers and cyclone activity index in the winter and summer half of the year in the study region are shown.

Keywords: cyclonic activity; cyclone trajectories; cyclone genesis regions.

Введение. Внетропические циклоны, зарождающиеся в Северной Атлантике и прибрежных морях Европейского континента, оказывают значительное влияние на различные отрасли экономики и жизнь общества в Европейском регионе, в том числе и на европейской территории России (ЕТР). Целью настоящей работы является анализ климатических характеристик циклонов, идентифицированных в западной части арктической зоны РФ, в районе Баренцева и Карского морей в зимний и летний сезон

за период с 1979 по 2021 гг., на основе синоптических данных реанализа ERA5/ECMWF [1], отличающихся высоким пространственным разрешением. Исследование включает анализ траекторий циклонов по районам генезиса, а также особенностей пространственного распределения плотности центров циклонов и штормовой скорости ветра в этих траекториях.

Данные и методы расчета. В настоящем исследовании центры циклонов и траектории их смещения рассчитаны по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) в узлах сетки $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ реанализа ERA5/ECMWF [1]. Идентификация циклонов проведена в регионе Северной Атлантики и Европы с координатами $[30^\circ \text{с. ш.} - 85^\circ \text{с. ш.}, 50^\circ \text{з. д.} - 90^\circ \text{в. д.}]$. Центры циклонов идентифицировались автоматическим методом. Метод идентификации центров циклонов и алгоритм расчета траекторий смещения центров циклонов подробно описан в статье [2]. Из всех идентифицируемых циклонов для анализа отбирались циклоны, генерируемые в западной части арктической зоны РФ, в районе Баренцева и Карского морей $[66^\circ \text{с. ш.} - 85^\circ \text{с. ш.}, 10^\circ \text{в. д.} - 80^\circ \text{в. д.}]$, а также циклоны, выходящих в данный район из других регионов генезиса. Район генезиса для каждого циклона определялся по координатам начальной точки его траектории. Для всех циклонов, отмеченных в районе Баренцева моря, были построены карты интегральной плотности генезиса и плотности затухания циклонов. Для анализа отбирались циклоны с длиной жизни от 3 сроков наблюдения и более.

О районах генезиса траекторий циклонов Баренцева моря. Анализ интегральной плотности генезиса и затухания циклонов, рассчитанной для зимней (рис.1) и летней половины года, показывает, что основная часть циклонов, идентифицированных в районе Баренцева моря, генерируется непосредственно в данном районе.

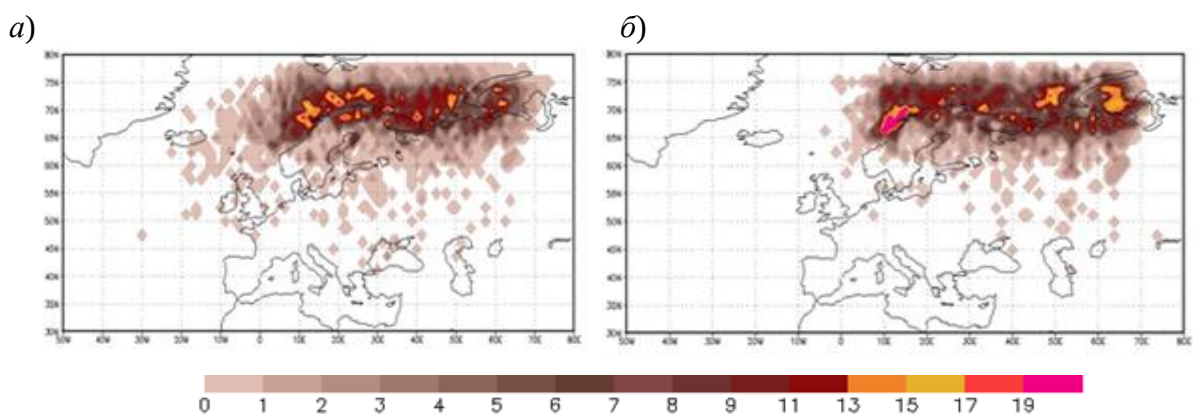


Рис. 1. Распределение интегральной плотности генезиса а) и затухания б) циклонов, траектории которых проходят через район Баренцева моря в зимнюю половину года за весь период исследования

Другая часть циклонов выходит в район Баренцева моря из полярных и умеренных широт акватории Атлантики, северных районов Европы, а также с европейской части территории России (рис.2). Максимальная плотность генезиса циклонов наблюдается в прибрежном регионе Норвежского моря и Баренцева моря. Именно в этом районе по данным исследования [3] отмечена максимальная повторяемость полярных мезоциклонов в европейском секторе Арктики в зимний сезон по спутниковым данным, а также по данным реанализов NASA-MERRA, ERA-INTERIM, NCEP-CFSR, ASR [4].

Анализ показывает, что количество траекторий циклонов, идентифицированных в районе Баренцева моря в зимнюю половину года существенно больше по сравнению с летними месяцами.

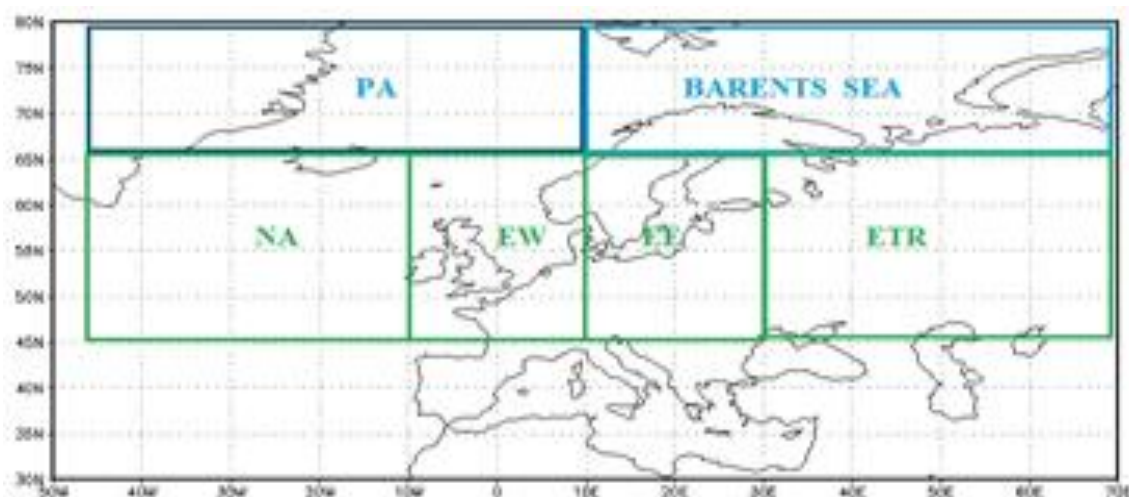


Рис. 2. Районы генезиса траекторий циклонов, идентифицированных в регионе Баренцева моря

Это различие, возможно, действительно связано с генезисом полярных циклонов, так как, согласно выводам исследований [5, 6], полярные мезоциклоны свойственны холодному периоду года, когда арктический холодный воздух натекает на более теплую морскую поверхность.

Известно, что в указанный район Атлантики, Норвежское и Баренцево море, выходят теплые воды северо-атлантической ветви течения Гольфстрим. Циклоны, генерируемые в районе Баренцева моря, представляют основную часть всех траекторий циклонов в этом районе, — около 79,6 %. Значительная часть циклонов, генерируемых как в районе Баренцева

моря, так и вышедших в данный район из приполярного района Атлантики, северных районов Европы и европейской территории России, имеет длину жизни до 2 суток.

Количество циклонов, генерируемых в умеренных широтах Атлантики, и достигших района Баренцева моря невелико, около 1 %. Их длина жизни в среднем превышает 4 суток, а отдельные атлантические циклоны имеют продолжительность более 10 суток.

Максимальная плотность затухания циклонов, идентифицируемых в районе Баренцева и Карского морей, наблюдается у западного побережья Норвегии, а также в западной части Баренцева моря и в районе Карского моря (рис.1б).

Анализ направления траекторий циклонов показал, что основная часть циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря, перемещается с запада на восток, многие из них достигают район Карского моря, другая часть циклонов смещается в близлежащие районы, и прежде всего, в район Скандинавии и на европейскую территорию России, иногда достигая ее южных районов.

Анализ траекторий циклонов позволяет выявлять основные районы генезиса и затухания циклонов. Для анализа же циклонической активности в районе исследования чаще всего рассчитывают количество центров циклонов, или используют специальные индексы, такие, например, как индекс циклонической активности [2, 7], представляющий сумму аномалий атмосферного давления в центрах циклонов.

Распределение глубоких циклонов по районам генезиса. К глубоким циклонам в данной работе относились циклоны с давлением в центре от 980 гПа и менее хотя бы раз за историю жизни.

На рисунке 3 представлены карты пространственного распределения количества центров циклонов с давлением от 980 гПа и менее в траекториях циклонов, генерируемых непосредственно в районе Баренцева моря, а также в траекториях, выходящих в данный регион из других районов генезиса (рис. 3): из западных полярных областей Атлантики (РА), западных и восточных районов Северной Европы (EW, EE), а также из умеренных широт акватории Атлантики (NA) и с европейской территории России (ETR).

Анализ карт показывает, что максимальная плотность количества центров циклонов с экстремально низким давлением наблюдается в районах генезиса циклонов, и чем дальше район генезиса от Баренцева моря, тем меньший процент таких центров достигает район исследования

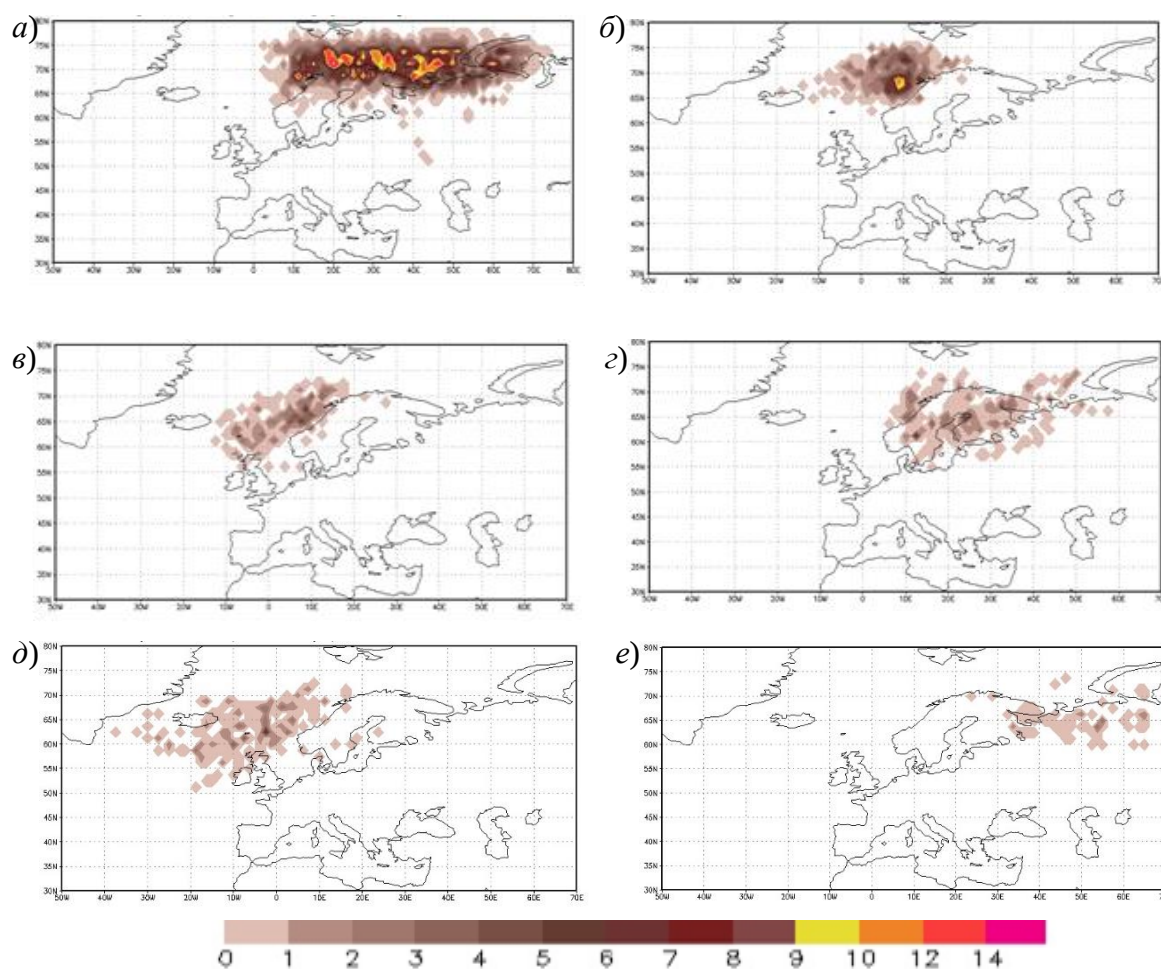
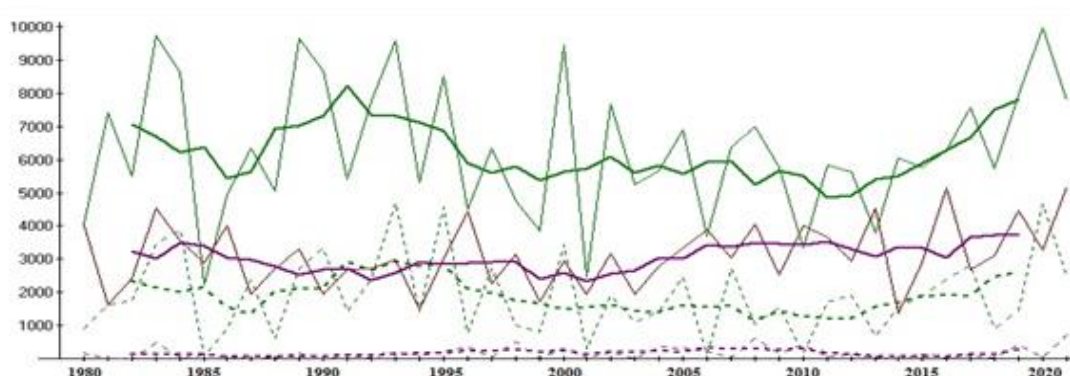


Рис.3. Распределение многолетней плотности центров циклонов с давлением в центре от 980 мб и менее в зимнюю половину года, в траекториях циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря а), а также выходящих в данный район из других регионов генезиса б) PA, в) EW, г) EE, д) NA, е) ETR

О циклонической активности в районе Баренцева моря. Анализ индекса циклонической активности, рассчитанного для всего региона Баренцева моря для зимнего и летнего сезона, показывает (рис. 4), что интенсивность циклонической активности в районе Баренцева моря в зимний сезон существенно выше по сравнению с летним периодом в течение всего времени исследования. Максимальное усиление циклонической активности в данном районе отмечалось в зимние сезоны 1989-1990, 1999-2000, 2019-2020 гг. Минимальные значения индекса циклонической активности отмечены в зимние сезоны 1984-1985, 2001-2002, 2005-2006, 2009-2010 гг. Согласно результатам исследования [2], усиление активности циклонов, как в районе Исландского минимума, основном районе циклонической активности в Северной Атлантике, так и в районе Баренцева моря в зимний сезон наблюдается в годы развития интенсивной положительной фазы се-

веро-атлантического колебания (САК). Следует отметить, что зимние сезоны 1989-1990, 1999-2000 и 2019-2020 гг. отличились достаточно интенсивным развитием положительной фазы САК, среднее значение за зимний сезон индекса НАО, являющегося основным критерием развития САК, в эти годы был равен соответственно +0.8, +0.8 и +0.5. В последние несколько лет отмечается тенденция к усилению циклонической активности в районе Баренцева моря, как в зимние, так и летние месяцы. В зимний сезон значительный вклад в циклоническую активность (более 30 %) вносят глубокие циклоны.



Обозначения: сплошная линия – все циклоны, точки – глубокие циклоны.
жирная линия – скользящие средние за пять лет.

Рис. 4. Индекс циклонической активности в районе Баренцева моря в зимнюю (зеленый цвет линий) и летнюю (бордовый цвет линий) половину года

Библиографические ссылки

1. Hersbach et. al. The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, Vol.146, Is.730. P. 1999-2049.
2. Вязилова Н. А. Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология, 2012, № 7, С. 5-14.
3. Акперов М. Г., Мохов И. И., Дембицкая М. А. Арктические мезоциклоны по спутниковым данным, данным реанализа и модельным расчетам. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 297-304.
4. Noer G., Saetra O., Lien T., Gusdal Y. A climatological study of polar lows in the Nordic Seas // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, Vol. 137, No. 660. P. 1762–1772.
5. Rasmussen E. A., Turner J. Polar lows // Cambridge: Cambridge University press, 2003, 602 p.
6. Mokhov I. I., Akperov M. G., Lagun V. E., Lutsenko E. I. Intense arctic mesocyclones // Izvestiya Atmos Ocean Phys, 2007, Vol. 43, №. 3. P. 259–265.
7. Zhang X., Walsh J., Zhang J. Climatology and Interannual Variability of Arctic Cyclone Activity: 1948-2002 // J. Climate, 2004, v.17. P. 2300-2317.

УДК 551.594.21+551.509:656.7

ГРОЗА КАК ОПАСНОЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ ДЛЯ АВИАЦИИ

Ю. А. Гледко, Е. А. Лузгина

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, gledko74@mail.ru, elllizabeta@gmail.com*

Проведен анализ повторяемости опасных метеорологических явлений для авиации, в частности, грозовых явлений, в период с 2009 по 2022 гг. Исходными данными послужили данные фактических авиационно-метеорологических наблюдений, проводившихся на аэродроме Минск-2 в исследуемый период. Проанализированы синоптические условия, способствующие образованию грозовых явлений.

Ключевые слова: опасные метеорологические явления; грозы; синоптические процессы; авиация.

THUNDERSTORM AS A DANGEROUS METEOROLOGICAL PHENOMENON FOR AVIATION

Yu. A. Hledko, E. A. Luzgina

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus,
gledko74@mail.ru, elllizabeta@gmail.com*

The analysis of the recurrence of dangerous meteorological phenomena for aviation, in particular, thunderstorms, in the period from 2009 to 2022. The initial data were the data of actual aviation and meteorological observations conducted at the Minsk-2 airfield during the study period. Synoptic conditions conducive to the formation of thunderstorm phenomena are analyzed.

Keywords: hazardous meteorological phenomena; thunderstorms; synoptic processes; aviation.

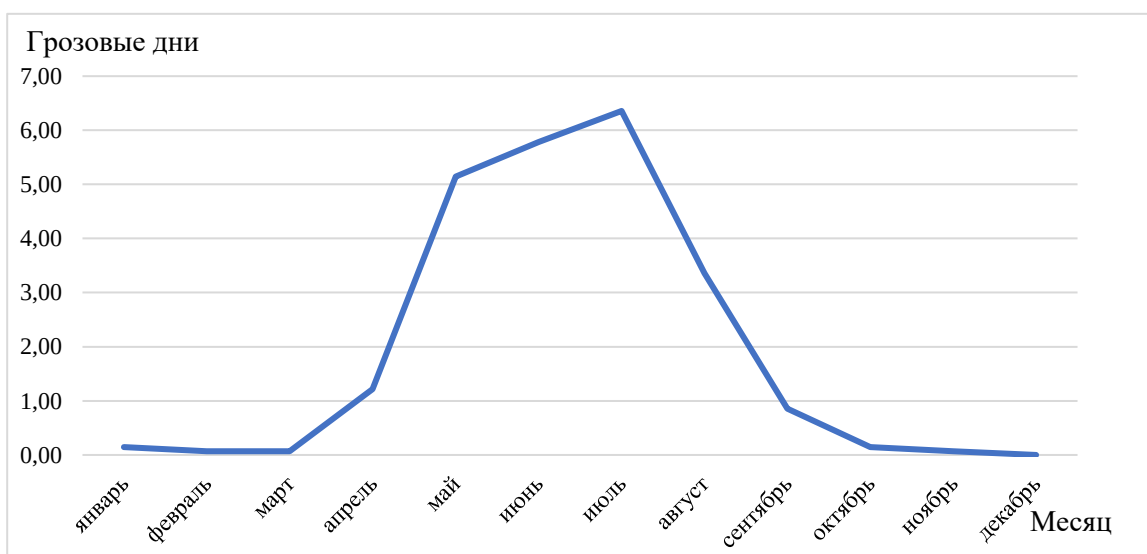
Гроза — атмосферное явление, при котором наблюдаются многократные электрические разряды (молнии) между облаками или между облаками и землей, сопровождаемые звуковым явлением — громом. Обычно при грозе наблюдаются обильные осадки в виде дождя, града и в очень редких случаях — снега. Иногда отмечаются грозы и без осадков; их называют сухими грозами. Типичными синоптическими процессами для формирования гроз являются: тыловая часть циклона, седловина, восточная периферия антициклона, размытые барические системы, заполняющиеся

циклоны. Предвестниками гроз являются башенкообразные и хлопьевидные высококучевые облака, большая величина абсолютной влажности 12-15 г/м³ и более высокая температура 20-25 °С в утренние часы [6, 7].

Прогноз конвективных явлений — актуальная и важная проблема, с которой сталкиваются не только гражданские, но и авиационные синоптики в процессе своей оперативной деятельности. В настоящей работе был проведен анализ повторяемости и возникновения гроз за период 2009-2022 гг. на примере аэродрома Минск-2.

Анализируя хронологический ход среднемесячного количества дней с грозой за 2009-2022 гг., можно отметить, что максимальное количество грозовых дней фиксируется в июле (6,4 дня), а минимальное — в декабре (0). Среднемесячный показатель составляет 1,9 дня. Грозовым период в течение года начинается в апреле и завершается в октябре, т. е. характерен только для весенне-летнего навигационного периода. В этот период наблюдается 96,7 % случаев грозовых явлений от среднегодового. Однако за рассматриваемый период отмечены отдельные случаи возникновения грозовой деятельности во всех месяцах, кроме декабря, что следует учитывать при подготовке к осенне-зимнему навигационному периоду (рисунок).

Среднемесячное количество грозовых дней за период 2009-2022 гг.



Анализ среднегодовых значений показал, что количество грозовых дней за наблюдаемый период уменьшается (таблица). Наибольший показатель увеличения количества грозовых дней характерен для августа в 2014 и 2020 гг. (отмечено по 7 грозовых дней), однако в последние годы показатель уменьшили до 4 дней в 2021 и 2022 гг. Наименьшие показатели наблюдались в 2015 г. (0 дней в год), 2011-2012 и 2018 гг. (1 день в год).

Уменьшение количества грозových дней, может быть связано с уменьшением числа дней с меридиональной южной циркуляцией. Исходя из анализа, проведенного в работе [2], суммарное число дней с меридиональной южной и меридиональной северной циркуляциями оказалось максимальным в 60-е – начале 70-х гг., в 90-е гг. XX в. и в начале текущего столетия. В 2003-2012 гг. произошло снижение суммарного числа дней с указанными типами циркуляции за счет уменьшения числа дней с меридиональной южной циркуляцией. В это же время прекратился рост среднегодовой глобальной температуры и наступило снижение среднегодовой температуры в Беларуси. В 60-е – начале 70-х гг. и в 90-е гг. прошлого столетия увеличилось число ОЯ на большей части Европейской территории СНГ. В ближайшие 2011-2030 гг., если исходить из наметившихся тенденций в изменении числа дней с меридиональной южной и меридиональной северной циркуляциями, можно ожидать снижение повторяемости ОЯ на большей части Европейской территории СНГ, включая территорию Беларуси.

Количество грозových дней за период 2009-2022 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI	год
2009				2	7	5	2	3	1				20
2010	1			1	11	9	13	6	2		1		44
2011					5	1	10	1					17
2012				2	6	5	6	1	1	1			22
2013					11	10	4	2	1				28
2014				1	8	9	9	7					34
2015				1	6	2	10		3				22
2016				3	5	6	11	3					28
2017				1	1	1	4	5	3				15
2018				3	2	8	4	1					18
2019				1	3	8	4	3					19
2020	1	1	1		1	11	5	7	1	1			29
2021					4	4	4	4					16
2022				2	1	2	3	4					18

Синоптический анализ условий возникновения и развития грозовой деятельности был проведен на примере 2010 г., т. к. в этот год, как видно

из таблицы, наблюдалось наибольшее количество грозовых дней за исследуемый период. Были проанализированы приземные карты погоды, отобранные в синоптический срок, когда наблюдалась грозовая деятельность.

На основании анализа исходной информации обнаружено, что в 2010 г. на аэродроме Минск-2 отмечены 44 случая гроз (1 случай зафиксирован в январе, 1 – в апреле, 11 – в марте, 9 – в июне, 13 – в июле, 6 – в августе, 2 – в сентябре, 1 – в ноябре).

Формирование гроз над аэродромом Минск-2 в рассматриваемый период было связано, в основном, с прохождением холодных фронтов (60 %). За наблюдаемый период отмечено 24 случая формирования гроз на холодных фронтах как в весенне-летний, так и в осенне-зимний период. На фронтах окклюзии сформировались 25 % (11 случаев) гроз, которые, также, наблюдались в течении всего года. Грозы на теплых фронтах отмечены в 7 случаях (17,5 %) и наблюдались в весенне-летний период, преимущественно в июне-июле. Средняя скорость ветра колебалась в пределах от 0 до 14 м/с. Преобладали средние скорости в пределах от 5 до 8 м/с (47,62 %), с порывами до 10-11 м/с. Скорости от 0-4 м/с составляли 45,24 %, где преобладали скорости 3-4 м/с, с порывами до 7-8 м/с. Скорость ветра более 10 м/с наблюдалась лишь в 3 случаях, которые зафиксированы для холодных фронтов. При внутримассовых грозах скорость ветра 4 м/с.

Направление ветра преимущественно северо-западное (26,83 %), которое в основном характерно для холодных фронтов. Юго-западное направление составляло 19,51 % и наблюдалось, в основном, на фронтах окклюзии. Давление во время гроз преимущественно пониженное — 1 случай менее 1000 гПа (10.11), 9 случаев от 1000 до 1005 гПа, 16 случаев 1006-1010 гПа, что в общем составляет 62 %. Повешенное давление зафиксировано при внутримассовых грозах. Для барической тенденции характерно падение.

Облачность преимущественно кучево-дождевая, в основном в сочетании с высокослоистыми и перистыми облаками (50 %). Кучевая облачность, также, наблюдается в сочетании с высокослоистыми и перистыми облаками и составляет около 12 %. Замаскированная облачность отмечена в виде высокослоистых, слоисто-кучевых и перистых облаков.

Внутримассовые грозы представляют наименьшую опасность для полетов воздушных судов, т. к. обычно самолет может свободно обходить их.

Грозы на холодных фронтах были наиболее сильные. В анализируемый период отмечены высокие скорости ветра и наличие-кучево-дождевой облачности, для которой характерны ливни и град, что представляет серьезную опасность для воздушных судов. Грозы на фронтах окклюзии в 2010 г. сопровождалась ветром с немного меньшими скоростями, однако остальные явления схожи с наблюдающимися на холодных фронтах, что

также представляет опасность для воздушных судов. На теплых фронтах грозы образовывались значительно реже и чаще всего сопровождалась замаскированной облачностью, что влияет на взлет и посадку воздушного судна, а также, представляет проблему при прогнозе [1, 3, 5].

Библиографические ссылки

1. *Гледко Ю. А.* Особенности количественных и пространственно-временных изменений опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) на территории Беларуси за период 2008-2020 гг. / Ю. А. Гледко, М. В. Медведько. Брест: БрГТУ, 2022. Ч. 1. С. 88-95.
2. *Логинов В. Ф.* Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий. // Природопользование. Выпуск 24. Минск: Минсктиппроект; 2013. С. 5-10
3. *Логинов В. Ф.* Оценка роли разных факторов в формировании гроз на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Метеорология и гидрология. 2010. № 3. С. 28-35
4. *Логинов В. Ф.* Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. Минск: Бел. навука, 2010. 129 с.
5. *Логинов В. Ф.* Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и не характерное для них время года / А. А. Волчек, И. Н. Шпока. // Природопользование. Выпуск 19. Минск: 2011. С. 5-21.
6. *Лопух П. С., Бережкова Е. С.* Анализ и прогноз пространственно-временного распределения гроз и града на территории Беларуси – Минск: Белорусский государственный университет, 2018.
7. *Позднякова В. А.* Практическая авиационная метеорология. / В. А. Позднякова. Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010 г. 113 с.

УДК 551.509.13(075.8) (476)

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ КАК КОМПОНЕНТ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕР ПО АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Ю. А. Гледко, А. М. Небышинец

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
г. Минск, Беларусь, gledko74@mail.ru, arinanebyshinec@gmail.com*

Дано определение понятия климатической уязвимости, представлена оценка климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных индексов, включающих средние и экстремальные показатели температуры воздуха, осадков и ветра. Период наблюдений охватывает 1989-2022 гг. — период потепления климата. Определены экстремумы температуры, осадков, ветра и их средние многолетние значения. Полученные значения индексов могут быть использованы при долгосрочном планировании мер адаптации к изменениям климата.

Ключевые слова: климат; климатическая уязвимость; экстремумы; климатические индексы; температура; осадки; ветер.

ASSESSMENT OF CLIMATE VULNERABILITY AS A COMPONENT OF PLANNING MEASURES FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Yu. A. Hledko, A. M. Nebyshinec

*Belorussian State University, Nezavisimosti Av., 4, Minsk, Belarus,
gledko74@mail.ru, arinanebyshinec@gmail.com*

The definition of the concept of climatic vulnerability is given, the assessment of the climatic vulnerability of the territory of Belarus is presented on the basis of dimensionless indices, including average and extreme indicators of air temperature, precipitation and wind. The observation period covers 1989-2022 – the period of climate warming. Extremes of temperature, precipitation, wind and their average long-term values are determined. The obtained index values can be used for long-term planning of adaptation measures to climate change.

Keywords: climate; climate vulnerability; extremes; climate indices; temperature; precipitation; wind.

В литературе применяется понятие «гидрометеорологическая уязвимость» страны (ГМУ), ее территорий и производственно-хозяйственных объектов. Гидрометеорологические воздействия могут проявляться в виде экономических и социальных потерь. ГМУ является сложной функцией, аргументами которой выступают: характер и частота негативных погодно-

климатических явлений; масштаб производственного объекта или процесса; его погодозависимость; степень защищенности; особенности регионального положения, отражающие метеорологический риск, и ряд других характеристик отраслевого производства. Таким образом, ГМУ рассматривается как комплексное понятие, включающее гидрометеорологические характеристики, а также макроэкономические показатели [3].

Оценки уровней уязвимости и устойчивости, это исследования, которые позволяют очертить потенциал конкретной территории справляться с изменением климата. Уязвимость оценивается как функция воздействия, чувствительности и способности к адаптации. В основу исследования положено определение индекса уязвимости (Vulnerability index). Это метрический параметр, характеризующий уязвимость системы. Индекс климатической уязвимости обычно выводится посредством сочетания (со взвешиванием или без) нескольких показателей, которые, как предполагается, представляют уязвимость [4].

Для расчета климатической уязвимости использовались данные гидрометеорологических наблюдений 42 станций сети Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторинга окружающей среды [5]. Рассматриваемый период охватывает 1989-2022 гг. — период потепления климата. Были определены экстремумы температуры, осадков и ветров и их средние многолетние значения.

Расчет климатической уязвимости производится путем перехода к безразмерным климатическим индексам. Этот метод был предложен в 2006 г. Гидрометеорологическим научно-исследовательским центром Российской Федерации, который применялся в работе Оганесян В. В. «Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов» [4] и с тех пор широко использовался в различных работах, таких как: Загребина Т. А. «Уязвимость территории при возникновении опасных природных явлений» [6], Калинин Н. А., Булгаков О. Ю., Дегтярева Л. А. «Пространственное распределение комплексных критериев погодной изменчивости по территории Пермского Края и Удмуртской Республики» [7], Коршунов А. А. «Погодно-климатические риски и их воздействие на экономику и население» [8], Данилович И. С. «Оценка климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных климатических индексов» [2]. В работе [1] была представлена оценка климатической уязвимости на примере метеостанции Марьино Горка на основе безразмерных индексов, где период наблюдений охватывает 1961-2020 гг., который условно разделен на два подпериода: 1961-1989 гг. и 1990-2020 гг.

Следует отметить, что при вычислении безразмерного индекса для температуры могут возникнуть определенные трудности, когда средние

значения близки к нулю. Поэтому в данной ситуации используется следующая формула:

$$\frac{|T_{\min}| + |T_{\max}|}{|T_{\min \text{ ср.}}| + |T_{\max \text{ ср.}}|}$$

где $T_{\min}$ и $T_{\max}$ – модули значений экстремумов температуры; $T_{\min \text{ ср.}}$ и $T_{\max \text{ ср.}}$ – сумма модулей средних значений экстремумов температуры для данного пункта. Эта формула может служить показателем «континентальности», то есть суровости климата [4].

Расчет индексов климатической уязвимости (V_i) выполнен согласно методике, представленной в работе [4] по формуле (2). Полная формула климатической уязвимости (V_i)

$$V_i = \frac{|T_{\min}| + |T_{\max}|}{|T_{\min \text{ ср.}}| + |T_{\max \text{ ср.}}|} + \frac{P_{\text{экстр}}}{P_{\text{ср}}} + \frac{F_{\text{экстр}}}{F_{\text{ср}}},$$

где $T_{\max}$ – максимальное значение из абсолютных максимумов температуры воздуха, по станции; $T_{\max \text{ ср.}}$ – среднее годовое значение из абсолютных максимумов температуры воздуха, по станции; $T_{\min}$ – минимальное значение из абсолютных минимумов температуры воздуха, обобщенное по станции; $T_{\min \text{ ср.}}$ – среднее годовое значение из абсолютных минимумов температуры воздуха, обобщенное по станции; $P_{\text{ср}}$ – средняя суточная сумма осадков, обобщенная по станции; $P_{\text{экстр}}$ – максимальная сумма осадков за год, обобщенная по станции; $F_{\text{ср}}$ – средняя годовая скорость ветра, обобщенная по станции; $F_{\text{экстр}}$ – годовой максимум из месячных значений максимальной скорости, обобщенная по станции.

Как видно, формула (2) состоит из суммы безразмерных показателей и представляет соответственно, безразмерное число, которое предлагается считать индексом климатической уязвимости [4].

Для визуализации статистических данных построена карта распределения индекса климатической уязвимости по 42 метеостанциям для территории Беларуси. На рисунке представлены результаты расчета безразмерных индексов климатической уязвимости (V_i) по метеостанциям Беларуси за период 1989-2022 гг.



Распределение индекса климатической уязвимости по территории Беларуси за период 1989-2022 гг.

Анализируя карту, можно сделать вывод, что распределение индекса климатической уязвимости по территории страны — неравномерна и характеризуется в среднем от 35 до 45. В основном минимальные значения приходятся на центральную, юго-западную и юго-восточную территории. Наибольшие значения приходятся на север и юг страны. Минимальное значение наблюдается в Волковыске (31,1), а максимальное значение — в Ивацевичах (50,4).

Высокие индексы климатической уязвимости в первую очередь связаны с режимом выпадения осадков, повышением суточных максимумов, на фоне незначительных изменений годовых сумм осадков. Полученные значения индексов могут быть использованы при долгосрочном планировании мер адаптации к изменениям климата.

Библиографические ссылки

1. Гледко Ю. А., Небышинец А. М. Оценка климатической уязвимости территории (на примере метеостанции Марына Горка)// Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорус. гос. ун-та, Минск, 11-13 октября 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; под общ. ред. П. С. Лопуха ; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2023. С. 607-613.

2. Данилович И. С. Оценка климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных климатических индексов / И. С. Данилович // 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. 29-32.

3. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. Минск: ТетраСистемс, 2008. 496 с.

4. Оганесян В. В. Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов // Труды Гидрометцентра России. № 366. 2017. С. 158-165.

5. ГКК. (1961-2020 гг.). Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свид-ва 0870100021. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

6. Загребина Т. А. Уязвимость территории при возникновении опасных природных явлений / Т. А. Загребина // Международный научно-промышленный форум «Великие реки». Нижний Новгород, 2006. С. 354-359.

7. Калинин Н. А. Пространственное распределение комплексных критериев погодной изменчивости по территории Пермского края и Удмуртской республики / Н. А. Калинин, О. Ю. Булгакова, Л. А. Дегтярева // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 4. Биология. Науки о земле. С. 96-103.

8. Коршунов. А. А. Погодно-климатические риски и их воздействие на экономику и население. Обнинск: ВНИИГМИМЦД, 2013. <http://www.meteo.ru>

УДК 551.502.1

К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ю. А. Гледко¹⁾, И. М. Чернякова^{1),2)}

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, gledko74@mail.ru; ²⁾Белгидромет, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь, irinacernakova03@gmail.com

Рассмотрены основные принципы и критерии построения государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. Функционирующая в настоящее время на территории республики сеть наблюдений (только станции) имеет средний индекс плотности равный 3,9 и среднее расстояние между пунктами наблюдений около 50-60 км, что соответствует требованиям ВМО.

Ключевые слова: государственная сеть гидрометеорологических наблюдений; пункты наблюдений; индекс плотности; метеорологическая станция.

ON THE ISSUE OF OPTIMAL CONSTRUCTION OF A NETWORK OF HYDROMETEOROLOGICAL OBSERVATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Yu. A. Hledko¹⁾, I. M. Chernyakova^{1),2)}

¹⁾Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, gledko74@mail.ru; ²⁾Btgidromet Nezavisimosti Av., 110, 220114, Minsk, Belarus, irinacernakova03@gmail.com

The basic principles and criteria for constructing a state network of hydrometeorological observations of the Republic of Belarus are considered. The observation network currently operating on the territory of the republic (only stations) has an average density index of 3.9, the average distance between observation points is on average 50-60 km, which meets WMO requirements.

Keywords: state network of hydrometeorological observations; observation points; density index; meteorological station.

Государственная сеть гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь входит в состав Глобальной системы наблюдений (ГСН) ВМО и является основным источником данных для обеспечения гидрометеорологической информацией структур различных видов экономической деятельности, подготовки гидрометеорологических прогнозов и выдачи

предупреждений об опасных явлениях погоды. Состав и охват государственной сети гидрометеорологических наблюдений определяется в соответствии с требованиями Конвенции и Технического регламента ВМО.

Основой системы получения информации о состоянии окружающей среды является наблюдательная сеть, включающая наземную систему стационарных пунктов наблюдений, предназначенных для отслеживания физических и химических процессов, происходящих в окружающей среде, определения гидрометеорологических и гелиогеофизических характеристик, определения уровня загрязнения атмосферного воздуха, почв и водных объектов.

Пункты наблюдений расположены таким образом, чтобы обеспечить комплексное изучение гидрометеорологического режима и уровня загрязнения окружающей среды.

В настоящее время основой гидрометеорологической службы Республики Беларусь является государственная сеть гидрометеорологических наблюдений, включающая в себя 191 гидрометеорологический объект: 6 областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (филиалы Белгидромета); 3 межрайонных центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; 67 метеорологических станций (56 используются при оценке прогноза погоды и других показателей, 11 АМС); 7 авиационных метеорологических станций гражданских; 5 агрометеорологических станций; 3 гидрологические станции; 1 болотную станцию; 1 станцию фоновое мониторинга; 114 гидрологических постов.

Радиозондирование атмосферы проводят аэрологические станции в Минске, Бресте и Гомеле (рис. 1) [6].

Основные станции размещаются на территории так, чтобы обеспечивалась необходимая точность интерполяции фоновых значений метеорологических величин для любой точки территории между станциями.

Основными принципами построения сети наблюдений являются:

- комплексный учет физико-географических и климатических условий, а также потребность в этой информации области экономики;
- научное обоснование выделения информативно однородных в метеорологическом отношении районов на базе физико-географической классификации;
- реальная дифференциация программ наблюдений и унифицированные подходы к комплексированию видов наблюдений с целью минимизации затрат на содержание сети наблюдений;
- сочетание автоматических метеорологических станций с обычными (с персоналом) с учетом ранжирования пунктов наблюдений;

- разработка и внедрение средств измерений нового поколения с целью перехода в перспективе на безбумажную технологию сбора, анализа обработки информации и обеспечения ею потребителей.

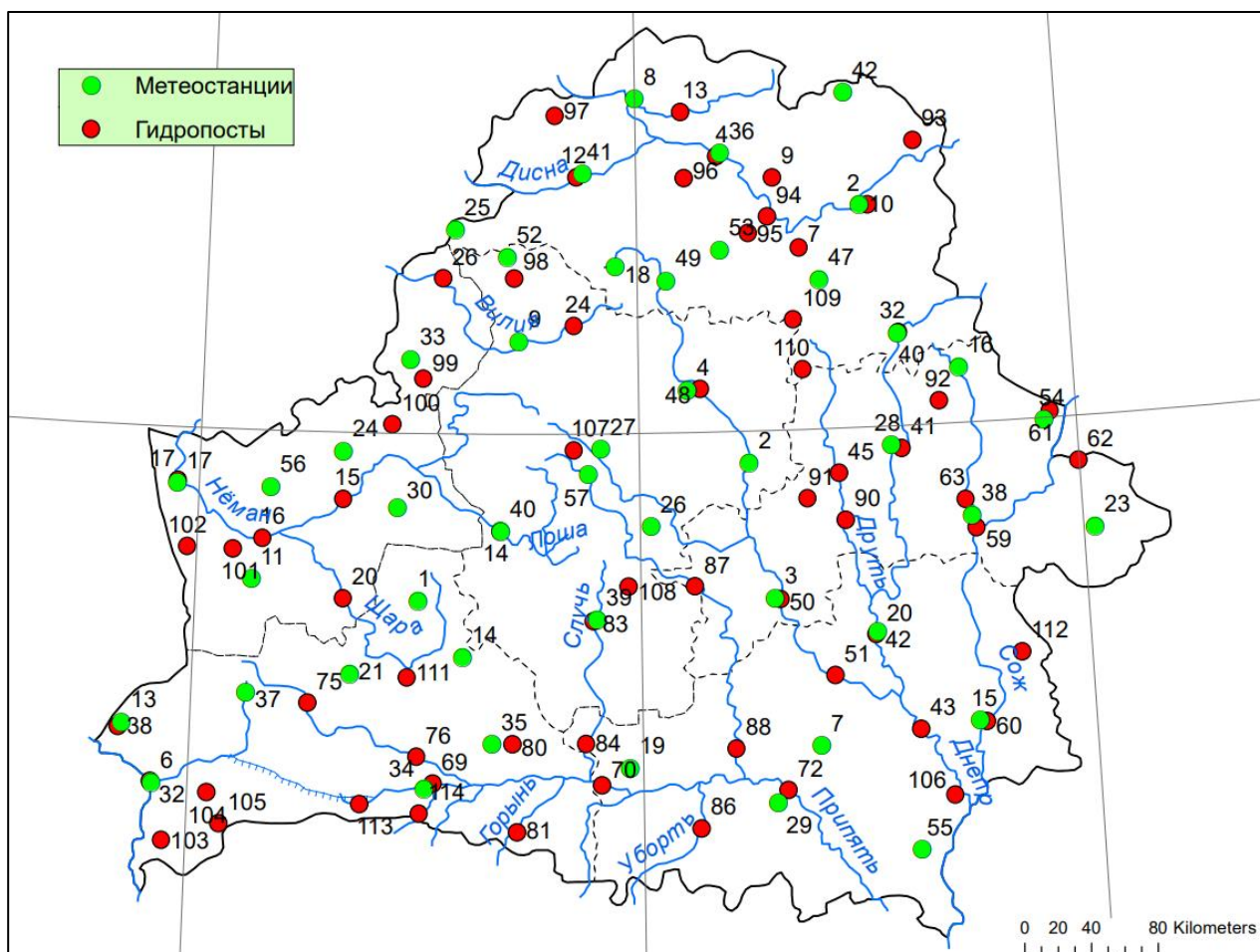


Рис. 1. Схематическая карта государственной сети гидрометеорологических наблюдений, производящей приземные метеорологические наблюдения (по полной и сокращенной программе) на территории Республики Беларусь [6]

В соответствии с оптимальностью размещения пунктов наблюдений (ПН) каждый информативно однородный метеорологический район должен быть представлен как минимум одним пунктом наблюдения, если его площадь не превышает 3–4 тыс. км², при условии однородности рельефа [1]. При большей площади района необходимо иметь два и более пунктов наблюдения с пространственным шагом 50-150 км.

Проблема оптимального построения сети является неоднозначной. Выделяется, по крайней мере, три группы критериев: информационные, экономические и ресурсные [2]. Последняя группа касается наиболее эффективного размещения имеющихся технических средств в пунктах наблюдения.

Одним из показателей достаточности наблюдательной сети является индекс плотности — площадь территории в тыс. кв. км,приходящаяся на 1 ПН.

В соответствии с Руководством по Глобальной системе наблюдений (ГСН) плотность станций метеорологической сети должна соответствовать необходимому разрешению наблюдаемых метеорологических величин и давать возможность предоставить их достаточно точные значения в любой точке между двумя станциями в результате интерполяции с учетом влияния орографии на них [3].

К информационному критерию относится показатель достаточности наблюдательной сети. Метеорологическая сеть является оптимальной для большинства наблюдаемых метеорологических величин, если:

- расстояние между метеорологическими станциями составляет в среднем 50-60 км (индекс плотности станций равен 3,5-4,0);
- для осадков, если расстояние между ПН не превышает 20-30 км, (индекс плотности равен 0,5-0,9) [3].

Функционирующая в настоящее время на территории Республики Беларусь сеть наблюдений (только станции) имеет средний индекс плотности равный 3,9 и среднее расстояние между пунктами наблюдений около 50-60 км (рис. 2).

Согласно рекомендациям ВМО, для оптимальной сети с индексом плотности не менее 4,0 необходимо 52 метеорологические станции, что говорит о том, что количество станций в Республике Беларусь оптимально для прогнозирования погоды и климата. Для наблюдений за осадками с оптимальным индексом плотности 0,9 необходимо 230 пунктов наблюдений при функционирующих сегодня 180 пунктах наблюдений (67 метеорологических станций и 113 гидрологических поста) [4, 5].

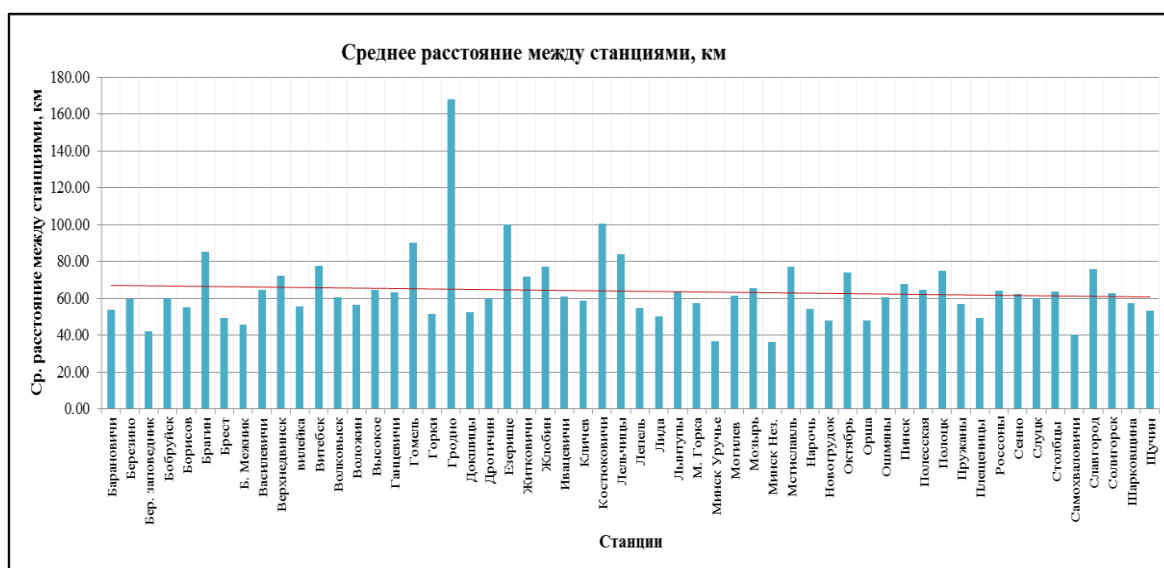


Рис. 2. Среднее расстояние между станциями, км [6]

Проблема обоснования рационального размещения пунктов наблюдений наземной сети всегда относится к числу приоритетных. Одним из ключевых вопросов в этой проблеме является выбор климатической классификации и показателей районирования территории.

Библиографические ссылки

1. Гандин Л. С. О принципах рационального размещения сети станций [Текст] // Труды ГГО. 1961. Вып. 111. С. 81-98.
2. Гандин Л. С., Каган Р. Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных [Текст] Л.: Гидрометеиздат, 1976. 357 с.
3. Кондратюк В. И., Покровский О. М., Светлова Т. П. О принципах построения наземной метеорологической сети в современных условиях [Текст] // Труды ГГО. 1999. Вып. 547. С. 3-14.
4. Методика расчета минимально необходимого количества пунктов метеорологических наблюдений [Текст]: утв. приказом Росгидромета 05.09.2008. 18 с.
5. Руководство по Глобальной системе наблюдений [Электронный ресурс]. ВМО № 488. Женева: Всемирно Метеорологическая Организация, 2010.
6. Белгидромет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru>. Дата доступа: 29.02.2024.

УДК 551. 48 (476)

**ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД
(НА ПРИМЕРЕ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Ж. В. Головнева

*Витебский Областной Комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды,
210029, Витебск, ул. Правды, 26 а; 14vvz.halauniova.z@pdu.by*

Рассмотрены основные цели и задачи мониторинга поверхностных и подземных вод. Предложены мероприятия по оптимизации системы мониторинга вод в границах Витебской области на локальном уровне. Обоснована необходимость детализации гидрологического районирования Западно-Двинского гидрологического района.

Ключевые слова: мониторинг; система; поверхностные; подземные воды; цели; задачи; пути оптимизации; гидрологический район; локальные проблемы.

**PROBLEMS OF OPTIMIZATION OF SURFACE AND
GROUNDWATER MONITORING SYSTEM (CASE STUDY OF
VITEBSK REGION)**

Zh. V. Golovneva

*Vitebsk Regional Committee of Natural Resources and Environmental Protection, 210029,
Vitebsk, Pravdy str., 26a; 14vvz.halauniova.z@pdu.by*

The main goals and objectives of surface and groundwater monitoring are considered. Measures to optimize the water monitoring system within the boundaries of the Vitebsk region at the local level are proposed. The need to detail the hydrological zoning of the Zapadno-Dvinsk hydrological region is substantiated.

Keywords: monitoring; system; surface and underground waters; goals; objectives; ways of optimization; hydrological area; local problems.

Водные ресурсы — важнейший природный потенциал, который интенсивно используется населением и субъектами различных отраслей экономики.

Витебская область в отличие от других областей республики является наиболее обеспеченной водными ресурсами. Имеющиеся водные ресурсы достаточны для удовлетворения современных и перспективных потребностей региона в воде. Водно-ресурсный потенциал Витебщины представлен большими запасами поверхностных и подземных вод, но несмотря на

это вода — как важнейший природный ресурс требует охраны и рационального использования.

Охрана вод обеспечивается путем:

- нормирования в области охраны и использования вод;
- установления водоохранных зон и прибрежных полос и режима осуществления в них хозяйственной и иной деятельности;
- соблюдения требований к сбросу сточных вод и условий сброса карьерных (шахтных, рудничных), дренажных вод в поверхностные водные объекты;
- реализации государственных и иных программ, региональных комплексов мероприятий в области охраны и использования вод, планов управления речными бассейнами и водохозяйственных балансов;
- недопущения загрязнения, засорения вод, поверхности ледяного покрова водных объектов;
- установления ответственности юридических лиц и граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, за нарушение законодательства об охране и использовании вод;
- создания и функционирования совершенной системы мониторинга поверхностных вод и мониторинга подземных вод, локального мониторинга.

Выше перечисленные задачи охраны водных ресурсов обеспечиваются путем ведения их мониторинга, под которым понимается система непрерывного (текущего) комплексного отслеживания состояния водных ресурсов, контроля и учета количественных и качественных характеристик во времени, взаимообусловленного воздействия и изменения потребительских свойств, а также система прогноза сохранения и развития в разных режимах использования.

В отношении поверхностных водных ресурсов мониторинг включает:

- мониторинг поверхностных водных объектов с учетом проведения работ в области гидрометеорологии и смежных с ней областях;
- мониторинг состояния дна и берегов водных объектов, а также состояния водоохранных зон;
- мониторинг подземных вод с учетом данных государственного мониторинга состояния недр;
- наблюдения за водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, а также за объемом вод при водопотреблении и водоотведении.

Основными целями мониторинга водных ресурсов являются:

- своевременное выявление и прогнозирование развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние,

разработка и реализация мер по предотвращению негативных последствий этих процессов;

- оценка эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов;
- информационное обеспечение управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе в целях государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

Мониторинг подземных вод представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием подземных вод по гидрогеологическим, гидрохимическим и иным показателям, оценки и прогноза его изменения в целях своевременного выявления негативных процессов, предотвращения их вредных последствий и определения эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану подземных вод.

Подземные воды являются основными источниками питания рек и озер, а также хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Наблюдения за состоянием подземных вод ведутся на специально разработанной сети гидрогеологических постов, на которых находятся скважины различной глубины.

Регулярные наблюдения за состоянием подземных вод на режимных пунктах в комплексе с гидрометеорологическими наблюдениями служат для:

- изучения процессов формирования и изменения качества подземных вод в естественных и измененных деятельностью человека условиях;
- оценки ресурсов (запасов) подземных вод;
- анализа текущей ситуации с целью установления негативных изменений в подземных водах;
- районирования территории для экстраполяции оценок и прогнозов, полученных на пунктах наблюдений;
- оптимизации методики режимных исследований и т. д.

Порядок организации и проведения локального мониторинга подземных вод определен Инструкцией о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды (далее – Инструкция), утвержденной постановлением Минприроды от 30.12.2020 № 29, и ЭкоНиП 17.01.06-001-2017.

Перечень параметров и периодичность наблюдений определены в постановлении Минприроды от 11.01.2017 № 5 (в редакции постановления Минприроды от 10.09.2021 № 23) с учетом специфики хозяйственной деятельности природопользователей.

Объектами наблюдения при проведении мониторинга подземных вод в Беларуси являются грунтовые и артезианские подземные воды.

Отбор проб воды из наблюдательных скважин осуществлялся специалистами филиала «Белорусская комплексная геологоразведочная экспе-

диция» ГП «НПЦ по геологии». Химический анализ воды проводился аккредитованной лабораторией «Центральная лаборатория» ГП «НПЦ по геологии».

Оценка качества подземных вод в естественных условиях проводится в соответствии с требованиями СанПиН 10-124 РБ 99.

Сбор, хранение, обработку и анализ данных мониторинга подземных вод, предоставление экологической информации, получаемой в результате проведения мониторинга подземных вод, обеспечивает Минприроды. В этих целях Министерство определило информационно-аналитический центр мониторинга подземных вод, функционирующий на базе Филиал «Институт геологии» РУП «НПЦ геологии».

Широкое использование ресурсов поверхностных вод в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, развитие хозяйственно-бытового водоснабжения, воздействие глобальных потоков загрязняющих веществ обусловили многообразие антропогенных нагрузок на водные объекты. Все это обусловило необходимость изучения, оценки и прогноза качества поверхностных вод — одного из важнейших стратегических ресурсов региона.

Указанные задачи решает система мониторинга поверхностных вод на основе ряда законодательных и нормативных актов.

Мониторинг поверхностных вод представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием поверхностных вод по гидрологическим, гидрохимическим, гидробиологическим и иным показателям в целях своевременного выявления негативных процессов, прогнозирования их развития, предотвращения вредных последствий и определения степени эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану поверхностных вод. Наблюдения проводят и осуществляют структурные подразделения организаций, подчиненных Минприроды Республики Беларусь, такие как: государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет), государственное учреждение «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды». Сбор, обработку, обобщение, анализ информации, полученной в результате проведения мониторинга окружающей среды, осуществляет Белгидромет.

Периодичность проведения наблюдений составляет:

- по гидробиологическим показателям (на всех поверхностных водных объектах, кроме трансграничных участков рек и р. Свислочь) — один раз в год каждые два года;
- на трансграничных участках рек и р. Свислочь — один раз в год ежегодно;

- по гидрохимическим показателям на больших водотоках и на участках водотоков в районе расположения источников загрязнения — двенадцать раз в год ежегодно;
- при отсутствии источников загрязнения — семь раз в год в периоды основных гидрологических фаз поверхностного водного объекта ежегодно;
- на фоновых участках водотоков — двенадцать раз в год каждые два года;
- на водоемах — четыре раз в год каждые два года;
- по химическим показателям для донных отложений на трансграничных пунктах наблюдений — один раз в год каждые пять лет.

Наблюдения по гидробиологическим показателям проводятся по основным сообществам пресноводных экосистем: фитопланктону, зоопланктону и хлорофиллу — в водоемах, фитоперифитону и макрозообентосу — в водотоках.

Важным направлением развития мониторинга поверхностных вод в последние годы является поэтапное развертывание наблюдений по гидро-морфологическим показателям, осуществляемое в рамках государственной программы, в рамках подпрограммы «Национальная система мониторинга окружающей среды», Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021 – 2025 гг. утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.02.2021 г. № 99.

Подводя итог, можно отметить особо значимую важность мониторинга водных ресурсов, так как с развитием промышленности и сельского хозяйства растет негативное воздействие на окружающую среду, в том числе и на качество воды, однако согласно данным мониторинга поверхностных вод состояние водных объектов, таких как бассейнов рек Западная Двина и Днепр в пределах Витебской области, в целом оценивается как достаточно благополучное, качество вод основных рек области остается стабильным на протяжении последних лет.

Несмотря на положительную динамику, для поддержания водных ресурсов бассейна реки Западная Двина в достаточно благоприятных условиях необходимо:

- оптимизировать систему сети мониторинга поверхностных водных ресурсов в рамках Западно-Двинского гидрологического района с учетом современных инструментальных наблюдений и глобального потепления климата;
- выполнить детальное гидрологическое районирование с обоснованием локальных гидрологических подрайонов;
- оптимизировать систему мониторинга подземных вод;

- продолжить развитие рационального использования вод за счет внедрения прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологических процессов, обеспечивающих переход на мало- и безводные технологии производства.

- осуществлять своевременный ремонт и замены изношенных сетей в системах водопроводно-канализационного хозяйства, строительства, реконструкции и модернизации очистных сооружений сточных вод и др.

УДК 551.524.32:551.583

МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОВТОРЯЕМОСТИ ВОЛН ТЕПЛА И ХОЛОДА НА СЕВЕРЕ ЕВРОПЫ

Г. Н. Граховский, М. Р. Никитенко-Валиахметов

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, gennni@mail.ru*

Рассматриваются многолетние тенденции повторяемости интенсивных потеплений и похолоданий в Северной Европе. Обоснована необходимость динамического учета суточных климатических норм в виду «дрейфа» температурного фона, вызванного глобальным потеплением. На массивах ежедневных данных среднесуточных температур длиннорядных станций региона, показано преобладание восходящих линейных трендов норм температуры, рассчитанных отдельно по последовательным 10-летиям, в большинстве месяцев. Гипотеза возрастания повторяемости и интенсивности неблагоприятных погодных условий на фоне глобального потепления, на примере волн тепла и холода в регионе, подтверждена многолетними тенденциями возрастания средних квадратичных отклонений только в холодную часть года с ноября по февраль и в августе-сентябре. Помесячные распределения зон возрастания и убывания повторяемостей интенсивных повышений и понижений среднесуточной температуры, соответствующих 5-й и 95-й процентилям (в днях за месяц), указывает на некоторое сходство сезонных особенностей пространственно-временной динамики распределений многолетних тенденций обоих знаков — увеличение повторяемости интенсивных как похолоданий, так и потеплений в холодный сезон с октября по январь.

Отмечается, что трендовые модели в полной мере не характеризуют многолетние тенденции повторяемости значительных температурных аномалий. В дальнейшем требуется учет, прежде всего, режимов атмосферной циркуляции.

Ключевые слова: крупные аномалии приземной температуры; многолетние тенденции повторяемости; линейный тренд; Северная Европа.

LONG-TERM TRENDS IN THE RECURRENCE OF HEAT AND COLD WAVES IN NORTHERN EUROPE

G. N. Grakhovskiy, M. R. Nikitenko-Valiakhmetov

*Saint Petersburg State Marine Technical University,
Saint Petersburg, Russia, gennni@mail.ru*

The long-term trends of the recurrence of intense warming and cooling in Northern Europe are considered. The necessity of dynamic accounting of daily climatic norms is justified due to the "drift" of the temperature background caused by global warming. The arrays of daily data on the average daily temperatures of long-range stations in the region show the predominance of upward linear trends in temperature norms, calculated separately for con-

secutive 10 years, in most months. The hypothesis of an increase in the frequency and intensity of adverse weather conditions against the background of global warming, using the example of heat and cold waves in the region, is confirmed by long-term trends in increasing mean square deviations only in the cold part of the year from November to February and in August-September. The monthly distributions of the zones of increasing and decreasing recurrence of intense increases and decreases in the average daily temperature corresponding to the 5th and 95th percentiles (in days per month) indicate some similarity in the seasonal features of the spatiotemporal dynamics of the distributions of long-term trends of both signs — an increase in the frequency of intense both cold spells and warming in the cold season since October until January.

It is noted that trend models do not fully characterize long-term trends in the recurrence of significant temperature anomalies. In the future, it is necessary to take into account, first of all, the modes of atmospheric circulation.

Keywords: large surface temperature anomalies, long-term recurrence trends, linear trend, Northern Europe.

Введение. Продолжающееся глобальное потепление является фактом, признанным и достаточно исследованным в современной климатологии.

Известна неравномерность повышения средней глобальной температуры во времени. На протяжении XX в. а отмечены два периода интенсивного роста глобальной приземной температуры. Первый с 1920-х гг. до середины 1940-х, а также современный этап потепления с 1970-х по настоящее время. Период похолодания между ними отмечался в 1950-1970 гг. В исследовании [1] рассмотрен прирост глобальной температуры за два 20-летних периода 1925-1944 и 1978-1997 гг. Показана различная интенсивность потепления на 0,37 °C и 0,32 °C соответственно, что указывает на преобладание интенсивности потепления середины XX в., наибольшие значения которого пришлись на 1940-1945 гг.

Имеет место и пространственная неравномерность глобального потепления. Оно наиболее сильно выражено в высоких широтах Северного полушария с возрастающей к высоким широтам амплитудой. Отмечаются и сезонные особенности, заключающиеся в максимальном росте температур в холодное полугодие Северного полушария. [2–4]. При этом в период потеплений как середины XX в., так и современного этапа темпы потепления в Арктическом регионе превышали средние глобальные изменения более чем в два раза. Это явление получило название «арктического усиления» [5–8].

Распределение линейных трендов приземной температуры на нашей планете, например с 1901 по 2011 гг., представлено на рис. 1 [9]. Видно повсеместное потепление, наиболее интенсивное в центральных областях Евразии, полярных широтах Северного полушария, а также в западной

Африке и на востоке Южной Америки. Вместе с тем, прослеживается и тенденция понижения температуры юго-восточнее Гренландии.

Среди климатологов не без оснований широко распространено мнение о возрастании повторяемости и интенсивности опасных погодных явлений на фоне глобального потепления. В силу пространственно-временной неравномерности проявления последнего, кратко представленной выше, следует ожидать и неравномерное распределение тенденций в возникновении неблагоприятных условий погоды. Существенное воздействие таких условий на экономику, социальную сферу и жизнедеятельность население определяет высокую востребованность исследований по региональным многолетним особенностям этих тенденций.

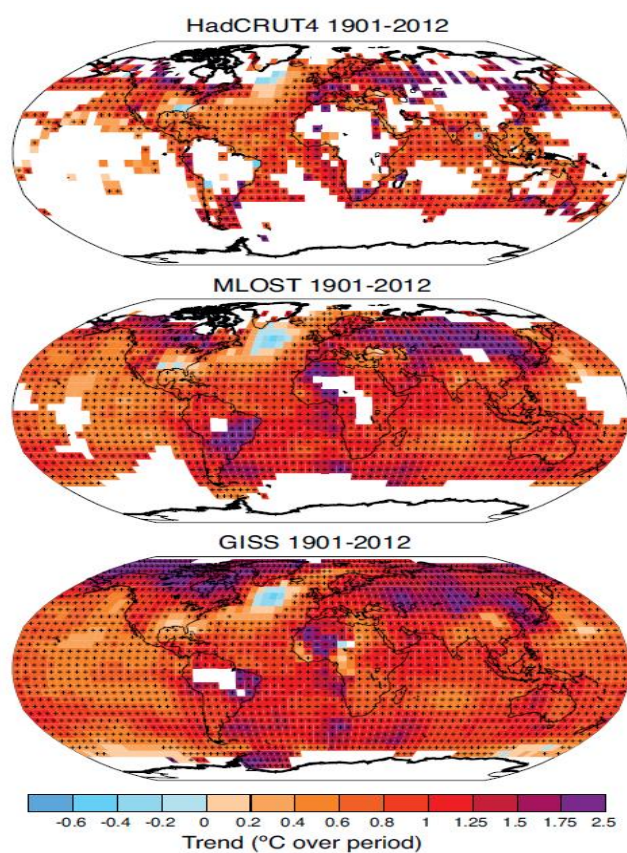


Рис. 1. Изменения приземной температуры воздуха в период 1901-2012 гг. по данным массивов HadCRUT4, MLOST, GISTEMP(GISS)

Весьма чувствительными неблагоприятными проявлениями погодных условий являются интенсивные потепления и похолодания относительно характерного сезонного термического фона — экстремальные температурные аномалии. Экстремальные значения температуры могут сопровождаться рядом разных негативных последствий, включая обширные

продолжительные засухи, вымерзание посевов и плодовых деревьев, повышенную смертность в группах риска и др. Это как наносит существенный экономический ущерб, так и приводят к людским потерям. Исследование пространственно-временной динамики таких явлений имеет существенное значение для минимизации их последствий. В этой связи многолетние тенденции повторяемости экстремальных значений температуры глобального и регионального масштабов рассматривались многими исследователями [10–18].

Наглядно иллюстрирует существенные различия в многолетних тенденциях интенсивности, повторяемости и продолжительности волн тепла на пространстве всей планеты (по данным исследования [19], рис. 2).

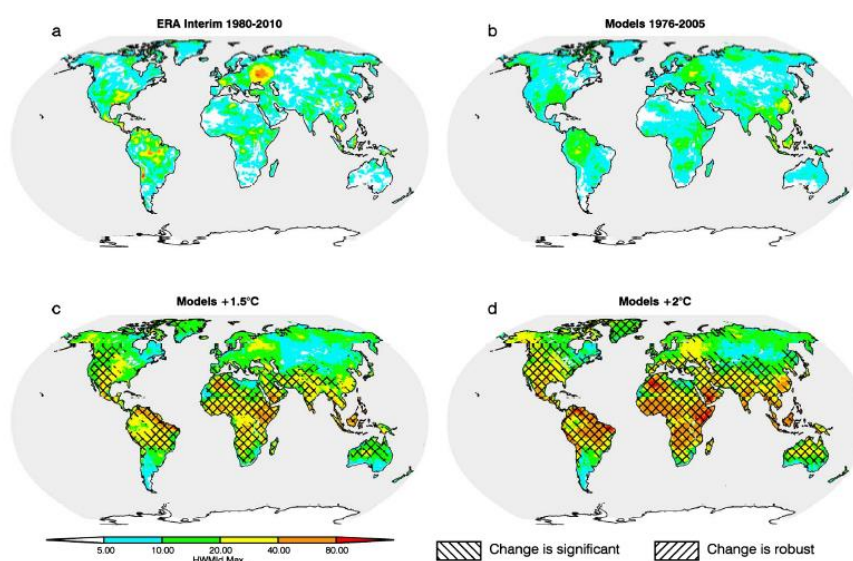


Рис. 2. Максимальная интенсивность волн тепла за период 1980-2010 гг. по данным наблюдений *a)*, по данным модели EC-EARTH3-HR v3.1 и CMIP5 для периода 1976-2005 гг. *b)*, а также при дальнейшем глобальном потеплении до 1.5 °C *c)*, 2 °C *d)*

Данные и методы. Целью представляемого исследования является анализ многолетних тенденций повторяемостей крупных аномалий приземной среднесуточной температуры воздуха на Севере Европы в XX в. и в первых десятилетиях XXI в.. Данные суточных показателей приземной температуры воздуха (максимальные, минимальные и среднесуточные значения) взяты из базы данных ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru>) и с сайтов <https://seklima.met.no/>, Stockholm Historical Weather Observations | Bolin Centre Database (su.se). Пункты, данные наблюдений в которых использовались в исследовании, выбирались исходя из их равномерного распределения по территории региона и наличия рядов наблюдений за период более века.

Термину «крупные аномалии температуры» в целом также соответствуют понятия интенсивные потепления и похолодания, экстремальные температурные аномалии, волны тепла и холода. В конкретных исследованиях обычно уточняются используемые для выделения рассматриваемых случаев конкретные критерии по интенсивности, продолжительности и охвату территории.

В данном исследовании критерием для выделения дней с крупными аномалиями среднесуточной приземной температуры использовалось отклонение наблюдаемого значения от своей суточной многолетней нормы на величину, равную или превышающую значение, равное 2 стандартных квадратичных отклонения — $\pm 2\sigma$. Это, как известно, соответствует 5-му и 95-му процентилям, т. е. применялся учитывающий локальные климатические особенности динамический критерий, рассчитанный по многолетним рядам наблюдений на каждый день года для каждого из рассмотренных пунктов наблюдений (рис. 3).



Рис. 3. Район исследования и пункты, в которых выполнено исследование на основании данных наблюдений

В исследовании рассматриваются многолетние тенденции повторяемости крупных температурных аномалий, т. е. достижения температурой воздуха экстремальных значений с превышением пороговых значений $\pm 2\sigma$. Поскольку сами эти пороговые значения, в свою очередь, рассчитываются относительно многолетних норм, то и сравниваются с ними не текущие значения температуры, а их отклонения от тех же многолетних норм — текущие аномалии. Потому результат выделения дней с крупными температурными аномалиями существенно зависит от значений климатических норм, относительно которых оценивается аномальность.

Интенсивные потепления и похолодания воспринимаются таковыми относительно текущего климатического фона температуры. В большинстве работ по данной теме в качестве климатической нормы обычно рассматриваются средние значения за 30-летние периоды 1961-1990 гг. или 1981-2010 гг. Это объясняется тем, что рассматриваются изменения повторяемости аномалий в период глобального потепления. В нашей работе динамика повторяемости оценивается за более чем 100-летний период. Использование единых норм для всего длительного периода ведет в условиях глобального потепления к искусственному возрастанию во времени повторяемости положительных аномалий и снижению повторяемости отрицательных (рис. 4). Следовательно, необходимо учитывать дрейф климатических норм при продолжающемся повышении фона температуры в климатическом временном масштабе.

В нашем случае климатические нормы рассчитывались отдельно для каждого из 10-летий рассматриваемого более чем векового периода. Производился расчет суточных норм по 30-летним периодам — по совокупности данных базового десятилетия, предшествующего и последующего 10-летий. Полученные нормы относились к срединному базовому периоду. Затем расчетный 30-летний период сдвигался на 10 лет и новые рассчитанные нормы относились к следующему 10-летию. При таком подходе из расчета выпадают первое и последнее десятилетия многолетних рядов данных. В итоге для каждой станции были сформированы ряды суточных норм, средних квадратичных отклонений и аномалий среднесуточной температуры за период с 1890-1910 до 2010 гг.

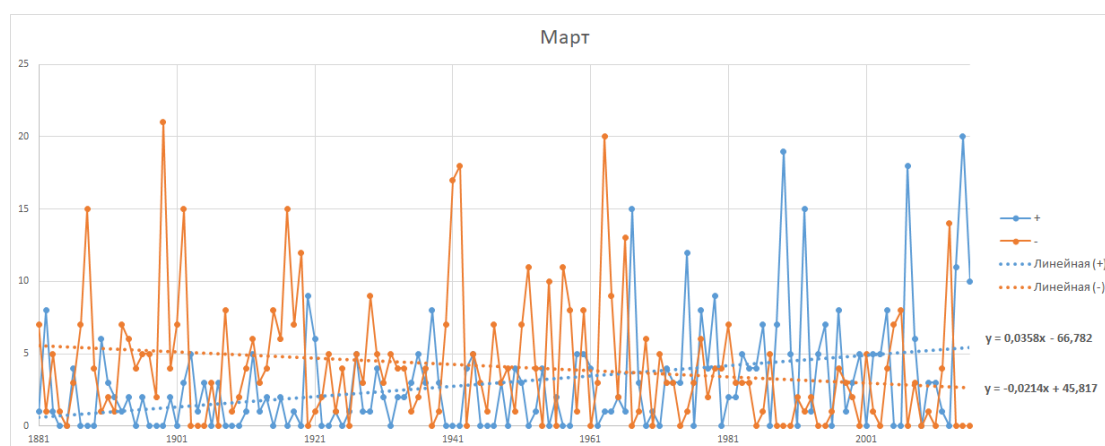


Рис. 4. Многолетний ход повторяемости (дни в месяц) крупных положительных и отрицательных аномалий приземной среднесуточной температуры для г. Архангельска в марте при использовании единых суточных норм для всего периода (1881-2016 гг.)

На рис. 5 для примера представлены совмещенные графики много-летнего хода среднесуточной температуры в Санкт-Петербурге по ее среднемесячным и средним за 10 лет значениям.

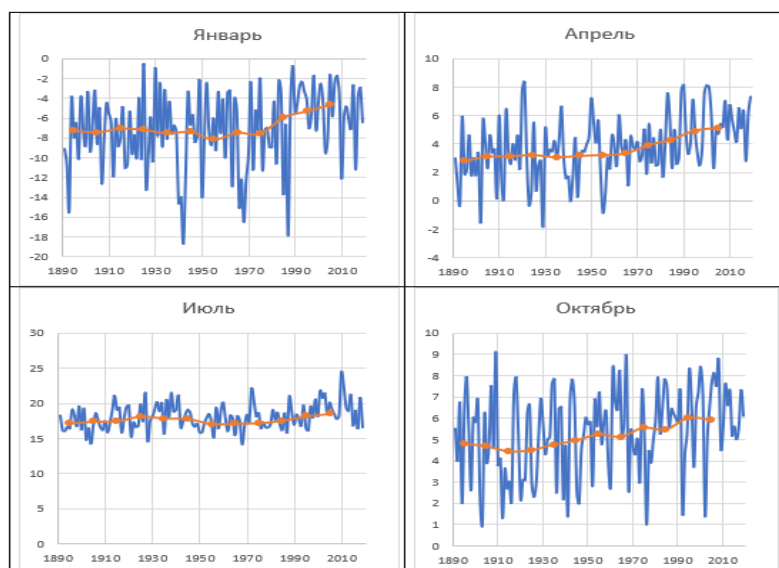


Рис. 5. Многолетний ход среднемесячных значений (синий цвет) и десятилетних норм (оранжевый цвет) среднесуточной температуры воздуха в Санкт-Петербурге для срединных месяцев календарных сезонов (1890-2020 гг.)

На представленных графиках виден существенный сглаживающий эффект хронологически последовательных десятилетних норм относительно большой амплитуды реальной межгодовой изменчивости среднемесячных значений. По многолетнему ходу последних трудно оценить особенности тенденций за представленный 130-летний период. Основной вывод здесь — широко известное суждение «год на год не приходится». При этом многолетний ход последовательных десятилетних норм наглядно демонстрирует обобщенный характер тенденций изменения термического фона климатического временного масштаба в конкретной географической точке. Видно общее преобладание тенденции потепления за рассматриваемый период, но не равномерной по сезонам интенсивности. Прослеживается и повышение его интенсивности начиная с конца 1960-х — начала 1970-х гг. XX в. Эти общие тенденции прослеживаются и на аналогичных графиках для остальных станций, но, конечно, с некоторыми индивидуальными особенностями.

Расчет среднеквадратичных отклонений (СКО) был выполнен по аналогии с расчетом норм — отдельно для каждого десятилетия.

На основании ежедневных значений аномалий среднесуточной температуры за период с 1890-1910 до 2010 гг. (в зависимости от ряда на конкретных станциях), рассчитанных относительно описанных выше суточных норм, и с учетом значений СКО (по последовательным десятилетиям) программно были выделены дни с крупными аномалиями (превышение аномалией порогового значения 2σ) для температуры на всех станциях.

Помесячный подсчет числа дней с рассматриваемыми аномалиями позволил «свернуть» суточное разрешение возникновения крупных температурных аномалий к месячному разрешению — числу дней в конкретном месяце с такими аномалиями каждого знака по отдельности. Дальнейший анализ многолетних тенденций повторяемости крупных температурных аномалий осуществлялся на основании сформированных указанным образом рядов числа дней в месяцах периода.

Результаты. Визуализация этих рядов графиками многолетнего хода повторяемости в днях положительных и отрицательных аномалий за месяц с аппроксимацией линейными трендами для каждого месяца, по каждому из пунктов наблюдений кроме наглядности общих за 130 лет тенденций позволила получить их количественное представление — коэффициенты наклона линий линейных трендов.

Анализ полученных тенденций повторяемостей аномалий обоих знаков среднесуточной температур показал, что полученные линейные тренды оказались статистически незначимыми (при уровне значимости $\alpha=0,05$) с крайне низкой долей объяснения общей дисперсии рядов трендовой составляющей. Таким образом, трендовая составляющая (модель) не отражает в достаточной степени многолетнюю изменчивость повторяемостей крупных аномалий приземной температуры воздуха, т. е. эта изменчивость не обусловлена главным образом воздействием монотонных однонаправленных факторов типа глобального потепления.

Тем не менее, полученные коэффициенты наклона линейных трендов были нанесены на карты региона с целью выяснения наличия региональных закономерностей в локализации территорий с многолетними тенденциями возрастания и убывания многолетних норм, средних квадратичных отклонений и повторяемостей крупных аномалий приземной среднесуточной температуры.

На рис. 6 представлены пространственные распределения коэффициентов наклона линейных трендов многолетних тенденций изменения норм этой температуры по месяцам, рассчитанных отдельно для последовательных 10-летних 110-130-летних периодов. Видно общее преобладание тенденций повышения температурного фона в регионе во все месяцы за исключением ноября. При этом, выделение определенной внутригодовой пространственной динамики в локализации зон различной интенсивности

потепления и отдельных очагов похолодания не представляется возможным.

В ряде исследований отмечается возрастание повторяемости и интенсивности неблагоприятных погодных условий по мере развития глобального потепления, например [19] в отношении волн тепла. Возрастание интенсивности и повторяемости волн тепла и холода при этом может проявляться в тенденции возрастания изменчивости температуры — величины средних квадратических ее отклонений (СКО). Региональное помесечное распределение коэффициентов наклона линейных трендов многолетних изменения СКО представлено на рис. 7. Видны некоторые сезонные особенности — в холодную часть года с ноября по февраль в целом преобладает возрастание изменчивости температуры с максимумом в районе Белого моря. Преобладает аналогичная тенденция и в конце теплого периода — в августе и сентябре, но с наибольшим возрастанием изменчивости на западе региона. Весной и большую часть лета с марта по июль, а также в октябре изменчивость в рассматриваемом периоде преимущественно уменьшалась.

На рис. 8 и 9 региональные распределения многолетних тенденций повторяемости крупных отрицательных и положительных аномалий соответственно. Видна общая особенность увеличения повторяемости интенсивных как похолоданий, так и потеплений в холодный сезон с октября по январь. Повторяемость значительных понижений температуры с февраля по апрель и в сентябре только убывает. С мая по август у них присутствуют в регионе обе тенденции без определенной внутрисезонной закономерности от месяца к месяцу в их пространственном чередовании. Аналогичная особенность характерна для интенсивных потеплений с февраля по сентябрь.

Сравнение распределения зон возрастания и убывания повторяемости на рис. 8 и 9 указывает на наличие некоторых сходных сезонных особенностей пространственно-временной динамики распределений многолетних тенденций разного знака в повторяемости интенсивных повышений и понижений среднесуточной температуры. Вместе с тем однозначная связность отсутствует.

На представленных графиках виден существенный сглаживающий эффект хронологически последовательных десятилетних норм относительно большой амплитуды реальной межгодовой изменчивости среднемесячных значений. По многолетнему ходу последних трудно оценить особенности тенденций за представленный 130-летний период.

Основной вывод здесь — широко известное суждение «год на год не приходится». При этом многолетний ход последовательных десятилетних

норм наглядно демонстрирует обобщенный характер тенденций изменения термического фона климатического временного масштаба в конкретной географической точке. Видно общее преобладание тенденции потепления за рассматриваемый период, но не равномерной по сезонам интенсивности. Прослеживается и повышение его интенсивности начиная с конца 1960-х - начала 1970-х гг. XX в. Эти общие тенденции прослеживаются и на аналогичных графиках для остальных станций, но, конечно, с некоторыми индивидуальными особенностями.

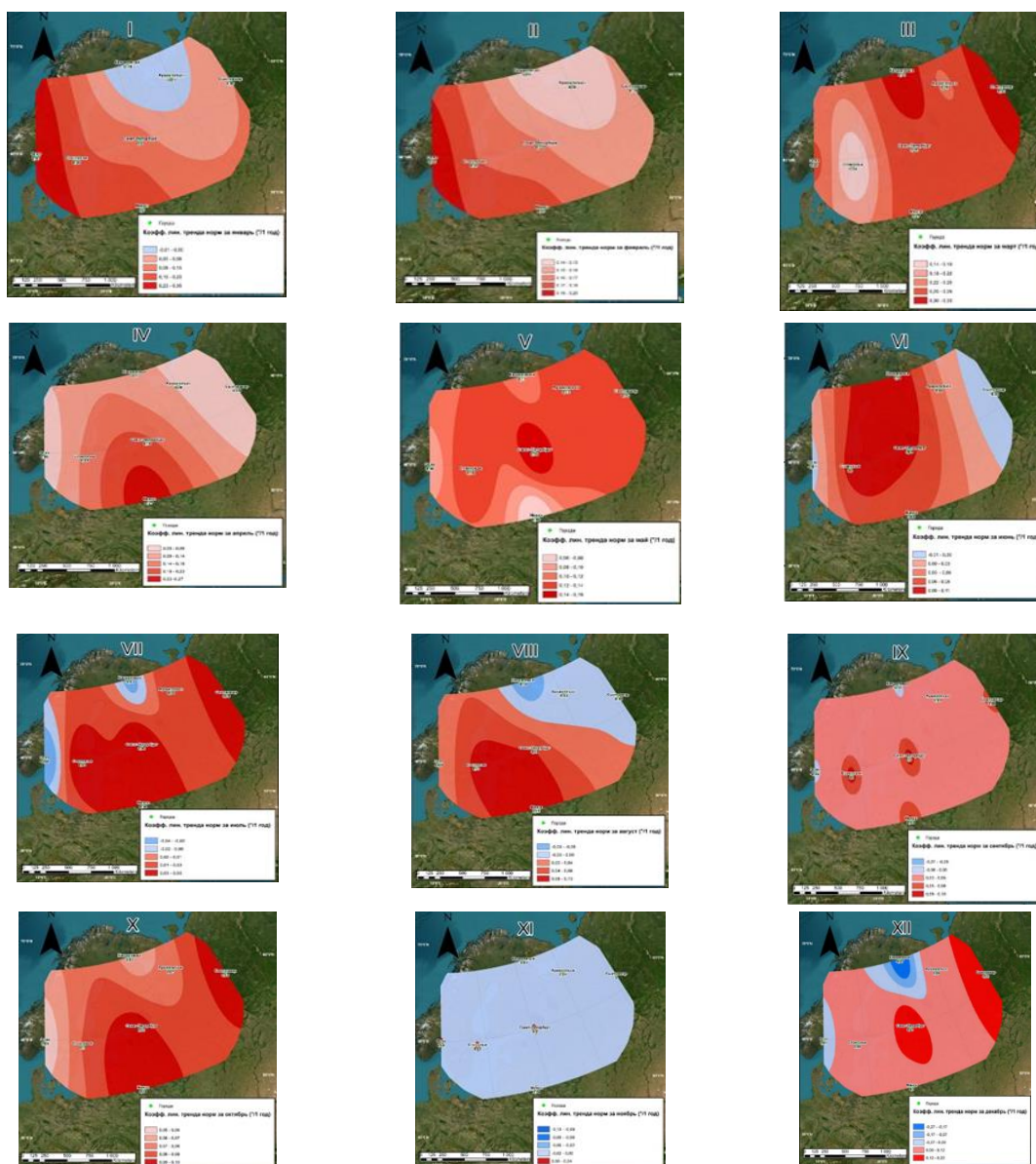


Рис. 6. Распределение многолетних тенденций изменения климатических норм приземной среднесуточной температуры (коэффициентов наклона линейных трендов) в Северной Европе по месяцам, рассчитанных отдельно для последовательных 10-летий за период 1890–2010 гг.

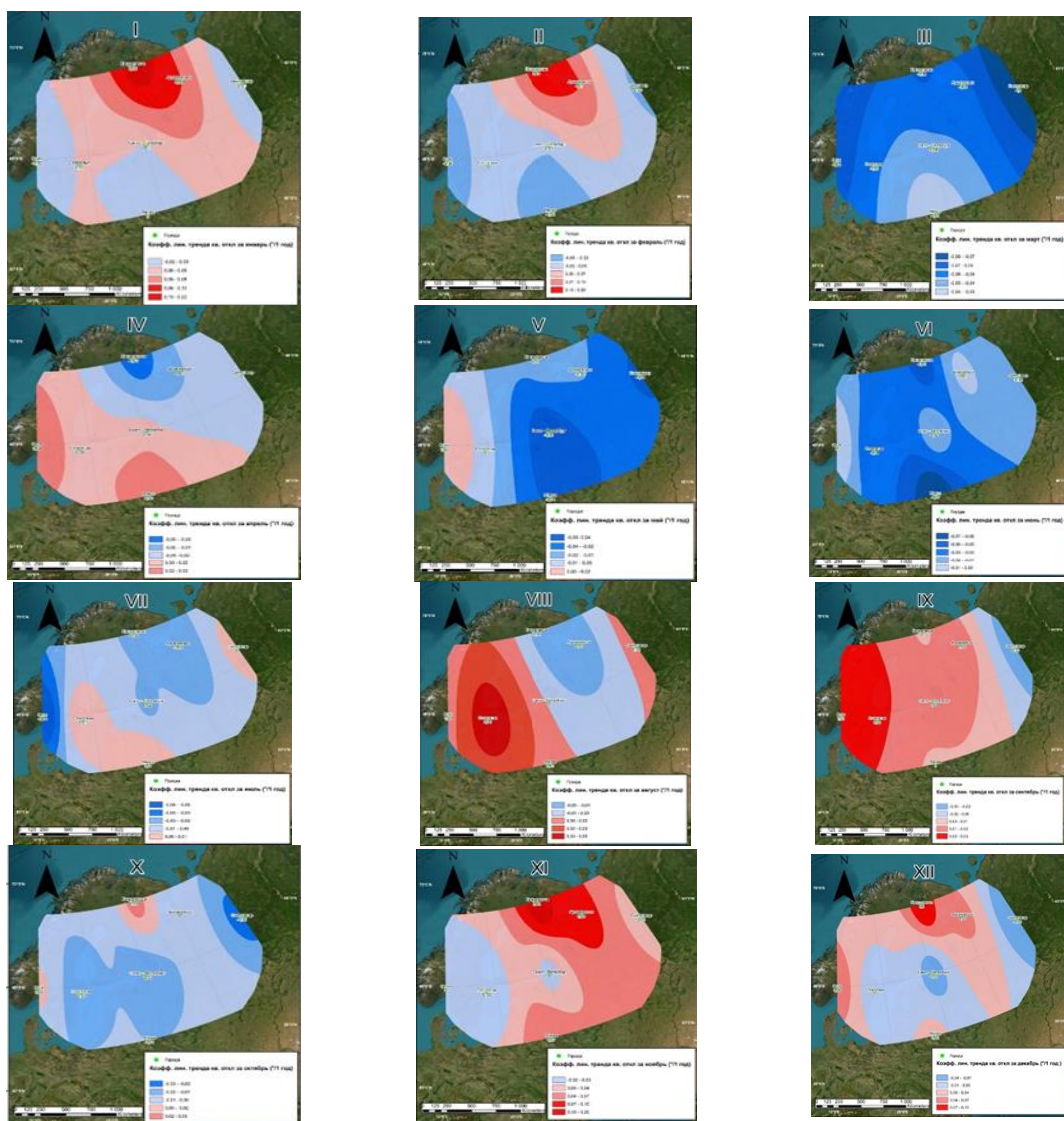


Рис. 7. Распределение многолетних тенденций изменения средних квадратичных отклонений приземной среднесуточной температуры (коэффициентов наклона линейных трендов) в Северной Европе по месяцам, рассчитанных отдельно для последовательных 10-летий за период 1890–2010 гг.

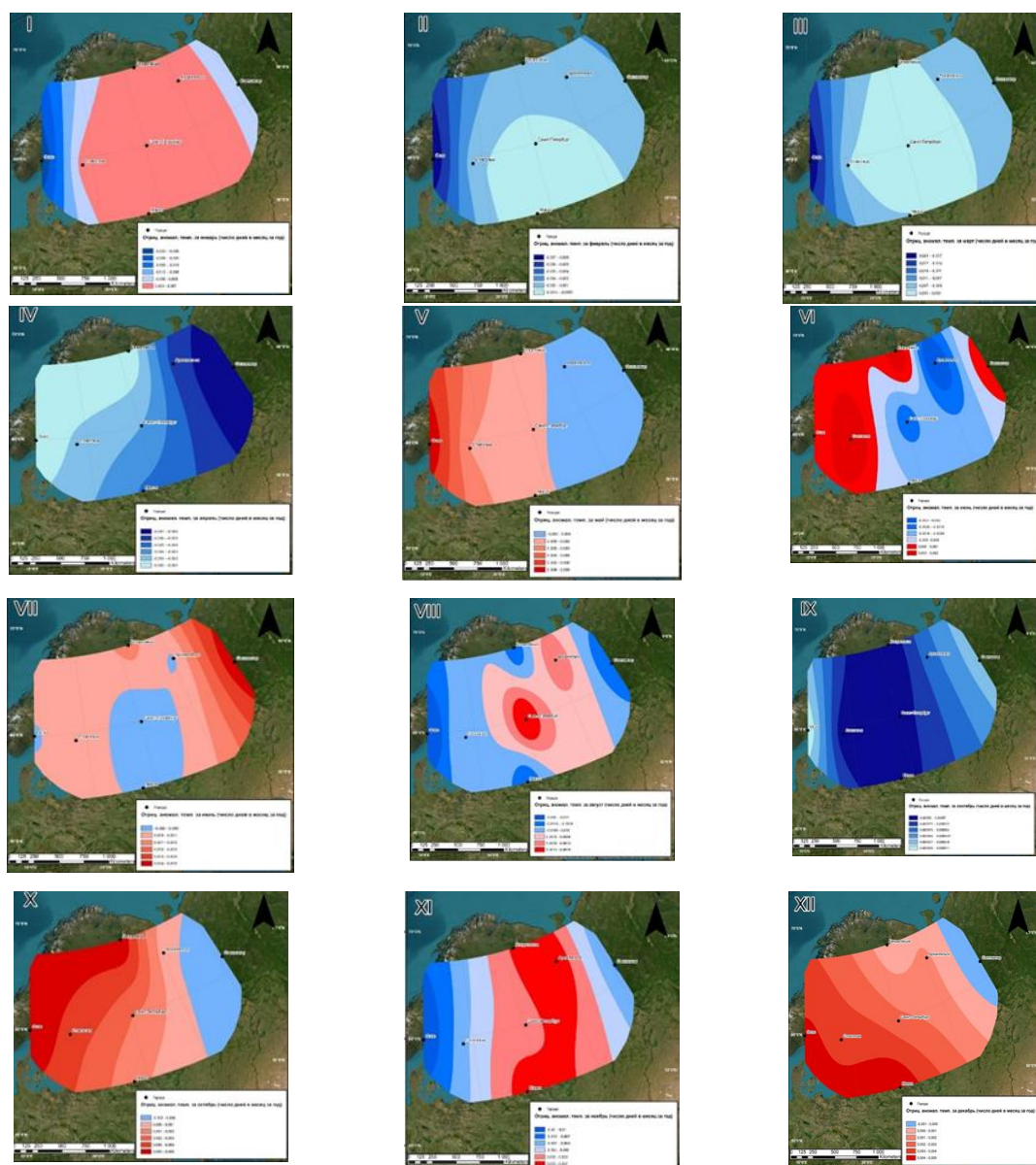


Рис. 8. Распределение многолетних тенденций повторяемости (коэффициентов наклона линейных трендов) крупных отрицательных аномалий (интенсивных похолоданий) приземной среднесуточной температуры в Северной Европе по месяцам за период 1890–2010 гг. (относительно норм, рассчитанных отдельно для последовательных 10-летий)

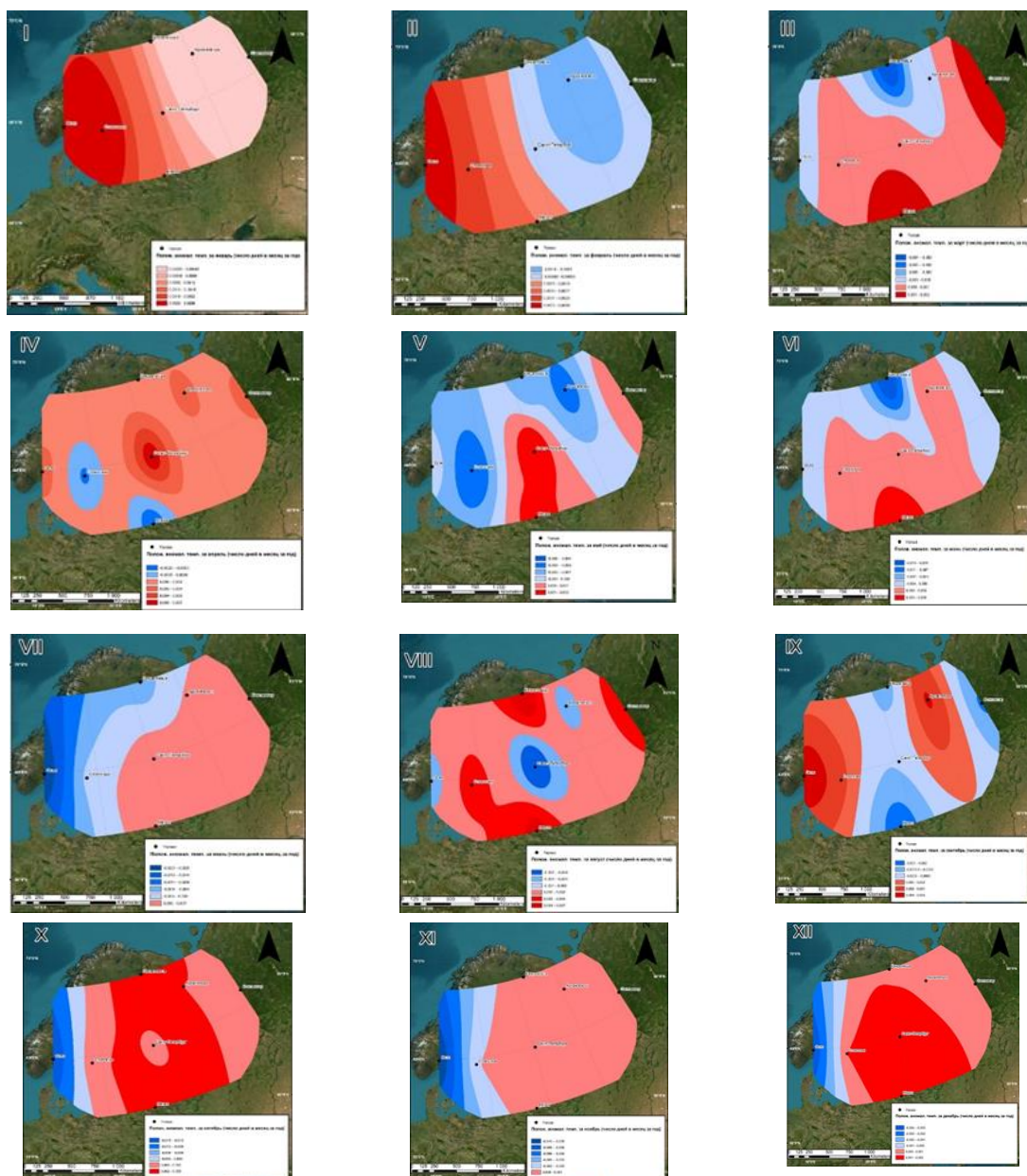


Рис. 9. Распределение многолетних тенденций повторяемости (коэффициентов наклона линейных трендов) крупных положительных аномалий (интенсивных потеплений) приземной среднесуточной температуры в Северной Европе по месяцам за период 1890–2010 гг. (относительно норм, рассчитанных отдельно для последовательных 10-летий)

Сделан вывод, что полученные тенденции не отражают в достаточной степени многолетние тенденции изменений повторяемостей крупных аномалий, и что многолетний ход повторяемостей крупных аномалий приземной температуры воздуха обусловлен воздействием ансамбля факторов.

Одним из определяющих факторов является воздействие крупномасштабных режимов циркуляции атмосферы, в частности Северо-Атлантического колебания. Связь с колебаниями этого индекса рассматривалась в работах (Нестеров, 2017; Бардин, 2020;). В связи с отсутствием статистически значимых тенденций повторяемости крупных аномалий в период 1890-2010 гг. в дальнейшем целесообразно рассмотреть связь Северо-Атлантического колебания с повторяемостью крупных аномалий приземной температуры в регионе.

Библиографические ссылки

1. Jones P. D., M. New, D. E. Parker, S. Martin, I. G. Rigor. Surface air temperature and its changes over the past 150 years // *Rev. Geophys.*, 1999. 37. P. 173–199.
2. Bengtsson L., Semenov V., Johannessen O. The early twentieth-century warming in the Arctic – a possible mechanism // *Journal of Climate*, 1999. vol. 17(20). P. 4045–4057.
3. Wood K. R., Overland J. E. Early 20th century Arctic warming in retrospect // *International Journal of Climatology*, 2010. vol. 30 (9). P. 1269–1279.
4. Yamanouchi T. Early 20th century warming in the Arctic: A review // *Polar Science*, 2011. vol. 5 (1). P. 53–71.
5. Bekryaev R. V., Polyakov I. V., Alexeev V. A. Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern Arctic warming // *Journal of Climate*, 2010. Vol. 23 (14). P. 3888–3906.
6. Алексеев Г. В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2015. № 1. С. 11–26.
7. Lee S. A theory for polar amplification from a general circulation perspective // *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 2014. Vol. 50. P. 31–43.
8. Pithan F., Mauritsen T. Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models // *Nature Geoscience*, 2014. Vol. 7(3). P. 181.
9. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Technical Summary // *Thomas F. Stocker et al.* (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. P. 37–39.
10. Russo S., Dosio A., Graversen R. G., Sillmann, J., Carrao H., Dunbar M. B., Singleton A., Montagna P., Barbola P., and Vogt J. V. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world // *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 2014. 119. P. 12500–12512.
11. Russo S, Sillmann J., Fischer E. M. Top ten European heat waves since 1950 and their occurrence in the coming decades // *Environ. Res. Lett.*, 2015. 10. 124003.
12. Pal J., Eltahir E. Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability // *Nature Clim Change*. 2016. 6. P. 197–200.
13. Dosio A. Projection of temperature and heat waves for Africa with an ensemble of CORDEX Regional Climate Models // *Clim Dyn*, 2017. 49. P. 493–519
14. Mora C., Dousset B., Caldwell I. et al. Global risk of deadly heat // *Nature Clim Change*, 2017. 7. P. 501–506.
15. Im E. S., Pal J. S., Eltahir A. B. Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia // *Sci. Adv.* 2017. Vol. 3. № 8. P. 1603322

16. Бардин М. Ю. Антициклоническая квазистационарная циркуляция и ее влияние на аномалии и экстремумы температуры воздуха в западных областях России // Метеорология и гидрология, 2007. № 2. С. 5-18.
17. Бардин М. Ю., Платова Т. В. Долгопериодные вариации показателей экстремальности температурного режима на территории России и их связь с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и глобальным потеплением // Метеорология и гидрология, 2019. № 12. С. 5-19.
18. Бардин М. Ю., Платова Т. В. Изменения сезонных показателей экстремумов температуры воздуха в Москве и центральных областях европейской части России // Метеорология и гидрология, 2020. № 7, С. 20-35.
19. Dosio A., Mentaschi L., Fischer E. Wyser K. Extreme heat waves under 1.5°C and 2°C global warming // ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS, ISSN 1748-9326, 2018. 13 (5). P. 54-86.

УДК 551.322

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ НА ЛАВИНООПАСНОСТЬ РАЙОНА КРАСНОЙ ПОЛЯНЫ

Г. Н. Граховский, М. В. Рябчиков

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, gennni@mail.ru*

В работе рассматривается влияние температуры воздуха и осадков на формирование и метаморфизм снежного покрова, на образование и сход снежных лавин в районе горного поселка Красная Поляна вблизи черноморского курорта Сочи.

Ключевые слова: снежный покров; снежная лавина; температура воздуха; атмосферные осадки; лавинообразование; метаморфизм снега.

TEMPERATURE AND PRECIPITATIONS INFLUENCE ON THE AVALANCHE RISK IN THE AREA OF KRASNAYA POLYANA

G. N. Grakhovskiy, M. V. Ryabchikov

*Saint Petersburg State Marine Technical University,
Saint Petersburg, Russia, gennni@mail.ru*

This paper considers the influence of the temperature and precipitations on the formation and metamorphism of the snow cover and snow avalanches generation and descend in the south Caucasus area near urban-type settlement of Krasnaya Polyana, Sochi.

Keywords: snow; avalanche; air temperature; precipitations; avalanche formation; snow metamorphism.

При решении задач по прогнозированию и оценке лавинной опасности многие выводы делаются на основе сведений о процессах, происходящих в снежном покрове и знаний о влиянии на них внешних факторов [1]. Однако, современные знания о влиянии ряда внешних факторов на снежный покров и процессы его метаморфизма не являются исчерпывающими. Это в полной мере относится к таким существенным внешним факторам как температура воздуха и атмосферные осадки. В существующих прогностических методиках влияние температуры воздуха учитывается в основном в сравнении с температурой поверхности снега при расчетах температурного градиента [1, 2]. Но в действительности температура воздуха оказывает влияние и на другие характеристики снежного покрова и про-

текающие в нем процессы. Различия в превалирующих температурах, рельефе и количестве осадков определяют существенные региональные особенности их влияния. В работе рассмотрены отдельные существенные аспекты проявления такого влияния в районе Красной Поляны (Западный Кавказ).

В мировой практике подобные исследования проводились Всемирным институтом снега в Давосе для региона Швейцарских Альп. Оценивалась роль внешних источников поступления энергии в снежную толщу при формировании мокрых лавин талого снега. Рассмотрено влияние таких источников поступления энергии, как солнечное излучение и температура воздуха на энергетический баланс снежной толщи, зависимость от него процессов снеготаяния и формирования мокрых и гидро-напорных лавин [3].

В представленном в настоящей статье исследовании для определения влияния температуры воздуха и атмосферных осадков на лавинную обстановку и снежный покров использованы данные наблюдений за стратиграфией снежного покрова и мониторинга сходов снежных лавин в режиме снегомерных маршрутов на территории горнолыжных комплексов (ГЛК) «Роза Хутор» и «Альпика-Сервис», а также данные наблюдений за метеопараметрами при помощи автоматических метеостанций ГЛК «Роза Хутор» и труднодоступной станции (ТДС) «Аибга». Также использованы данные метеостанций «Ачишхо» и «Аибга» для получения климатических характеристик региона.

На основании данных многолетних наблюдений и экстремальных значений температуры, используя формулы расчета времени, необходимого для образования слоя глубинной изморози в толще снега [4], получены сроки, необходимые для возможности формирования лавин температурного разрыхления снега:

$$t = \rho * \frac{d}{I},$$

$$I = 0.75 * 10^{-2} * \frac{P_0/P}{1 + \frac{\theta^{2/3}}{21.5}} * \frac{d\theta}{dz},$$

t – время в сутках, необходимое для образования кристаллов глубинной изморози, $\rho = 0.25 \text{ г/см}^3$ – средняя плотность глубинной изморози, d – толщина слоя глубинной изморози, равная среднему размеру кристалла, I – напряженность потока водяного пара, $\text{г}/(\text{см}^2 \cdot \text{сут})$, θ – среднее отрицатель-

ное значение температуры снега на данной глубине, $\frac{d\theta}{dz}$ = градиент температуры, °С/см, P – атмосферное давление на данной высоте, P_0 – атмосферное давление на уровне моря.

Определяющими параметрами образования глубинной изморози являются разность температур поверхности снега и подстилающей поверхности и толщина снежного покрова. В начала зимнего сезона, в период снегонакопления, срок минимален и составляет 26 суток, но массы снега еще недостаточно для формирования лавин. В середине зимнего сезона, при толщине снежного покрова, достигающей 3-5 метров и среднесуточной температуре воздуха до минус 8 °С, расчетный срок образования глубинной изморози составляет 789 суток. В конце снежного сезона, температура повышается, и для марта расчетный срок составляет уже 18 754 суток. Таким образом, результаты расчетов указывают на недостаточность наблюдающихся в регионе значений температур для образования слоя глубинной изморози, т.е. практическая невозможность формирования лавин температурного разрыхления снега в районе.

После исключения механизма образования глубинной изморози из лавинообразующих факторов были рассмотрены иные возможные механизмы влияния температуры воздуха и осадков на лавиноопасность в регионе. Наиболее очевидной является взаимосвязь температуры воздуха с процессом снеготаяния и образования лавин мокрого типа. Лавины данного типа наблюдаются в регионе начиная с марта и до полного исчезновения снежного покрова. Для выявления местных особенностей связи между изменениями температуры воздуха и лавинной активности в этот период были построены совмещенные графики временного хода минимальной и максимальной за сутки температур воздуха с наличием/отсутствием зафиксированных сходов лавин.

На совмещенном графике временного хода (рис. 1) явно прослеживается соответствие между повышением температуры выше 0 °С и увеличением лавинной активности. Характерные периоды на графике 12-14 и 28-31 марта. Таким образом, типичная картина лавиноопасного периода для весеннего сегмента зимнего сезона привязана к повышению температуры, приводящему к прогреву и активному таянию снежного покрова. Период 28-31.03 обладает типичными параметрами, необходимыми для формирования лавин эпигенетического класса. Длительный период положительных температур, достаточный сначала для прогрева снега до температуры 0 °С (по данным стратиграфических исследований) и дальнейшего притока тепла для таяния снега. Период же 12-14.03 не соответствует подобному сценарию – выше нулевой отметки поднялась лишь дневная температура, снежная толща не успела прогреться до температуры таяния снега, что подтверждается как данными стратиграфических наблюдений, так и

следующим далее периодом положительных температур без лавинной активности. Для более точного понимания происходящего в этих периодах полезно добавление данных о динамике высоты снежного покрова, определяемой выпадением осадков и таянием снега.

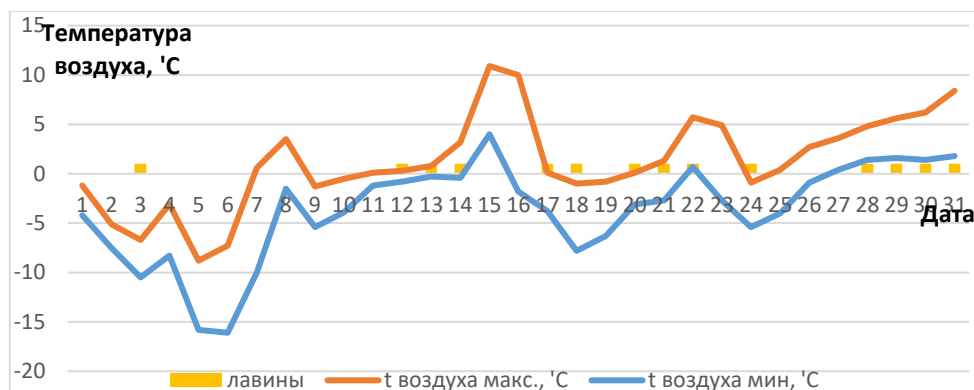


Рис. 1. Сопоставление хода температуры воздуха и дат схода снежных лавин в районе Красной Поляны в марте 2013 г. (ТДС «Аибга»)

Полученный совмещенный график (рис. 2) показывает, что данный период соответствовал хоть и незначительному, но приросту снежного покрова, составившему около 20 см. Осадки при этом наблюдались как в твердом, так и в жидком виде. На основании общего анализа данных можно сказать, что имел место сход лавин полигенетического класса, — сходил слой промоченного дождем влагонасыщенного снега вместе со свежевypавшим поверх него мокрым снегом.

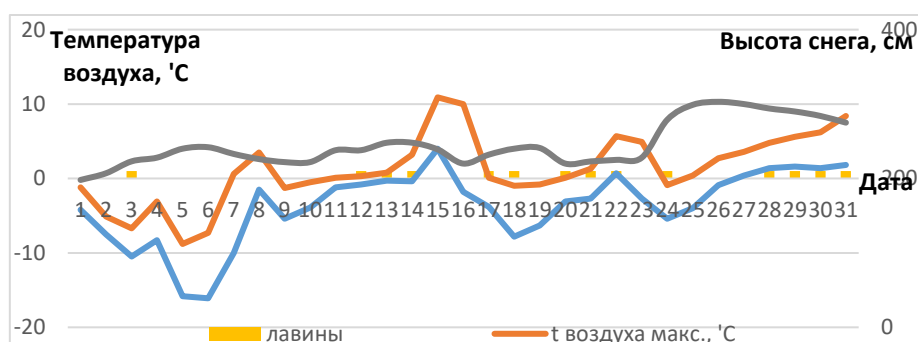


Рис. 2. Сопоставление хода температуры воздуха, высоты снежного покрова и фактов схода снежных лавин в районе Красной Поляны в марте 2013 г. (ТДС «Аибга»)

На рис. 2 также видны сходы лавин 3 и 17-18 марта, соответствующие пониженным температурам и сопровождающиеся увеличением высоты снежного покрова, т. е. снегопадами. Эти периоды характерны для начала месяца, относящегося еще к более холодному периоду окончания зимнего

сезона. Можно предположить, что такая картина — понижение температуры с увеличением высоты снежного покрова характерна для всего зимнего периода. Рассмотрим подобные графики за декабрь 2012 г. и январь 2014 г.

Графики на рис. 3 и 4 в целом подтверждают эту гипотезу. Абсолютное большинство лавиноопасных периодов характеризуется понижением температуры воздуха с увеличением высоты снежного покрова. Дополнительное привлечение данных стратиграфических наблюдений позволяет охарактеризовать развитие типичной лавиноопасной ситуации в зимнее время. В течение периода от нескольких дней до полутора-двух недель температура воздуха выше 0°C днем и ниже 0°C ночью, либо стабильно ниже нуля при ясной погоде и активном солнечном излучении. Такие условия способствуют образованию радиационной корки на поверхности снежной толщи, что подтверждают данные стратиграфических исследований. Далее следует понижение температуры со снегопадом, и при накоплении критической массы снега происходит сход лавин сингенетического класса из свежего снега с горизонтом скольжения по поверхности старого снега. Имеют место и периоды прироста снежного покрова без лавинной активности (9 декабря 2012 г.; 8, 17-18 января 2014 г.). Им либо соответствует повышение температуры воздуха, либо предшествуют короткие промежутки времени после предыдущего снегопада.

Таким образом, очевидно воздействие температурного фона, тенденции его изменения и осадков на формирование снежного покрова и лавинной обстановки в течении всего зимнего периода. При повышении температуры во время снегопада свежавыпавший снег хорошо сцепляется со слоем старого снега. Силы, удерживающие снег на склоне велики, и лавины наблюдаются только в случае большого объема свежавыпавшего снега, с горизонтом скольжения внутри слоя свежего снега.

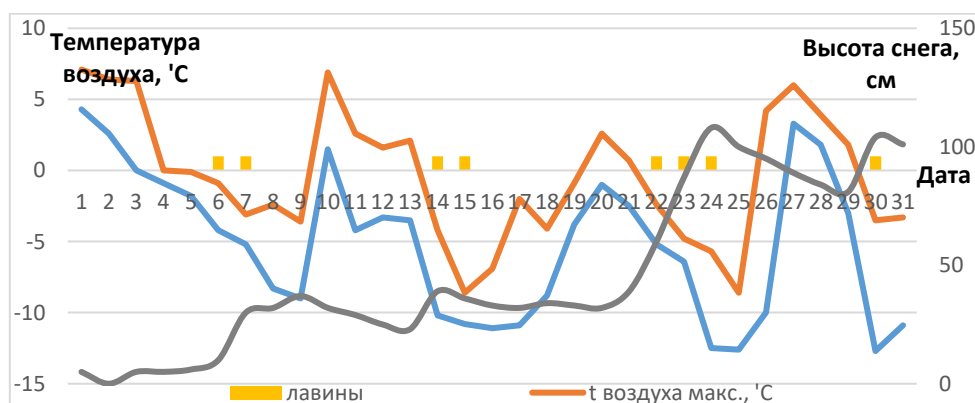


Рис. 3. Сопоставление хода температуры воздуха, высоты снежного покрова и фактов схода снежных лавин в районе Красной Поляны в декабре 2012 г. (ТДС «Аибга»)

Если снегопаду предшествует период ясной погоды с большим суточным перепадом температур, способствующим уплотнению поверхности снежного покрова, наблюдаются сходы лавин с горизонтом скольжения по границе старого и свежевывавшего снега. В таких случаях достаточно небольшого количества свежего снега для формирования лавин.

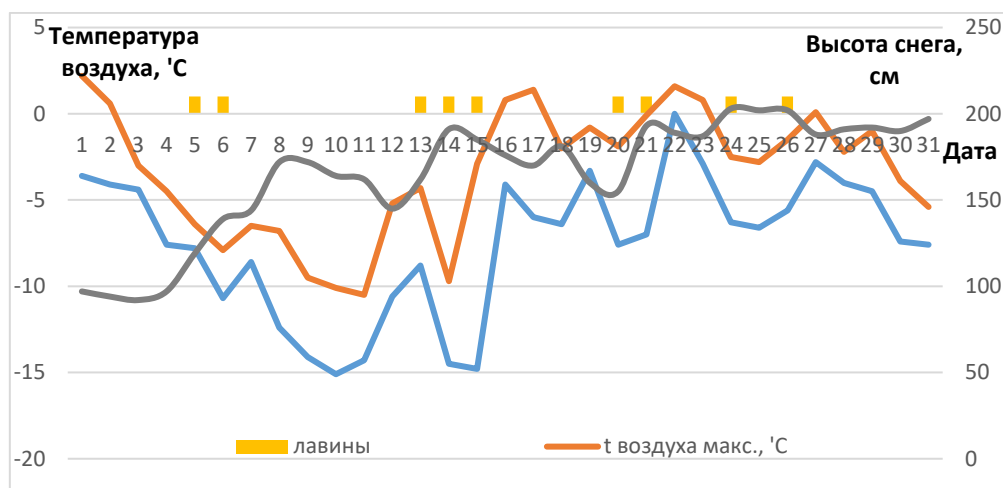


Рис. 4. Сопоставление хода температуры воздуха, высоты снежного покрова и фактов схода снежных лавин в районе Красной Поляны в январе 2014 г. (ТДС «Аибга»)

Переход среднесуточных температур через 0°C весной дает приток тепла, необходимый для прогрева снежной толщи до температуры таяния. При достаточной продолжительности воздействия положительных температур после прогрева начинается процесс снеготаяния, ведущий к образованию мокрых лавин талого снега. Выпадение осадков в жидкой форме и пасмурная погода в ночное время, препятствующая выхолаживанию снега, стимулируют этот процесс.

Результаты проведенного предварительного комплексного анализа данных снеголавинных и метеорологических наблюдений в части образования лавин талого снега в районе Красной Поляны в целом согласуются с результатами исследований Давосского института снега для региона Швейцарских Альп [3]. Вместе с тем показано, что наряду с термическим состоянием снежного покрова необходимо учитывать и динамику его массы, определяемой выпадением атмосферных осадков и таянием.

Влияние температуры воздуха и осадков на формирование лавинной обстановки в холодный период имеет в Красной Поляне свои специфические особенности. Обоснована практическая невозможность формирования здесь лавин температурного разрыхления снега. В альпийском же регионе с его большей абсолютной высотой и более холодным климатом

ключевая роль в образовании лавин принадлежит именно формированию слоя глубинной изморози.

Представленный в статье определенный характер зависимости лавинной обстановки в конкретном горном районе от воздействия погодных факторов, указывает на необходимость их количественного учета, при оценке текущей и ожидаемой лавиноопасности. Такой учет должен быть дифференцирован по типам сочетаний температурных условий и фазовому состоянию выпадающих осадков. Наиболее эффективным представляется формирование регрессионных моделей по выделенным типам, включающим в состав предикторов параметры приземной температуры и осадков. Разработка таких моделей потребует формирования достаточно представительного исторического архива данных и значительного объема исследований. Однако решение этой задачи откроет возможность совершенствования методов локальных прогнозов схода лавин или обобщенных районных индексов лавиноопасности на основе учета данных метеорологических прогнозов от современных численных моделей большого разрешения.

Библиографические ссылки

1. *Войтковский К. Ф.* Лавиноведение. М.: Изд-во МГУ, 1989. 158 с.
2. *Лосев К. С., Божинский А. Н., Гракович В. Ф.* Прикладное лавиноведение. М., Изд-во ВИНТИ, 1991. 174 с.
3. *Mitterer C., Schweizer J.* Analysis of the snow-atmosphere energy balance during wet-snow instabilities and implications for avalanche prediction // *The Cryosphere*. 2013. № 7. С. 205-216.
4. РД 52.37.613-2000 Руководство по снеголавинным работам, Нальчик, Изд-во ВГИ, 2000. 33 с.

УДК 551.513+551.55(476)

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМ СКОРОСТИ ВЕТРА В БЕЛАРУСИ

А. В. Гречаник, Т. А. Шелест

*Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина,
бульвар Космонавтов, 21, 224016, Брест, Беларусь,
HrachanikA@tut.by, tashelest@mail.ru*

Дана оценка изменения климатических норм скоростей ветра в Беларуси. Выявлено снижение среднегодовой скорости ветра в период 1991-2020 гг. по сравнению с предыдущим периодом 1981-2010 гг. Выявлены масштабы изменения сезонных и месячных норм скоростей ветра за рассматриваемые периоды.

Ключевые слова: климатическая норма; скорость ветра; Беларусь.

CHANGES IN CLIMATE NORMAL WIND SPEED IN BELARUS

A. V. Hrachanik, T. A. Shelest

Brest State A. S. Pushkin University, Cosmonauts Boulevard, 21, 224016, Brest, Belarus, HrachanikA@tut.by, tashelest@mail.ru

An assessment of changes in climate norms of wind speeds in Belarus is given. A decrease in average wind speed was revealed in the period 1991-2020 compared to any period 1981-2010. The scale of changes in seasonal and monthly wind speed norms for the periods under consideration are given.

Keywords: climate norm; wind speed; Belarus.

За последние несколько десятилетий одной из актуальнейших проблем климатологии является оценка наблюдаемых изменений климата, определяемых в первую очередь по увеличению средней температуры воздуха [1, 2]. Однако, кроме приземной температуры воздуха, важным фактором изменения климата является режим атмосферной циркуляции, который влияет на изменчивость атмосферного давления, ветра, температуры воздуха и влажности. Поэтому важно определить показатели нормирования скорости ветра для использования их в народном хозяйстве и с целью прогноза дальнейших изменений климата.

Климатическая норма — это та или иная характеристика климата, статистически полученная из многолетнего ряда наблюдений. Чаще всего это средняя величина [3]. Свое начало практика применения климатических (климатологических) норм берет в первой половине XX в., когда она

использовалась для проведения сравнений между наблюдениями, произведенными по всему миру.

Климатические нормы используются для двух главных целей. Во-первых, они служат контрольными точками, с которыми могут сравниваться недавно проведенные или текущие наблюдения. Во-вторых, для предсказания условий, которые могут ожидать с наибольшей вероятностью в заданном районе [4].

Расчет климатических норм осуществляется согласно Руководящим указаниям Всемирной метеорологической организации по расчету климатических норм [4]. Понятие «климатическая норма» применялось к непересекающимся 30-летним периодам (1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 гг.). Семнадцатый Всемирный метеорологический конгресс (ВМО, 2015 г.) одобрил ряд изменений в определениях, касающихся климатических норм. Наиболее значительное заключалось в изменении периода, за который рассчитываются нормы: теперь это понятие применяется к последнему 30-летнему периоду, который завершается годом, заканчивающимся цифрой 0 (1981-2010, 1991-2020 гг. и т. д.), а не к непересекающимся периодам, как было ранее. На момент подписания технического регламента это был период 1981-2010 гг. В 2021 г. в связи с окончанием периода 1991-2020 гг. членам ВМО настоятельно рекомендовано перейти на климатологические стандартные нормы за период 1991-2020 гг. с целью унификации данных климатического мониторинга по всему миру и для повышения качества обслуживания субъектов отраслей экономики и населения. Период с 1961 по 1990 гг. был сохранен как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата.

Цель исследования — дать оценку изменений, используемых в настоящее время климатических стандартных норм скорости ветра по метеостанциям Беларуси (за период 1991-2020 гг.) по сравнению с климатическими нормами предшествующего расчетного периода (1981-2010 гг.).

Для оценки изменения климатических норм скоростей ветра были рассчитаны средние многолетние значения средних месячных, сезонных и годовых скоростей ветра по всем метеорологическим станциям Беларуси за 2 периода: 1991–2020 и 1981-2010 гг. Исходными данными для исследования явились материалы метеорологических наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

В таблице представлена разница средних месячных и годовых скоростей ветра (климатических норм) за периоды 1981-2010 и 1991-2020 гг. по областям Беларуси, а также по стране в целом.

**Величина изменения климатических норм скоростей ветра
за период 1991-2020 гг. по сравнению с периодом 1981-2010 гг.**

Область	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Витебская	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2
Минская	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3
Гродненская	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
Могилев- ская	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
Брестская	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2
Гомельская	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
<i>Беларусь</i>	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2

Анализ изменения скоростей ветра за рассматриваемые периоды показал, что по всем областям и Беларуси в целом в современный период определения климатических норм (1991-2020 гг.) по сравнению с предшествующим (1981-2010 гг.) периодом, климатические нормы среднегодовой скорости ветра снизились. В среднем по Беларуси снижение составило 0,2 м/с. Среди метеостанций республики наиболее существенное снижение значений климатических норм среднегодовой скорости ветра произошло в Вилейке (на 0,5 м/с), Брагине, Минске, Сенно (на 0,4 м/с). В Ганцевичах и Горках изменений показателей климатических норм не произошло. В Бресте, Высоком, Докшицах, Лепеле, Лынтупах, Жлобине, Гродно, Березино, Воложине, Могилеве, Славгороде среднегодовая норма скорости ветра снизилась незначительно (в пределах 0,1 м/с).

Среднемесячные скорости ветра за рассматриваемые периоды изменились неодинаково. Среди сезонов года наиболее существенное снижение наблюдается в осенние месяцы (0,3 м/с). При анализе в разрезе отдельных метеорологических станций выделяются станции Сенно и Вилейка, где снижение климатической нормы среднемесячной скорости ветра составило 0,6 м/с. Среди зимних месяцев выделяется январь, где климатическая норма снизилась на 0,3 м/с. При этом в Минской и Гродненской областях снижение среднемесячных скоростей ветра составило 0,4 м/с. Среди метеорологических станций стоит отметить Сенно, Брагин и Вилейку, где снижение составило 0,6 м/с. В остальные зимние месяцы снижение нормы скорости ветра составило 0,3 м/с. Весной и летом снижение скорости ветра во все месяцы составляет 0,2 м/с. При этом стоит выделить Могилевскую область, где в марте, апреле, июле и августе снижение нормы скорости ветра составило 0,1 м/с. Такие же показатели отмечены в марте и июне для Брестской области и в июне для Гомельской области. Увеличения среднемесячной скорости ветра в современный период по сравнению с предшествующим не наблюдается ни по одной из рассматриваемых станций.

То есть климатические нормы по всем областям Беларуси наиболее существенно уменьшились осенью и в январе (на 0,3 м/с). При этом можно

выделить некоторые региональные отличия. Так, в весенне-летний период на востоке Беларуси они снизились меньше, чем на севере и в центре страны. Для осенне-зимнего периода наиболее существенно нормы уменьшились в западных и центральных районах республики. В феврале, мае и декабре масштабы изменения климатических норм схожи.

В целом по Беларуси климатические нормы среднегодовой скорости ветра составляют 2,7 м/с, что на 0,2 м/с ниже, чем в предшествующий период. Средние скорости ветра по сезонам составляют: зимы – 3,1 м/с (снизились на 0,3 м/с), весны – 2,8 м/с (снизились на 0,2 м/с), лета – 2,2 м/с (снизились на 0,2 м/с), осени – 2,6 м/с (снизились на 0,3 м/с).

Таким образом, проведенный сравнительный анализ изменений используемых в настоящее время климатических норм скорости ветра по метеостанциям Беларуси и норм предшествующего расчетного периода показывает, что за последнее десятилетие снижение скорости ветра продолжилось по всей территории страны. В связи с этим новый подход к определению климатических норм, когда нормы пересчитываются каждое десятилетие, вполне оправдан по сравнению с тем подходом к определению климатических норм, который существовал ранее, когда использовались непересекающиеся 30-летние периоды. Использование этих норм позволяет проводить сравнения текущих значений скорости ветра со скоростями, наиболее приближенными к современным климатическим условиям, а также повышает качество обслуживания субъектов отраслей экономики и населения.

Библиографические ссылки

1. Прохорова У. В. Исследование временной изменчивости характеристик атмосферной циркуляции в районе арх. Шпицберген / У. В. Прохорова, П. Н. Священников, Б. В. Иванов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 4 (114). С. 47-56.
2. Логинов В. Ф. Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. Минск : Беларуская навука, 2017. 179 с.
3. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь : в 3 т. / под ред. А. И. Бедрицкого. СПб.; Москва : Летний сад, 2009. Т. 2 : К–П. 310 с.
4. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм [Электронный ресурс] / Всемирная метеорологическая организация, 2017. Режим доступа: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168. Дата доступа: 09.08.2023.

УДК 504.455+504.064.36:574
**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА
МЕТАНА С ВОДОХРАНИЛИЩ РАЗНОЙ ПРОТОЧНОСТИ**

М. Г. Гречушникова^{1,2)}, Д. В. Ломова²⁾, В.А. Ломов¹⁾

*¹⁾Московский государственный университет, Географический факультет,
Ленинские горы, 1, 119234, г. Москва, Россия, allavis@mail.ru;*

*²⁾Институт водных проблем РАН, ул. Губкина 3, 119333, г. Москва, Россия,
florinter@mail.ru*

По данным полевых измерений определены характерные масштабы изменений удельного потока метана с поверхности Можайского и Иваньковского водохранилищ в 2020-2021 гг. с различными погодными условиями. Показана роль факторов, определяющих удельный поток метана: проточность, стратификации водной толщи, кислородного режима, проточности водоема, характера донных отложений.

Ключевые слова: парниковые газы; водохранилище; метан; растворенный кислород.

**PECULIARITIES OF SPECIFIC METHANE FLUX FORMATION
FROM RESERVOIRS WITH DIFFERENT FLOW RATES**

M. G. Grechushnikova^{1,2)}, D. V. Lomova²⁾, V. A. Lomov¹⁾

*¹⁾Moscow State University, Geographical faculty, Leninskie Gory, 1, 119234, Moscow,
Russia, allavis@mail.ru ²⁾Institute of water problems RAS, Gubkina st., 3 119333,*

Moscow, Russia, florinter@mail.ru

Characteristic scales of changes in the specific methane flux from the surface of Mozhaiskoye and Ivankovskoye reservoirs in 2020-2021 with different weather conditions are determined based on field measurements. The role of various factors determining methane specific flux is shown: water flow, stratification of the water column, oxygen regime, water body flowability, nature of bottom sediments.

Keywords: greenhouse gases; reservoir; methane; dissolved oxygen.

Немногочисленность натурных измерений эмиссии метана с поверхности искусственных водоемов ставит задачу параметризации этого процесса в глобальном масштабе. Полученные в работе [1] оценки потока метана для различных природных зон не всегда подтверждаются результатами измерений на водоемах [2]. Многолетние наблюдения на Можайском водохранилище показали, что УП метана изменяется не только по длине

водоема, но и значительно зависит от гидрологической структуры слабопроточного водоема в конкретном году, что определяется метеорологическими условиями года [3] (рис. 1). В работе приведено сравнение данных измерительных кампаний на Можайском и Иваньковском водохранилищах в 2020-2021 гг.

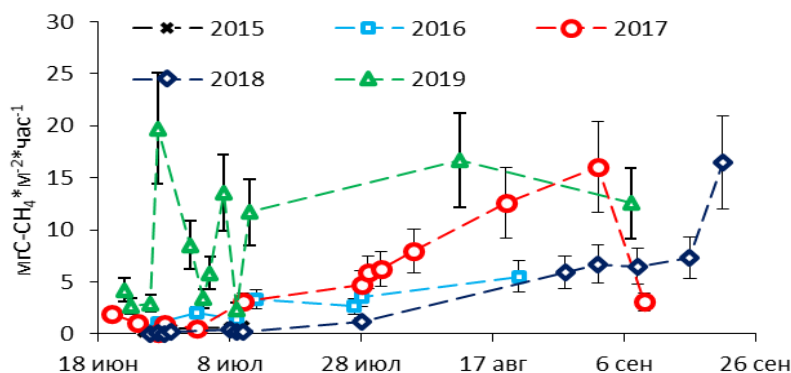


Рис. 1. Содержание метана в воде исследуемых водоемах

Выбранные водоемы различаются проточностью и режимом: Иваньковское водохранилище имеет среднегодовой коэффициент водообмена ($Kв$) $7,9 \text{ год}^{-1}$. Можайское водохранилище относительно глубоководно и слабопроточно ($Kв$ $1,78 \text{ год}^{-1}$). Большую часть периода открытой воды Можайское водохранилище стратифицировано, ниже слоя плотностного скачка ежегодно образуется бескислородная зона. В Иваньковском водохранилище стратификация выражена существенно меньше, а бескислородные условия устанавливаются только в периоды ослабления проточности при жаркой погоде [4]. В 2020-2021 гг. проведены гидрологические съемки на водоемах на станциях, отмеченных на рисунке 2. Состав работ: измерение вертикального распределения характеристик (температуры, растворенного кислорода), определение концентрации метана в водных пробах методом headspace, измерение удельного потока метана в атмосферу методом плавучих камер, определение содержания органического вещества (ОВ) в грунте методом потерь при прокаливании. Комплекс измерений и используемое оборудование описаны в [5].



Рис. 2. Схема размещения станций на исследуемых водоемах

Съемки были проведены в следующие сроки: на Иваньковском водохранилище 5-6.08.2020 г. и 4-5.08.2021 г., на Можайском водохранилище 12-13.08.2020 г. и 30.06.2021 г. Погодные условия, предшествовавшие съемкам, определили особенности вертикального распределения характеристик в водоемах. В 2020 г. наблюдалась частая смена погоды: относительно жаркая погода в июне с температурой воздуха до 29-31°C перемежалась похолоданиями до 10 °С с усилением скорости ветра до 8-10 м/с. Во второй половине июля преобладала циклоническая погода с обильными осадками, усилением ветра до 10-12 м/с и ночными похолоданиями до 8-10 °С, которая сменилось потеплением в 1 декаде августа до 26-28 °С. В 2021 г. в июне наблюдалось повышение температуры воздуха до 25-35 °С, а в первые две декады июля преобладала маловетренная жаркая погода с дневными значениями температуры воды более 25 °С, и ночными более 15 °С, с небольшим похолоданием в третьей декаде (днем до 21°C, ночью до 13 °С) с дальнейшим потеплением. В 2021 г. проточность водохранилищ была существенно меньше, чем в 2020 г. за счет малого притока воды (табл. 1).

Таблица 1

Уровень воды и суммарный приток в водохранилища

Вдхр	Можайское		Иваньковское	
Год	2020			
Приток, млн м³	Июнь 61,5	Июль 103,7	Июнь 1074	Июль 1295
Год	2021			
Приток, млн м³	Май 30,9	Июнь 12,4	Июнь 294,9	Июль 237,9

В данных условиях структура водной толщи водоемов была различна (табл. 2). В Иваньковском водохранилище отсутствовала бескислородная зона, только в 2021 г. у плотины в придонном слое содержание кислорода снизилось до 0,5 мг/л. В Можайском водохранилище в 2020 г. бескислородная зона присутствовала в метровом придонном слое в верхней и центральной части (I-III), а на глубоководных станциях поднималась до горизонтов 10-11 м. В 2021 г. из-за жаркой погоды в мае в придонных слоях у плотины к июню сохранилась холодная вода, где деструкция шла не активно и сохранилось содержание кислорода более 1 мг/л. На станции IV граница бескислородной зоны поднялась до горизонта 11 м, а на I-III до горизонта 3-4 м.

По данным измерений в верховьях обоих водохранилищ донные отложения представлены заиленным песком с содержанием ОВ менее 3 %. В центральном и приплотинном районах его содержание составляет 10-14 % на Можайском и 10-16 % в Иваньковском в пределах русловой ложбины, что, в сущности, весьма близко с учетом точности метода потерь при прокаливании. В августе 2021 г. в Иваньковском водохранилище накопилось в течение жаркого сезона больше ОВ: 12-17 %.

Таблица 2

Характеристики водной толщи водохранилищ, содержание и УП метана

Иваньковское водохранилище		съемка 4-5.08.2020					съемка 4-5.08.2021				
Станция	Гори-зонт	Глубина станции	T, °C	O ₂ , мг/л	CH ₄ , мкл/л	УП CH ₄ , мгC/м ² сут	Глубина станции	T, °C	O ₂ , мг/л	CH ₄ , мкл/л	УП CH ₄ , мгC/м ² сут
Городня	пов	12	20,8	8,3	16,6	62,3	12	22,6	9	4,7	10,5
	дно		20,1	7,6	16,8			21,6	3,9	4,6	
Дипкорпус	пов	10	21,4	9,2	8,7	30,2	10	23	10,5	10,8	296,2
	дно		19,9	5,3	12,6			21,5	3,5	17,2	
Конаково	пов	13	22	10,7	1,9	9,2	13	23	10,4	9,9	31,9
	дно		18,7	1,9	7,7			21,5	2,9	16	
Корчева	пов	14	23,9	10,1	3	9,7	14	24,6	10,7	7,8	223,8
	дно		18,9	1,1	13,3			21,9	2,5	68,5	
Плотина	пов	17	22,2	11,7	4,1	2,9	17	24,1	9,5	14,1	68,9
	дно		19,7	4,8	7,8			22	0,5	132,3	
Можайское водохранилище		съемка 12-13.08.2020					съемка 30.06.2021				
Станция	Гори-зонт	Глубина станции	T, °C	O ₂ , мг/л	CH ₄ , мкл/л	УП CH ₄ , мгC/м ² сут	Глубина станции	T, °C	O ₂ , мг/л	CH ₄ , мкл/л	УП CH ₄ , мгC/м ² сут
I Мышкино	пов	нд	нд	нд	нд	нд	5	22,2	9,4	17,9	43,6
	дно		нд	нд	нд			16,6	0	нд	
II Горки	пов	6	19,1	4,9	4,3	19,4	6,5	22	6,3	13,9	198,7
	дно		17,5	0,5	7,1			15,4	0	нд	
III Бесстужево	пов	8	20,2	7,3	15	244	9	21,9	8	15,4	9
	дно		17,8	0,5	3158			12,1	0	560	
IV Красновидово	пов	14,5	20,2	8,1	13,1	71,9	14	22,3	9,7	7,4	3,9
	дно		15,7	0,3	1808			10,5	0	110,5	
V Плотина	пов	19	22,3	13,4	7,2	18,2	18,5	23,3	10,9	5	16,7
	дно		19	0,3	1727			8,3	1,5	18,9	

Анализируя данные табл. 2 можно видеть, что по результатам 2020 г. в водохранилищах разной проточности, находящихся практически в одинаковых климатических условиях, содержание и удельный поток (УП) метана отличается на порядок. Основная причина этих различий состоит в особенностях кислородного режима, который определяется погодными условиями, стратификацией и проточностью каждого конкретного года. Из-за асимметричного продольного профиля имеет место большая пространственная неоднородность УП метана. В слабопроточном Можайском водохранилище наибольшие значения потока характерны для центрального района, который имеет относительно небольшую глубину (около 10 м), но при этом не перемешивается до дна при похолоданиях с сохранением бескислородной зоны. А в приплотинном глубоководном районе, где формируется донная водная масса с наиболее холодной водой, УП метана невелик. В водохранилище сезонного регулирования несмотря на проточный режим в определенных условиях (малый приток и жаркая погода) УП метана может достигать трехзначных величин при хорошем прогревании придонного слоя и накоплении свежего детрита при обильном цветении.

Наилучшим образом можно параметризовать УП либо при длительном ряде наблюдений, либо при наличии математической модели, которая воспроизведет УП при различных входящих условиях [6].

Анализ данных проведен при финансовой поддержке гранта РНФ 24-27-00034.

Библиографические ссылки

1. Johnson, M. S. et al. Spatiotemporal methane emission from global reservoirs. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. <https://doi.org/10.1029/2021JG006305>.
2. Репина И. А. и др. Содержание и потоки метана в Волжских водохранилищах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 6. С. 899-913.
3. Lomov V. et al. Methane fluxes in an artificial valley reservoir according to field observations and mathematical modeling // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, издательство IOP Publishing (Bristol, UK, England), 2020. V.611. P. 012029.
4. Гречушникова М. Г. и др. Результаты исследования внутриводоемных процессов Иваньковского водохранилища в различные годы и сезоны // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова «Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен», 2023. С. 102-107.
5. Гречушникова М. Г. и др. Пространственно-временные различия гидроэкологических характеристик и эмиссии метана Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы, издательство ФГБУ Издательство «Наука» (Москва), том 50, № 1. С. 81-89.
6. Lomov V., Stepanenko V., Grechushnikova M., Repina I. Mechanistic Modeling of the Variability of Methane Emissions from an Artificial Reservoir. Water 2024, 16, 76. <https://doi.org/10.3390/w16010076>.

УДК 556.535.4/.5 (476)

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭВОЛЮЦИИ РАЗВИТИЯ ЛИМНОСИСТЕМЫ ЛУКОМЛЬСКОГО ОЗЕРА

Н. П. Грицук¹⁾, П. С. Лопух²⁾

¹⁾Белгидромет, г. Минск, Республика Беларусь, meteonataly@vk.com;

²⁾Белорусский государственный университет, г. Минск,
Республика Беларусь, lopuch49@mail.ru

Были изучены условия формирования теплового режима озера Лукомльское, до и после строительства Лукомльской ГРЭС. На основе официальных данных государственной сети гидрометеорологических наблюдений Беларуси с использованием статистических методов и прогнозной экстраполяции составлена схема нового районирования озера Лукомльское. В свете изменений природной среды и увеличения влияния человека, использование водных экосистем становится все важнее для прогнозирования будущего развития. Поэтому, важность использования водоемов-охладителей в качестве моделей в условиях глобального потепления климата становится актуальной как сегодня, так и в будущем. Спрогнозированы тенденции изменения термического режима озера.

Ключевые слова: водоем-охладитель; термический режим; эволюция озер; устойчивость лимносистемы; тепловое загрязнение; изменение климата; мониторинг.

PROSPECTS FOR THE EVOLUTION OF THE DEVELOPMENT OF THE LIMITATION SYSTEM OF LAKE LUKOMLSKOYE

N. P. Gritsuk¹⁾, P. S. Lopuh²⁾

¹⁾Minsk, Republic of Belarus, Btlgidromet, meteonataly@vk.com;

²⁾Minsk, Republic of Belarus, Belarusian State University, lopuch49@mail.ru

The conditions for the formation of the thermal regime of Lake Lukomlskoye were studied, before and after the construction of the Lukomlskaya State District Power Plant. Based on official data from the state network of hydrometeorological observations of Belarus, using statistical methods and predictive extrapolation, a new zoning scheme for Lake Lukomlskoye was compiled. In light of changes in the natural environment and increasing human influence, the use of aquatic ecosystems is becoming increasingly important for predicting future development. Therefore, the importance of using cooling ponds as models in the context of global warming becomes relevant both today and in the future. Trends in changes in the thermal regime of the lake have been predicted.

Keywords: cooling reservoir; thermal regime; evolution of lakes; stability of the liminal system; thermal pollution; climate change; monitoring.

Взаимосвязи между изменением климата и водными ресурсами проявляются не только в изоляции, но и в контексте, а также во взаимодействии с социально-экономическими и экологическими условиями. Ошибки в понимании данных взаимосвязей могут ухудшить ситуацию и увеличить уязвимость сообществ как по отношению к природным катастрофам, так и к антропогенным чрезвычайным ситуациям.

По данным Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, рост температуры воды в водоемах на территории Беларуси в период 1989-2018 гг. составил 1,3 °С. Исходя из выявленных закономерностей, в ближайшем будущем ожидается увеличение летних теплозапасов озер на 5-8 %, вызванное ростом температур воздуха, который сильнее всего выражен в летний период [1].

Таким образом, анализ изменения водоемов вследствие теплового загрязнения и в результате потепления климата в итоге может привести к полному изменению экосистемы подводного мира, которая будет меняться в сторону упрощения и обеднения, однако в случае теплового загрязнения этот процесс будет происходить в 3-4 раза быстрее.

Можно заключить, что водоемы-охладители отличаются от остальных водоемов наличием значительных изменений температуры воды, либо экстремально высоких, либо крайне низких значений. Из этого следует, что они являются наиболее подходящими моделями озер в условиях глобального потепления.

С этих позиций Лукомльское озеро представляет собой уникальный экспериментальный водоем, на котором можно моделировать возможные трансформации лимнических процессов в условиях теплового загрязнения и спрогнозировать возможные изменения при глобальном потеплении климата Беларуси [2].

Пост на озере был открыт 23 сентября 1932 г. В настоящее время пост расположен в 10 м от спасательной станции, в 0,2 км западнее г. Новолукмля, в 1,5 км южнее ГРЭС, на восточном берегу озера. Лукомльская ГРЭС — флагман белорусской энергетики и самая мощная электростанция в республике.

С 1963 г. проводятся стандартные наблюдения на рейдовой вертикали № 1, расположенной в 800 м западнее поста. С 1975 г. по 01.08.1992 г. проводились наблюдения на рейдовой вертикали № 2 — в 3,8 км к северу от поста и в 0,5 км от места сброса тепловых волн Лукомльской ГРЭС (рис. 1).

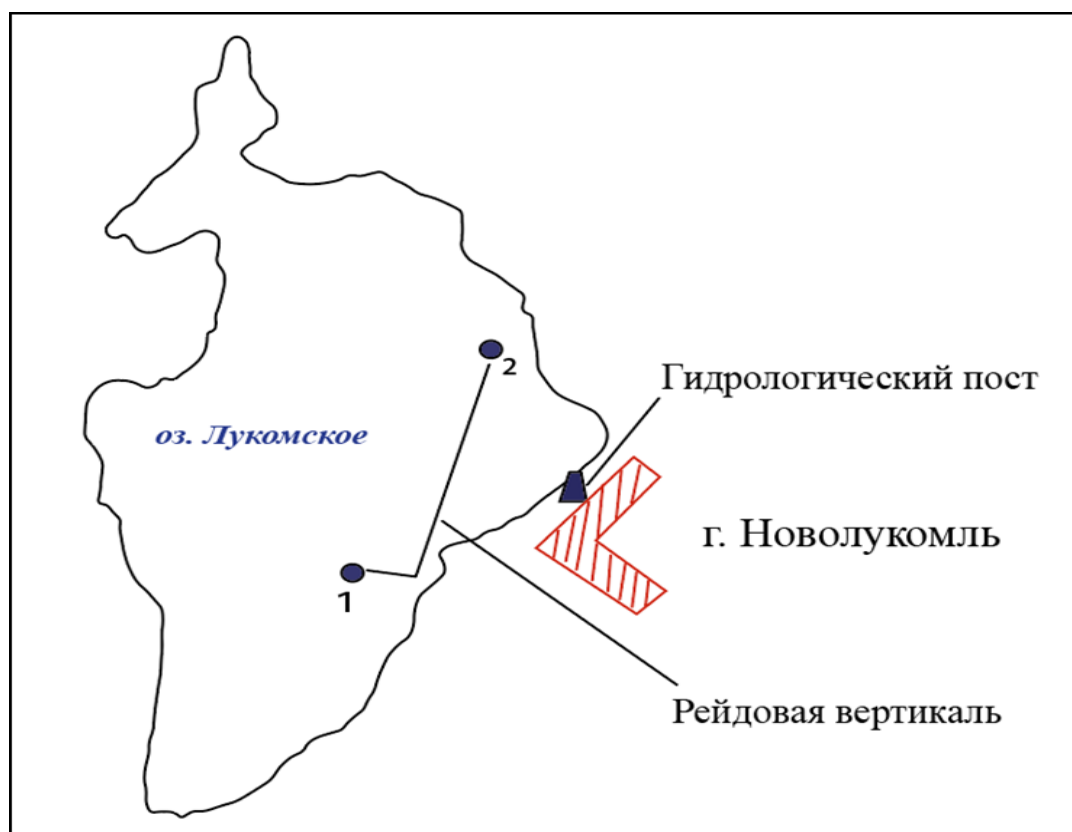


Рис.1. Схема расположения гидрологического поста на озере Лукомльское [4]

Исследование проводилось на основе обзора данных о температуре воды источниками которых были официальные материалы Республиканского гидрометеорологического центра, а также экспедиционные данные НИЛ озероведения БГУ. Были использованы следующие методы исследования: описательный, картографический, прогнозный экстраполяции, а также математические методы. Анализ полученных данных, построение и сглаживание графиков производились с помощью программных продуктов Excel и ArcGIS. С помощью описательного метода проведен анализ обзора доступной литературы белорусских авторов Лопуха П. С, Суховило Н.Ю. и Митраховича П. А. о состоянии теплового режима озера Лукомльского.

Наибольшую степень трансформации термического режима имеет часть акватории, непосредственно прилегающая к сбросам системы охлаждения ГРЭС. Термический режим этой зоны не отвечает требованиям естественных водоемов, его следует рассматривать как техногенный [3]. Значительное влияние на внутриводоемные процессы оказывает сброс подогретой воды, в многолетнем аспекте озеро стало «теплее» на 4,5 °С в безледоставный период (рис. 2).

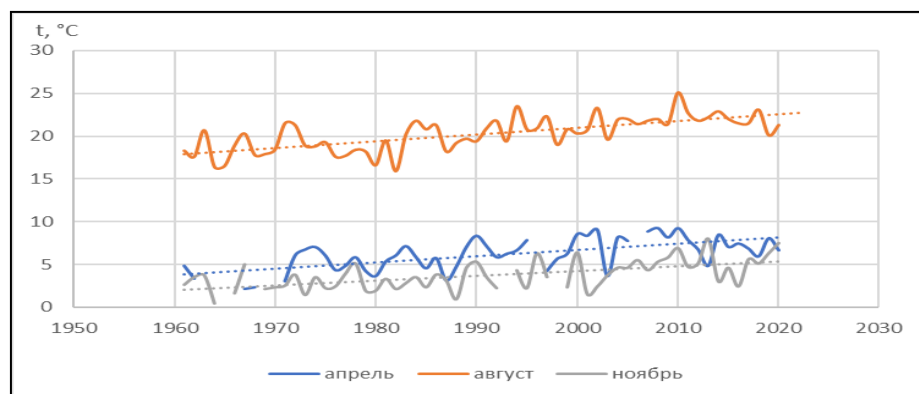


Рис. 2. Многолетняя динамика среднемесячной температуры (апрель, август, ноябрь) поверхностного слоя воды в озере Лукомльском в 1961-2020 гг. (сост. по [4])

Также увеличилась максимальная температура воды. Если до строительства ГРЭС максимальные температуры воды доходили до 24,6 °С, то после строительства поднималась до 30,7 °С в 2010 г.

Тепловое загрязнение озера Лукомльского распространяется на большую часть акватории по поверхности озера и проникает до придонных слоев, что приводит к нарушению естественной стратификации озера. На рисунке 3 представлен график, показывающий почти состояния гомотермии летом в определенные года.

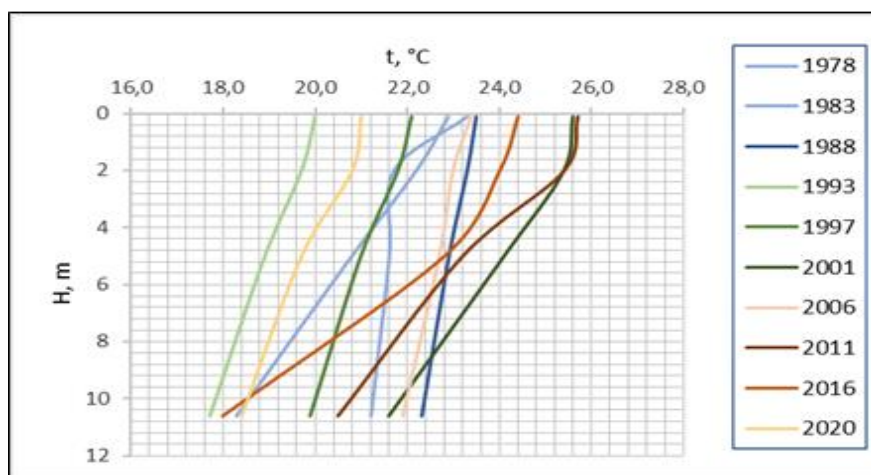


Рис. 3. Распределение температуры с глубиной на промерных вертикали № 1 (1978 - 2020 гг.) (сост. по [4])

Так в период максимального теплозапаса озера (июнь-август) можно наблюдать прямую стратификацию в точке сброса воды (вертикаль № 2) и переходящую в гомотермию стратификацию в зоне подмеса теплых вод (вертикаль № 1) (рис. 4).

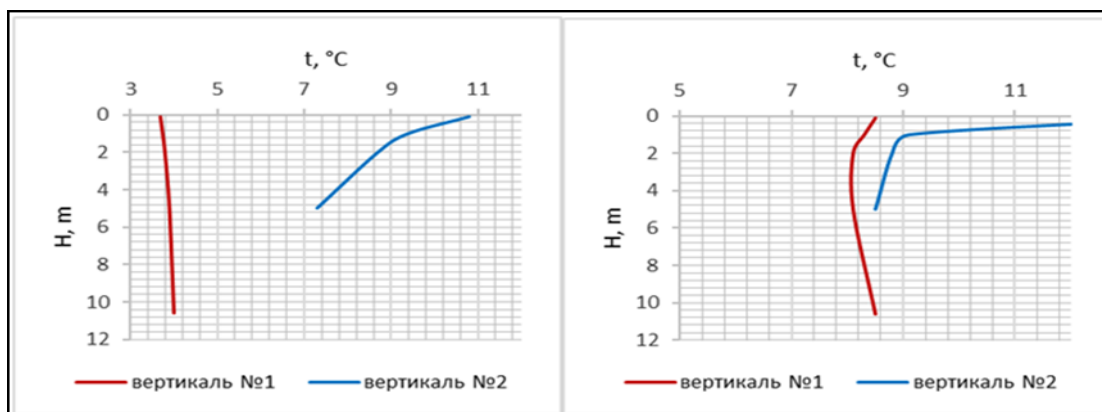


Рис. 4. Распределение температуры с глубиной на промерных вертикалях: (29.11.1986 г. (осень) –слева, 30.04.1979 г. (весна) –справа) (сост. по [4])

Таким образом, учитывая все вышеперечисленные изменения при продолжающейся интерполяции температурных показателей, можно спрогнозировать каким будет термический режим озера через следующие 60 лет исследований.

Так согласно прогнозу, составленному с помощью программного комплекса Microsoft Excel, к 2080 г. среднемесячная температура озера в самый теплый месяц года, повысится еще на 5 °С. При этом возможные отклонения варьируются от 18 °С в сторону уменьшения до 36 °С в сторону увеличения. Среднегодовая температура водной поверхности увеличится до 16,1 °С. А максимально температура воды будет достигать отметки 35,2 °С по худшему варианту прогноза (рис. 5).

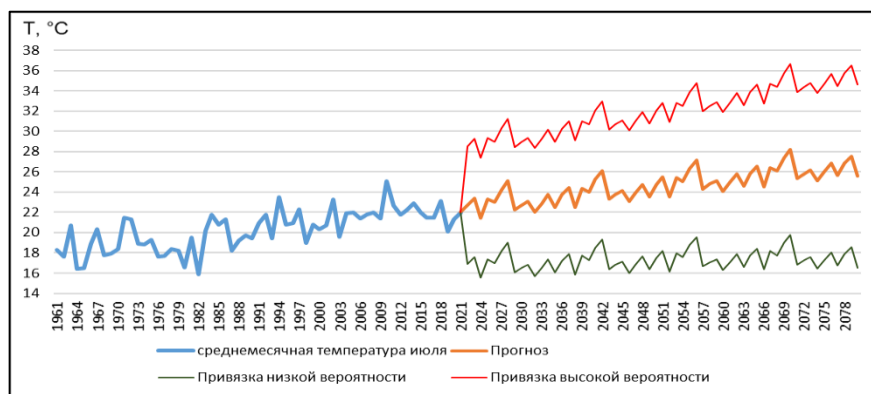


Рис. 5. Прогноз максимальной среднемесячной температуры Лукомльского озера (сост. по [4])

Однако данный прогноз носит только вероятностный характер, так как в данном случае учитывался только худший сценарий, при котором сброс подогретых вод с Лукомльской ГРЭС не будет уменьшен в ближайшие 60 лет (рис. 6). Сделать точный прогноз с использованием анализа

данных измерений не представляется возможным, поскольку экосистема озера в природных условиях не является полностью наблюдаемой системой, в то время как математическому моделированию в принципе необходимы все элементы экосистемы озера.

Изменения температурного режима воды озер имеют множество негативных эффектов. Поэтому до сих пор одна из важных проблем современной лимнологии — долгосрочное прогнозирование состояния водных экосистем крупных озер для планирования экономической деятельности, рационального использования и охраны внутренних водоемов.

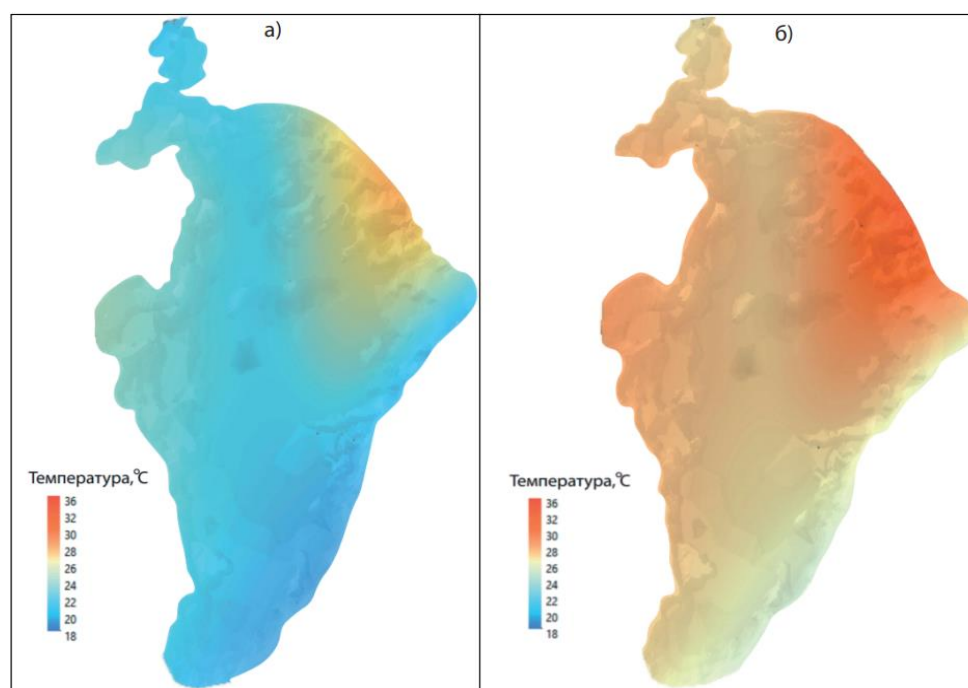


Рис. 6. Распределение температур поверхностного слоя воды на акватории озера Лукомльского в июле 2020 г. а). Прогноз температур поверхностного слоя воды на акватории озера Лукомльского в июле 2080 г. б) (сост. по [4])

Последствия теплового загрязнения водоемов вызывают серьезный вред для живых организмов и меняют среду обитания человека. Загрязнение приводит к нарушению внешнего облика ландшафтов и исчезновению гидробионтов. Чтобы уменьшить теплообмен в озере, замедлить процессы эвтрофирования и восстановить его экосистему, необходимо принимать меры, применимые в аналогичных условиях для озер. Эти меры могут быть разделены на правовые, экологические и направленные на повышение охлаждения водоема. Поэтому адаптация к изменению климата является не только нравственной, но и социальной и экономической необходимостью, а управление водными ресурсами должно стать одним из ключевых элементов стратегии адаптации к изменяющемуся климату.

Библиографические ссылки

1. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси Данилович И. С., Логинов В. Ф. // Центральноазиатский журнал географических исследований Гидрология и климатология 2021. № 1-2. С. 35-48.
2. Лопух П. С. Озеро Лукомльское – естественная модель для исследования трансформации лимносистем Поозерья под влиянием глобального изменения климата / П. С. Лопух, Е. А. Козлов // ВГУ им. П. М. Машерова, 2005 С. 110-112.
3. Митрахович П. А. Тенденции изменения экосистемы водоема-охладителя Лукомльской ТЭС / П. А. Митрахович, В. М. Самойленко [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elib.bsu.by> – Дата доступа: 24.07.2022.
4. Фондовые данные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»: данных о температуре воды озера Лукомльского 1961-2020гг.
5. Суховило Н. Ю. Динамические критерии оценки устойчивости озерных экосистем Белорусского Поозерья к внешнему воздействию / Н. Ю. Суховило, Б. П. Власов, А. А. Новик // Журнал Белорусского государственного университета. 2018. №2. С. 13-24.

УДК 551.583.1(476)

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. В. Давыденко, А. Е. Бурак

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, davydzenkavv@bsu.by*

Согласно новым правилам, продолжительность отопительного сезона Республики Беларусь увеличена за счет более ранних дат его начала. Независимо от критериев определения границ отопительного сезона отмечается сокращение его продолжительности. Во втором десятилетии текущего столетия обнаружено замедление данного сокращения и даже увеличение продолжительности отопительного сезона преимущественно в восточной части Беларуси.

Ключевые слова: изменения климата; отопительный сезон; термический режим; изменение нормативно-правовых актов; прикладная климатология.

CHANGES IN THE DURATION OF THE HEATING SEASON IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

O. V. Davydenko, A. E. Burak

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, davydzenkavv@bsu.by*

According to the new rules, the duration of the heating season in the Republic of Belarus has been increased due to earlier start dates. Regardless of the criteria for determining the boundaries of the heating season, there is a reduction in its duration. In the second decade of this century, a slowdown in this reduction and even an increase in the duration of the heating season were found mainly in the eastern part of Belarus.

Keywords: climate change; heating season; thermal regime; changes in regulatory legal acts; applied climatology.

Введение. Современные изменения климата с точки зрения термических ресурсов для территории Республики Беларусь характеризуются повышением температуры [1, 2]. К термическим показателям привязана и хозяйственная деятельность. Так, начало и окончание отопительного сезона определяется по средним суточным температурам воздуха. Ранее было установлено сокращение продолжительности отопительного периода [5]. Новые правила определения начала отопительного сезона приняты в феврале 2024 г. [3] и корректируют прежние правила 2020 г. [4]. Исследование направлено на выявление динамики продолжительности

отопительного сезона в период потепления климата и смещения дат начала данного сезона в связи с изменениями правил включения отопления.

Материалы и методика. Исследования проведены на основе средних суточных температур воздуха 38-и пунктов метеорологических наблюдений на территории Беларуси за 1988-2022 гг., представленных в фоновых материалах Белгидромета.

Установлены даты начала и окончания отопительного сезона, а также продолжительность, начиная с зимы 1988-1989 гг. Даты включения отопления (начала отопительного сезона) определялись по прежним (при среднесуточной температуре воздуха в течение пяти суток 8°C и менее) и новым (при среднесуточной температуре воздуха в течение трех суток 8°C и менее) правилам. Вычислены текущие климатические нормы за 1991-2020 гг. для продолжительности отопительного сезона с учетом различных подходов к определению даты начала, и средние значения продолжительности за отдельные десятилетия. Для дат начала и окончания отопительного сезона на графиках указаны годы второй части отопительного сезона.

Вычисления и графические построения осуществлены в среде MS Excel. Картосхемы построены с помощью приложения ArcMap.

Результаты. Введение новых правил для включения отопления определяет более ранние даты начала отопительного сезона. Эти даты опережают прежние в среднем на 8 суток. На столько же увеличивается продолжительность отопительного сезона. Она составляет от 165 до 191 суток по прежним правилам 2020 г. и от 173 до 200 — по новым (рис. 1).

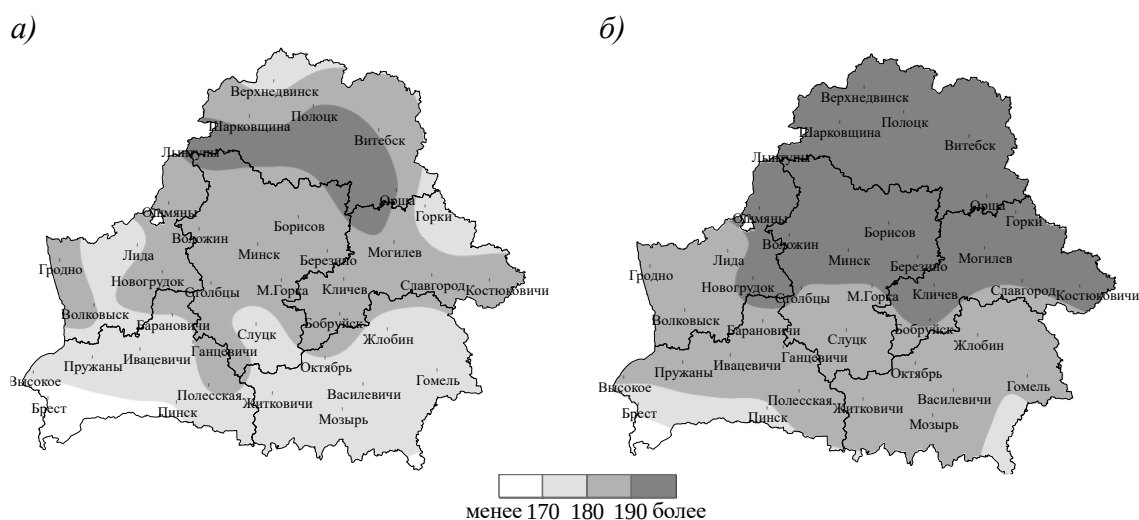
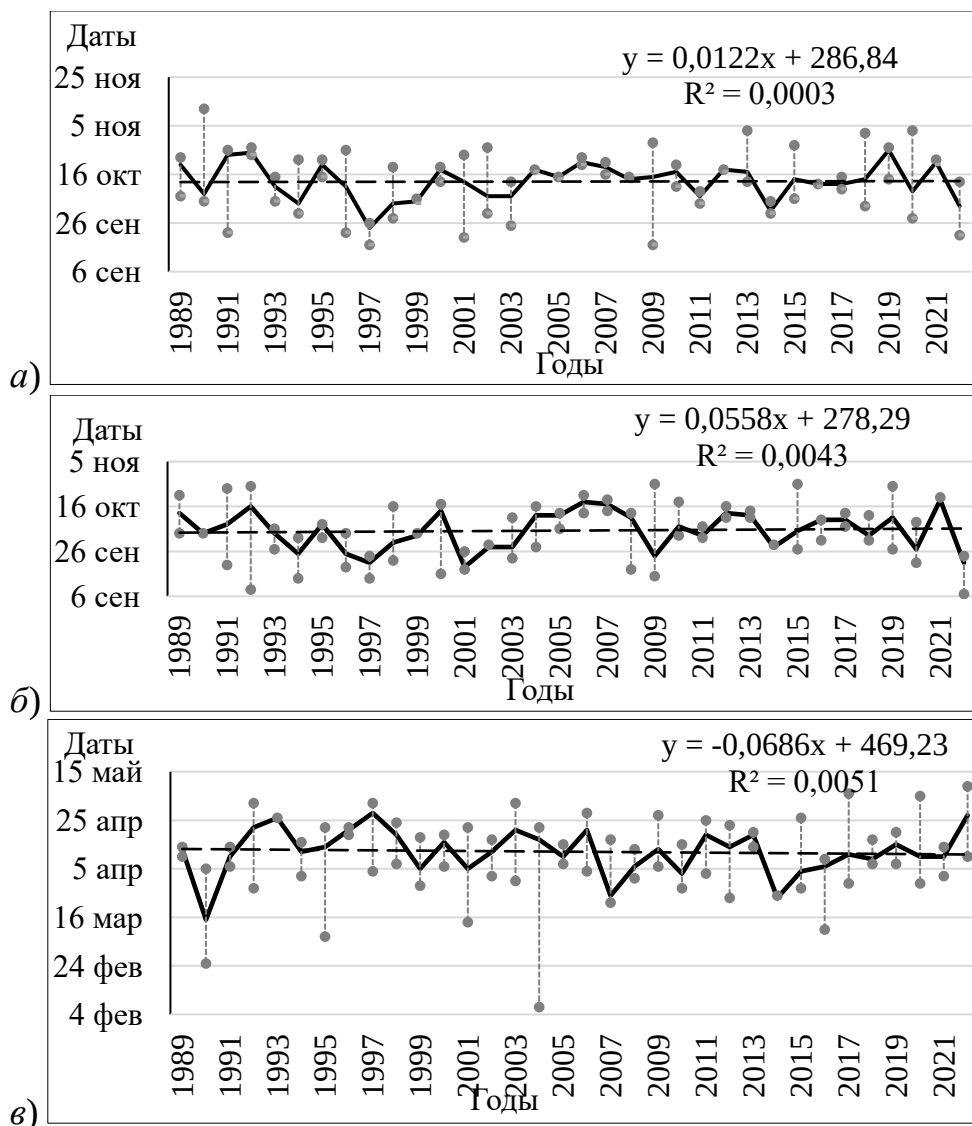


Рис. 1. Продолжительность отопительного сезона при определении его начала по правилам 2020 г. а) и по правилам 2024 г. б)

Отмечается слабая тенденция к более позднему началу отопительного сезона, что отражают линии трендов, описываемые уравнениями с невысокими коэффициентами детерминации (рис. 2а и 2б).



Примечание. Сплошная черная линия – средние значения; прерывистая черная линия – линейный тренд; вертикальные серые отрезки с утолщениями на концах – размах варьирования между пунктами наблюдений.

Рис. 2. Даты начала (а) – по правилам 2020 г., б) – по правилам 2024 г.) и окончания в) отопительного сезона в Республике Беларусь

Характерно, так же незначительное, смещение окончания отопительного сезона на более ранние даты (рис. 2в). С тенденциями изменения дат начала и окончания отопительного сезона согласуется сокращение продолжительности. Изменение продолжительности отопительного сезона неравномерно во времени и имеет территориальные различия (таблица).

Продолжительность отопительного сезона в Республике Беларусь

Пункт наблюдений	По правилам 2020 г. [4]			По правилам 2024 г. [3]		
	1991- 2000	2001- 2010	2011- 2020	1991- 2000	2001- 2010	2011- 2020
Барановичи	187	178	176	195	187	186
Березино	193	181	181	201	188	186
Бобруйск	193	177	181	200	188	187
Борисов	192	182	184	201	188	191
Брест	174	158	164	181	165	173
Василевичи	180	171	177	186	179	182
Верхнедвинск	180	171	177	206	190	195
Витебск	192	186	188	200	190	193
Волковыск	185	180	176	191	190	180
Воложин	193	185	177	200	188	186
Высокое	178	171	169	187	184	175
Ганцевичи	186	175	181	192	187	187
Гомель	178	170	175	185	179	180
Горки	178	170	175	208	194	196
Гродно	186	180	176	195	188	181
Житковичи	182	169	179	190	177	183
Жлобин	182	169	179	188	180	179
Ивацевичи	181	173	179	189	184	187
Кличев	194	178	184	202	191	189
Костюковичи	191	179	183	200	190	190
Лида	186	176	175	192	187	183
Лынтупы	196	190	188	208	195	196
Марьина Горка	191	180	177	199	187	185
Минск	193	181	179	202	187	187
Могилёв	197	180	187	204	191	192
Мозырь	182	170	171	186	181	178
Новогрудок	190	186	180	200	189	188
Октябрь	186	176	179	190	182	183
Орша	199	184	189	206	197	194
Ошмяны	191	184	180	200	190	190
Пинск	177	168	168	184	176	177
Полесская	185	178	180	196	185	183
Полоцк	196	188	186	203	193	193
Пружаны	185	179	171	191	188	182
Славгород	188	178	184	194	190	190
Слуцк	185	176	176	193	187	183
Столбцы	188	179	178	197	187	186
Шарковщина	193	187	186	200	190	192
Среднее	187	177	179	196	187	186

Сокращение продолжительности отопительного сезона было характерно для 2001-2010 гг. в сравнении с предшествующим десятилетием. В 2011-2020 гг. на ряде пунктов метеорологических наблюдений, преимущественно в восточной части территории Беларуси, отмечается увеличение продолжительности отопительного сезона (в таблице обозначено серой заливкой). Данное увеличение менее выражено при выделении границ отопительного сезона по новым правилам.

В соответствии с новыми правилами, продолжительность отопительного сезона за счет смещения начала на более ранние даты увеличилась. Тенденция к сокращению отопительного сезона, характерная для начала текущего столетия, в 2011-2020 гг. менее выражена или сменилась на обратную. Обозначенные факты свидетельствуют о сохранении или повышении потребности в топливных ресурсах в условиях современной климатической динамики и изменений нормативно-правовых актов.

Библиографические ссылки

1. Давыденко О. В. Динамика средних годовых температур воздуха и их внутри-годовых вариаций на территории Беларуси // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2014. № 2. С. 89-95.
2. Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Мельник В. И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. Минск: УП «Энциклопедикс», 2020. – 218 с.
3. Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 февр. 2024 г., № 113 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2024. 5/52825.
4. Об утверждении Правил подготовки организаций к отопительному сезону, его проведения и завершения: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 14 мая 2020 г., № 286 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2020. 5/48063.
5. Чугай З. П. Пространственно-временная дифференциация метеорологических условий в рамках отопительного периода на территории Республики Беларусь // 77-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета: материалы конф. В 3 ч. Ч. 3. 11-22 мая 2020 г. Минск. БГУ. 2021. С. 52-56.

УДК 551.5:633.491(476)

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ
ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И
ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ
КУЛЬТУР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

О. В. Давыденко, А. А. Прусаков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, davydzenkavv@bsu.by*

На основе вычисления коэффициентов корреляции подтвержден статистически значимый вклад почвенного плодородия в урожайность зерновых культур в административных районах Беларуси, за исключением районов Гомельской области. Обоснована необходимость использования метеорологических характеристик в качестве предикторов урожайности зерновых культур.

Ключевые слова: агрометеорология; агрометеорологическое прогнозирование; прогнозирование урожайности; зерновые культуры; балл почвенного плодородия.

**SPATIAL AND TEMPORAL HETEROGENEITY
OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS AND
SOIL FERTILITY ON GRAIN CROP YIELDS
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

O. V. Davydenko, A. A. Prusakov

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk,
Belarus, davydzenkavv@bsu.by*

Based on the calculation of correlation coefficients, the statistically significant contribution of soil fertility to grain crop yields in the administrative districts of Belarus, except for the districts of Gomel region, was confirmed. The necessity of using meteorological characteristics as predictors of grain crop yields was substantiated.

Keywords: agrometeorology; agrometeorological forecasting; yield forecasting; crops; soil fertility score.

Введение. Зерновые культуры играют важную роль в формировании продовольственной безопасности страны. Выявление факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур, является одной из задач агрометеорологии. Как правило, рассматриваются многолетние ряды урожайности и выявляются причины отклонения урожайности от линий

трендов или средних значений предшествующих лет [2, 5], а также устанавливаются регрессионные зависимости за многолетний период [1, 3]. В публикации специалистов сельского хозяйства обнаружен пример расчета уравнения регрессии за один отдельно взятый год, по которому урожайность зерновых культур вычисляется на основе средних областных метеорологических показателей [4]. В нашем исследовании данная методика была преобразована.

Материалы и методика. Исследования проведены для периода 2015-2020 гг. Данные об урожайности зерновых культур получены из статистических сборников Национального статистического комитета Республики Беларусь. Метеорологические характеристики вычислены на основе фондовых материалов Белгидромета.

Предикторами для прогнозирования урожайности были приняты те же характеристики, что и в упомянутом выше исследовании [4]: средние температуры воздуха в апреле, мае и июне, суммы атмосферных осадков за те же месяцы. Дополнительно были использованы баллы плодородия почв для пахотных земель, установленные для каждого административного района по результатам кадастровой оценки сельскохозяйственных земель (2022 г.).

Отнесение административного района к зоне обслуживания определенного пункта метеорологических наблюдений осуществлялось на основе выделения полигонов Тиссена – Вороного.

За каждый отдельный год вычислены коэффициенты корреляции урожайности зерновых культур с баллом плодородия почвы и метеорологическими показателями для всех районов Республики Беларусь и в разрезе отдельных областей. На основе балла плодородия почвы, а также на основе данного показателя и наиболее коррелирующих с урожайностью термического показателя и суммы осадков были рассчитаны регрессионные зависимости урожайности. Оправдываемость прогнозной урожайности, вычисленной на основе этих зависимостей рассчитывалась как разность 100 % и относительной ошибки прогноза. Относительная ошибка прогноза — отклонение прогнозируемой величины урожайности от фактической, выраженное в процентах фактической величины. Качество прогнозов оценивалось на основе принятой в агрометеорологическом прогнозировании шкалы:

- хорошая оправдываемость – от 81 до 100 %;
- удовлетворительная оправдываемость – от 80 до 70 %;
- прогноз не оправдался – оправдываемость менее 70 %.

Результаты. Полученные коэффициенты корреляции демонстрируют статистически значимую зависимость урожайности зерновых культур от балла плодородия почвы, особенно ярко выраженную в Минской области (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции урожайности зерновых культур с метеорологическими характеристиками и баллом плодородия почв

Характеристика	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Республика Беларусь						
Средняя температура апреля	-0,07	0,16	0,08	0,30	0,04	0,15
Средняя температура мая	-0,36	0,17	0,22	0,18	-0,32	-0,01
Средняя температура июня	-0,38	0,18	0,12	0,27	0,03	-0,25
Сумма осадков за апрель	0,10	-0,16	0,07	0,29	-0,06	-0,19
Сумма осадков за май	0,38	0,01	-0,16	-0,01	0,29	-0,11
Сумма осадков за июнь	0,37	-0,16	0,01	-0,19	-0,19	-0,12
Балл плодородия почв	0,71	0,69	0,74	0,62	0,68	0,76
Брестская область						
Средняя температура апреля	-0,22	0,18	0,16	0,37	0,18	0,24
Средняя температура мая	-0,41	0,24	0,09	0,38	-0,07	0,14
Средняя температура июня	-0,38	-0,22	0,07	0,40	0,07	0,23
Сумма осадков за апрель	0,45	-0,06	0,08	0,12	-0,21	-0,24
Сумма осадков за май	0,54	-0,23	0,14	0,40	0,31	-0,67
Сумма осадков за июнь	0,67	0,41	0,31	0,04	-0,13	0,06
Балл плодородия почв	0,89	0,79	0,83	0,42	0,76	0,78
Витебская область						
Средняя температура апреля	-0,38	0,00	0,33	-0,44	-0,06	-0,25
Средняя температура мая	-0,12	-0,37	-0,01	-0,01	0,25	-0,01
Средняя температура июня	-0,23	-0,20	0,31	-0,04	-0,12	-0,20
Сумма осадков за апрель	-0,34	0,03	-0,12	-0,30	0,08	-0,47
Сумма осадков за май	-0,05	0,36	0,24	-0,39	-0,02	0,15
Сумма осадков за июнь	0,36	-0,35	-0,26	0,42	0,15	-0,42
Балл плодородия почв	0,51	0,49	0,64	0,41	0,39	0,60
Гомельская область						
Средняя температура апреля	0,11	0,10	-0,05	0,09	-0,08	0,03
Средняя температура мая	-0,05	-0,15	-0,04	0,06	-0,19	0,11
Средняя температура июня	-0,23	-0,07	-0,07	0,12	0,01	-0,08

Окончание табл. 1

Характеристика	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Сумма осадков за апрель	-0,12	0,27	-0,05	-0,06	0,09	0,19
Сумма осадков за май	0,54	0,14	0,12	0,19	0,44	0,27
Сумма осадков за июнь	0,46	0,15	0,03	0,03	0,09	0,09
Балл плодородия почв	0,17	0,11	0,12	0,23	-0,08	0,06
Гродненская область						
Средняя температура апреля	0,13	0,34	0,41	0,21	0,34	0,38
Средняя температура мая	-0,01	0,47	0,33	0,37	0,21	0,29
Средняя температура июня	-0,10	0,29	0,29	0,30	0,43	0,41
Сумма осадков за апрель	-0,17	-0,49	-0,53	0,47	-0,33	-0,17
Сумма осадков за май	-0,02	-0,38	-0,39	-0,08	-0,14	-0,04
Сумма осадков за июнь	-0,26	-0,14	-0,15	0,25	0,24	0,36
Балл плодородия почв	0,60	0,70	0,69	0,59	0,69	0,65
Минская область						
Средняя температура апреля	0,14	0,21	0,18	0,32	-0,04	0,20
Средняя температура мая	-0,14	0,08	0,39	0,33	-0,09	0,11
Средняя температура июня	-0,05	0,18	0,27	0,43	0,03	0,03
Сумма осадков за апрель	-0,04	-0,16	0,46	0,09	0,26	0,05
Сумма осадков за май	0,01	0,43	-0,11	0,11	0,30	0,11
Сумма осадков за июнь	0,38	-0,04	-0,20	-0,21	0,20	0,01
Балл плодородия почв	0,80	0,85	0,82	0,82	0,87	0,86
Могилевская область						
Средняя температура апреля	-0,52	-0,42	-0,49	-0,13	-0,38	-0,33
Средняя температура мая	-0,40	-0,59	-0,57	-0,42	-0,62	-0,34
Средняя температура июня	-0,49	-0,46	-0,52	-0,47	-0,36	-0,24
Сумма осадков за апрель	0,03	-0,01	0,16	-0,06	-0,39	0,20
Сумма осадков за май	-0,23	-0,17	-0,51	0,23	0,26	-0,45
Сумма осадков за июнь	0,12	-0,35	-0,32	-0,06	-0,59	-0,34
Балл плодородия почв	0,56	0,72	0,62	0,63	0,69	0,66

Ячейки со статистически значимыми коэффициентами корреляции обозначены серой заливкой. Лишь в Гомельской области не обнаружено статистически значимой связи урожайности с почвенным плодородием.

Полужирным шрифтом в таблице обозначены коэффициенты корреляции характеристик, которые учитывались при расчете регрессионных зависимостей. Предикторы в разные годы отличались, а зависимости были рассчитаны для территории страны в целом.

На основе полученных регрессионных зависимостей были вычислены значения урожайности, которые принимались в качестве прогнозных. Оценка этих прогнозных значений показала, что урожайность в 73–90 административных районах страны хорошо прогнозируется на основе лишь балла плодородия почвы. Дополнительное использование метеорологических характеристик увеличивает количество районов до 79–91. Не оправдываются прогнозы урожайности на основе использования только балла плодородия не более, чем в 25 районах, а применение метеорологических показателей снижает их количество до 20 и менее (табл. 2). Удовлетворительное качество прогнозов отмечено в 16–33 и 12–24 административных районах, соответственно. Использование статистически обоснованных предикторов сможет повысить оправдываемость прогнозов.

Таблица 2

Количество административных районов Беларуси с разным качеством прогнозов урожайности, полученных на основе вычисления регрессионных зависимостей

Годы	Прогноз на основе балла пло- дородия почвы			Прогноз на основе балла плодородия почвы и метеорологических ха- рактеристик		
	Оправдываемость					
	Менее 70 %	70-80 %	Более 80 %	Менее 70 %	70-80 %	Более 80 %
2015	16	17	85	15	12	91
2016	12	33	73	14	21	83
2017	16	20	82	11	24	83
2018	21	20	77	20	19	79
2019	25	16	77	17	20	81
2020	9	19	90	11	21	86
Среднее	17	21	81	15	20	84

Заключение. Урожайность зерновых культур на территории Республики Беларусь в значительной степени определяется плодородием почвы. Повышает оправдываемость прогнозов урожайности использование метеорологических характеристик в качестве дополнительных предикторов. Выявление оптимальных предикторов требует дополнительных исследований.

Библиографические ссылки

1. Волчек А. А., Шпендик Н. Н. Моделирование урожайности картофеля на территории Брестской области // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. 2008. № 2 (31). С. 92-98.

2. *Давыденко О. В.* Влияние термических условий на урожайность картофеля в административных районах Республики Беларусь / О. В. Давыденко, П. С. Лопух. // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2019. № 1. С. 46-62.

3. *Камышенко Г. А.* Климатическая составляющая в расчете урожайности картофеля // Природные ресурсы. 2021. № 2. С. 14-21.

4. *Клочков А. В., Соломко О. Б., Клочкова О. С.* Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 101-105.

5. *Пасов В. М.* Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 152 с.

УДК 556, 504.453, 551.583

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭКСТРЕМУМОВ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ

И. С. Данилович^{1,2)}, И. В. Тарасевич^{1,3)}, Е. Г. Квач³⁾, Ю. А. Гледко¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16, 220005, г. Минск, Беларусь, gledko74@mail.ru; ²⁾Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, irina-danilovich@yandex.ru; ³⁾Белгидромет, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Республика Беларусь, ira5582831@yandex.ru

В работе представлен анализ изменения режима рек в различные фазы гидрологического цикла для трех речных водосборов (р. Западная Двина, р. Неман и р. Днепр). Показаны региональные тенденции изменения экстремальных гидрологических характеристик рек Беларуси в различные фазы водного цикла, связанные с таянием снегов, сильными дождями и засухами.

Ключевые слова: температура; осадки; сток; тренды; климатические изменения.

REGIONAL TRENDS IN STREAMFLOW EXTREMES ACROSS BELARUS

I. S. Danilovich^{1,2)}, I. V. Tarasevich^{1,3)}, E. G. Kvach³⁾, Yu. A. Hledko¹⁾

¹⁾Belorussian State University, Leningradskaya str., 16, 220005 Minsk, Belarus, gledko74@mail.ru; ²⁾Institute for Nature Management NAS of Belarus, F. Skoriny str., 10, 220076 Minsk, Belarus, irina-danilovich@yandex.ru; ³⁾Belgidromet, Nezavisimosti av., 110, 220114, Minsk, Republic of Belarus, ira5582831@yandex.ru

The paper presents an analysis of changes in river regime during various phases of the hydrological cycle for three river catchments (the Western Dvina River, the Neman River and the Dnieper River). The major results concern regional trends in extreme hydrological characteristics of Belarusian rivers in various phases of the water cycle associated with snow melting, heavy rains and droughts.

Keywords: temperature; precipitation; runoff; trends; climate change.

Введение. В последние десятилетия гидроклиматические изменения на территории Европы характеризуются увеличением частоты экстремальных явлений. В различных регионах регулярно формируются катастрофические наводнения и аномальные засухи. Повторяемость наводнений увеличилась в северо-западной и центральной частях Европы из-за роста количества осенних и зимних осадков, но уменьшились в северо-

восточной и восточной частях из-за сокращения высоты снежного покрова и более ранних сроков снеготаяния. В тоже время, большие наводнения практически исчезли на юге Европы из-за уменьшения количества осадков и увеличения эвапотранспирации [1]. На многих европейских реках, в том числе бассейне Балтийского моря, участились гидрологические засухи [2].

В связи с разнонаправленными процессами в гидрологическом режиме рек на Европейском континенте, цель исследования заключалась в установлении региональных тенденций изменения гидрологического режима рек Беларуси в различные фазы водного цикла, связанные с таянием снегов, сильными дождями и засухами.

Материалы и методы. Исследование экстремумов в гидрологическом режиме проводилось по трем репрезентативным водосборам: река Западная Двина у г. Витебска (север), река Неман у г. Гродно (запад), река Днепр у г. Речицы (юго-восток). Период обобщения охватывает интервал 1945-2020 гг., который разделен на два подпериода (1945-1990 и 1990-2020 гг.), отражающих существенные изменения тенденций переменных.

В исследовании рассмотрены четыре типа экстремумов стока: наибольшие расходы воды в период весеннего половодья (связанные с таянием снегов); дождевые паводки (вызванные сильными дождями); зимняя межень (с момента замерзания реки до начала снеготаяния); летне-осенняя межень (окончания весеннего половодья — появления первого льда).

Оценка направления, величины и статистическая значимость изменений проводилась с использованием непараметрических критериев Сена и Манна-Кендалла. Петтитт тест применялся для проверки гидрологических рядов на однородность и обнаружения точки начала статистически значимых изменений в рядах наблюдений.

Результаты. Региональные исследования изменения климата в Европе, показывают, что в восточной части, в том числе на территории Беларуси, изменение температуры воздуха характеризуется постепенным повышением, особенно в зимний период. Преобладание оттепельной погоды зимой начиная с 1970-ых гг. вызвало повышение зимнего меженного стока. Как следствие, на протяжении последних 50 лет весной продолжается снижение максимальных расходов в большинстве речных бассейнов. Изменения в холодный период года однородны на севере, северо-западе и северо-востоке Европы на протяжении последних десятилетий.

Режим увлажнения на большей части Европы характеризуется небольшими изменениями годового количества осадков и незначительными тенденциями засушливости по сравнению с центральной и южной Европой.

Однако анализ за последние 30 лет показал статистически значимые тенденции к увеличению числа и интенсивности атмосферных и гидрологических засух в Восточной Европе и увеличению выпадения интенсивных осадков в теплое время года. Летом в Восточной Европе зафиксировано статистически значимое увеличение волн тепла, обусловленных антициклонической погодой [3]. На территории Беларуси отмечается уменьшение продолжительности выпадения осадков на 15-20 %, рост числа дней с низкой относительной влажностью на 1-4 дня за десятилетие. В то же время, происходит увеличение суточных максимумов осадков на 20-30 %, особенно значительно в южных районах.

В течение 1990-2020 гг. частота засушливых периодов удвоилась во всех речных бассейнах вдоль водоразделов Черного, Каспийского и Балтийского морей [4]. На территории Беларуси наибольшее увеличение засушливости отмечено в западной и центральной частях страны [5].

Ниже показаны результаты расчетов по трем водосборам, которые подтверждают описанные тенденции. В таблице представлены результаты Петтитт теста, который подтверждает перелом хода температуры воздуха в 1988-1989 гг., средняя температура воздуха увеличилась от 1,2 °С на западе (Гродно) до 1,7-1,8 °С в северной и восточной частях Беларуси. Переломная точка изменения годовых сумм осадков установлена в первой половине 1980-х годов. Наблюдаются различия в количестве осадков между западной и восточной частями страны: годовое количество осадков в Гродно снижается, тогда как на севере и северо-востоке зафиксировано переувлажнение.

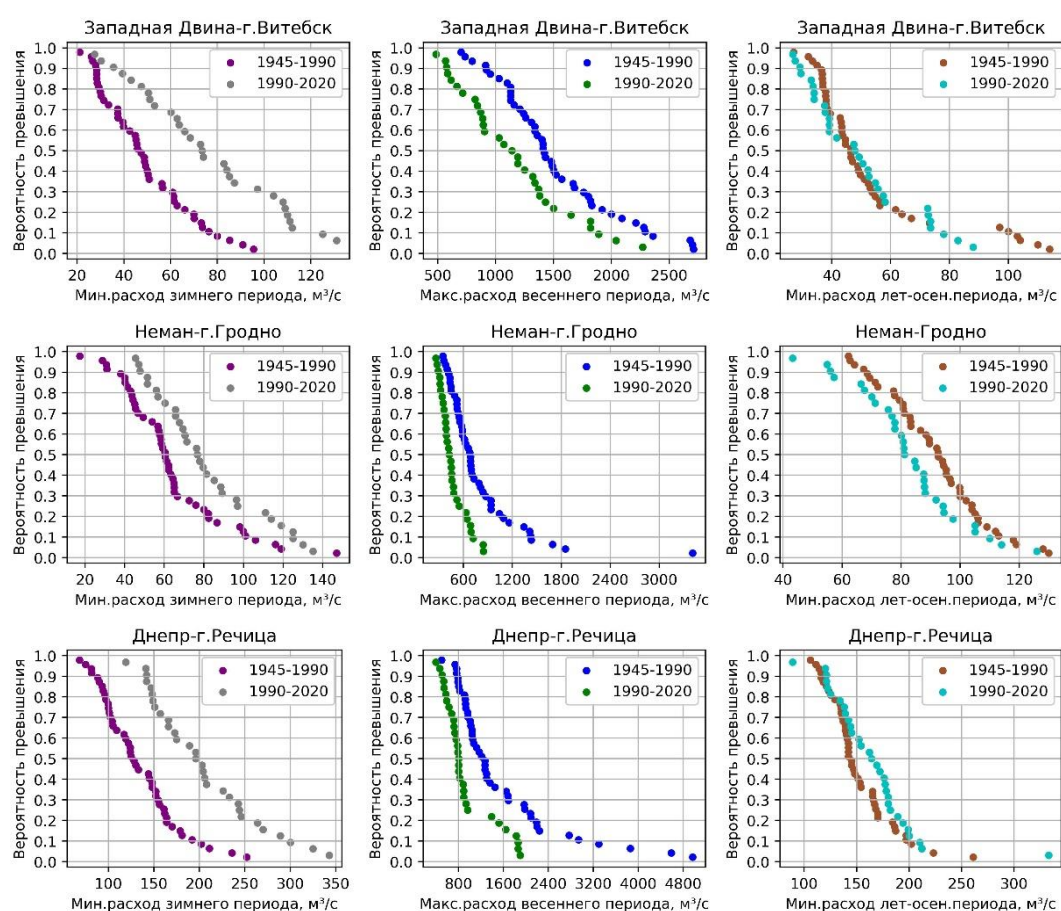
Результаты Петтитт теста на однородность гидроклиматических характеристик

Река-Пост	Характеристика	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Расходы воды, м ³ /с			
				Ср. год	Мин. зим.	Макс. вес.	Мин. лет.
З.Двина-г. Витебск	Год изм.	1988	1985	1985	1989	1971	2009
	Ср. 1	4.93	632	211	48.7	1729	53.5
	Ср. 2	6.74	748	238	75.0	1192	42.7
	p value	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.27
Неман-г. Гродно	Год изм.	1989	1982	1994	1993	1989	1989
	Ср. 1	6.5	881	193	64.1	841	92.1
	Ср. 2	7.7	546	178	84.2	465	83.1
	p value	0.00	0.01	0.35	0.01	0.00	0.17
Днепр-г. Речица	Год изм.	1989	1980	1978	1978	1971	1977
	Ср. 1	6.3	572	340	123	1944	145
	Ср. 2	8.0	627	352	194	993	167
	p value	0.00	0.10	0.39	0.00	0.00	0.01

В режиме годовых расходов статистически значимых изменений не произошло. Однако за последние три десятилетия продолжаются измене-

ния в холодное время года. Минимальный зимний расход за 30 лет увеличился на трех водосборах, а максимальный (как правило в период весеннего половодья) снизился. Для Западной Двины снижение максимального стока началось раньше, по сравнению с другими бассейнами — с начала 1970-ых гг. Предполагается, что более раннее наступление точки перелома может быть связано с мелиоративными работами в верховьях реки на территории России [6]. Минимальный летний сток увеличился на реке Днепр, тогда как для двух других рек изменения незначительны.

На рисунке представлены различные вероятности превышения расходов воды за два периода, которые отражают различные условия формирования речного стока. (1945-1990 гг. и 1990-2020 гг.).



Вероятность превышения расходов воды в различные периоды
(1945-1990 гг. и 1990-2020 гг.) на трех водосборах:
Западная Двина (Витебск), Неман (Гродно) и Днепр (Речица)

Зимние расходы 95 % обеспеченности на р. Западная Двина (г. Витебск) существенно не изменились из-за простираения бассейна реки на севере страны с более низкими температурами зимой и более устойчивой меженью.

На реках Неман и Днепр зимний расход 95 % обеспеченности увеличился в 1,5-2 раза вследствие значительного притока талых вод. Зимние расходы 5 % увеличились на трех исследуемых водосборах и на 30 % на всех водосборах страны [5]. Весенние расходы 5 % обеспеченности снизились на всех трех реках с 20 % на реке Западная Двина и до 50 % на рр. Неман и Днепр. В летне-осеннюю межень наиболее значимое снижение расходов 95 % обеспеченности (более чем на 10 %) отмечено на западе страны в бассейне р. Неман в связи со значительным дефицитом осадков за последние 30 лет. Кроме бассейна р. Неман, увеличение числа засух (месяцев с низким стоком) на 10-25 % отмечается в бассейнах р. Виляя, верховье р. Припять и Березины, нижнем течении р. Западная Двина в пределах территории Беларуси [5].

Библиографические ссылки

1. *Blenkinsop S., Muniz Alves L., Smith A.J.P.* ScienceBrief Review: Climate change increases extreme rainfall and the chance of floods // In: Critical Issues in Climate Change Science, edited by: Ed. by Quéré C.L., Liss P., Forster P. 2021.
2. *Danilovich I., Loginov V., Groisman P.* Changes of Hydrological Extremes in the Center of Eastern Europe and Their Plausible Causes // *Water*, Vol. 15, No. 16: 2992, 2023.
3. *Rutgersson A., Kjellström E., Haapala J., Stendel M., Danilovich I., Drews M., Jylhä K., Kujala P., Larsén X.G., Halsnæs K., et al.* Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region // *Earth Syst. Dynam.*, No. 13, 2022. P. 251-301.
4. *Georgiadi A. G., Groisman P. Y.* Extreme Low Flow during Long-Lasting Phases of River Runoff in the Central Part of the East European Plain // *Water*, No. 15, 2023.
5. *Данилович И. С., Гледко Ю. А., Тарасевич И. В.* Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе // *Метеорология и гидрология*, № 9, 2023. С. 61-71.
6. *Ахметьева Н. П., Михайлова А. В., Кричевец Г. Н., Беляев А. Ю.* Торфяные болота центральных областей Европейской части России: их трансформация за последние 100 лет. Москва: ГЕОС, 2020. 141 с.

УДК 504, 556

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЛОБАЛЬНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА

С. Г. Добровольский¹⁾, В. П. Юшков^{1), 2)}, И. В. Соломонова¹⁾

¹⁾ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук
(ИВП РАН), ул. Губкина, 3, 119333, г. Москва, РФ, sgdo@bk.ru;

²⁾Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Физический факультет, Ленинские горы, 1 с. 2, 119991, ГСП-1, г. Москва, РФ

Исследованы вариации испарения с поверхности океана, эффективного испарения с океана, суммарного модельного речного стока с материков по данным «исторических» экспериментов климатических моделей проекта CMIP-6. Показано, что модельные осадки над океаном и эвапотранспирация с поверхности суши оказывают стационаризирующее воздействие на гидрологический цикл суши, в том числе на многолетние изменения глобального речного стока.

Ключевые слова: диагноз изменений климата; глобальный гидрологический цикл; модели CMIP-6.

CHANGES IN CLIMATIC PARAMETERS OF GLOBAL HYDROLOGICAL CYCLE

S. G. Dobrovolski¹⁾, V. P. Yushkov^{1), 2)}, I. V. Solomonova¹⁾

¹⁾FSBIS Water Problems Institute Russian Academy of Sciences (WPI RAS), Gubkina St., 3, 119333, Moscow, RF, sgdo@bk.ru ²⁾Moscow State University M. V. Lomonosov, Faculty of Physics, Leninskiye Gory, 1 b. 2, 119991, GCP-1 Moscow, RF

Variations in evaporation from the ocean surface, effective evaporation from the ocean, and total model river runoff from the continents are studied based on data from “historical” experiments of climate models of the CMIP-6 project. It is shown that model precipitation over the ocean and evapotranspiration from the surface of the earth has a stationary effect on the hydrological cycle of the earth, including long-term changes in global river flow.

Keywords: climate change diagnosis, global hydrological cycle, CMIP-6 models.

Введение. На сегодняшний день в гидрологии остается неисследованной следующая важнейшая проблема: почему при несомненном росте глобальной температуры воздуха за последние 100-150 лет и кажущемся неизбежным соответствующем росте испарения с океана и интенсификации всего глобального водообмена, значительного увеличения стока большинства рек мира не наблюдается?

В работах [1, 2] показано, что только в 4 % створов наблюдаются статистически значимые монотонные многолетние тренды речного стока. Аналогичные выводы делаются во многих посвященных этому вопросу работах, например, авторами фундаментальной монографии [3, с. 131] сделан вывод о том, что «значимых трендов водных ресурсов рассматриваемых речных бассейнов и бассейнов морей не существует».

Определенные общие закономерности изменений компонентов глобального водообмена могут быть получены при помощи трактовки результатов расчетов на детальных гидродинамических моделях климатической системы («климатических моделях»), описывающих большое количество процессов в океане, атмосфере и на поверхности суши (например, проект CMIP). Важным преимуществом экспериментов CMIP является то, что ансамбль моделей — в отличие от инструментальных наблюдений и данных реанализа — позволяет воспроизводить большое количество различных «реализаций» эволюции климатической системы.

Материалы и методы. Проанализированы полученные в результате «исторических» экспериментов на 41 модели проекта CMIP-6 [4] многолетние, длиной до 165 лет (1850-2014 гг.), ряды глобально осредненных величин испарения над океаном, «эффективного» испарения с океана (разности «испарение минус осадки»), годового слоя стока. Для сопоставления используемых моделей между собой проведена интерполяция различных модельных глобальных полей на единую гауссову сетку T62 с треугольным усечением и разрешением $2 \times 1.7^\circ$. Для интерполяции, выборки, интегрирования по поверхностям суши и океана использовался пакет программ CDO Немецкого метеорологического института им. Макса Планка [5]. Для расчетов среднего стока использовались результаты моделирования с месячным осреднением, которые загружались с сайта PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Interpretation) [6].

Для того, чтобы получить представление о количественных характеристиках изменений средних значений составляющих глобального водообмена, в работе использовалась новая система статистических и стохастических оценок, предложенная одним из авторов [1, 2, 7, 8], основанная на рекомендациях, следующих из фундаментальных работ по теории случайных функций. На ее основе были рассчитаны изменения во времени индексов стационарности по математическому ожиданию (I_{SM}), пересчитанные в выборочные значения гауссовских случайных величин.

$$I_{SM} = \frac{M_{ВЫБ}^2 - M_{ВЫБ}^1}{\sigma(M_{ВЫБ}^{2,МК} - M_{ВЫБ}^{1,МК})},$$

где $M_{\text{выб}}^2 - M_{\text{выб}}^1$ — разность между выборочными средними значениями второй и первой половин ряда исследуемой величины или его сегмента (длиной не менее 40 лет), вычисляемыми по обычным формулам; $\sigma(M_{\text{выб}}^{2,\text{МК}} - M_{\text{выб}}^{1,\text{МК}})$ — стандарт аналогичной разности, оцененный методом Монте-Карло для стационарной последовательности соответствующей длины и временной коррелированности, аппроксимированный специально подобранным аналитическим выражением.

В качестве показателя общей нестационарности рядов принята величина превышения 5%-го уровня вероятности того, что модуль I_{SM} выходит за «двойную сигму» (точнее, величину 1.96). Если в ряду есть хотя бы два частично перекрывающихся сегмента со статистически значимым уровнем нестационарности, весь ряд будет считаться содержащим нестационарность.

Результаты. При рассмотрении индивидуальных модельных реализаций, сгенерированные изменения испарения с поверхности океана в большинстве случаев показывают наличие монотонных трендов. Априорная вероятность повышения испарения составляет $\sim 2/3$, вероятность уменьшения $\sim 1/3$. Среднее ансамблевое годовое значение тренда по моделям составило 0.00008878 мм/сут в год или 0.0147 мм/сут за 165 лет. Несмотря на кажущееся малое значение, рассматриваемый средний тренд статистически значим (2.5 % за весь период). Вероятность повышения испарения можно объяснить в равных пропорциях воздействием глобального потепления, с одной стороны, и «повышательным» воздействием внутренних климатических процессов винеровского типа — с другой. Тренды, которые имеют отрицательный знак, очевидно, связаны с естественными процессами: в большей степени, внутренними процессами в системе и меньшей с «взрывными» вулканическими извержениями. Таким образом, можно предположить, что вероятность осуществления положительного монотонного тренда антропогенного происхождения в реальной атмосфере, оценивается $\sim 1/3$.

Оценка «эффективного» или «видимого» испарения (E_E) играет важную роль при изучении водного баланса суши, так как величина E_E — количество влаги, остающееся на суше, т. е. теоретически так называемый «климатический» сток, разность между осадками и испарением/эвапотранспирацией на суше. Для вычисления E_E в глобальном масштабе применялся «обратный аэрологический метод в гидрологии» — по балансу влаги на поверхности всего Мирового океана оценивался конечный влагоперенос через береговую линию на сушу.

Проведенный анализ не выявил наличие в эффективном испарении с океана стабильного монотонного тренда, который мог бы быть вызван, предположительно, парниковым эффектом. Среднее значение индекса I_{SM}

по всем моделям составило всего 0,3. Среднее ансамблевое значение E_E по всем моделям составляет 0,307 мм/сут, что близко к медианному значению (0,306) и к моде (0,304). Присутствующие в рядах разнонаправленные и равновероятные монотонные тренды, скорее всего, связаны с естественной изменчивостью внутри климатической системы или с меняющейся по времени комбинацией взрывных вулканических извержений. Представляется, что указанный эффект и является одной из основных причин парадокса — незначительности наблюдаемых изменений годового стока в конкретных створах большинства рек мира и глобально суммированного речного стока [1] при явной интенсификации испарения с океана.

Испарение с поверхности океана представляет собой исходный процесс формирования глобального водообмена, факторы которого сосредоточены исключительно в пределах океана. В то же время «эффективное испарение» более сложный процесс, включающий в себя многочисленные составляющие [7], не ограниченные акваторией океана (например, осадки). Каждая составляющая содержит в себе «климатический шум», сравнительно высокочастотные случайные колебания, обусловленные как «погодным возбуждением» атмосферы, так и специфическими, в том числе региональными и локальными, процессами на суше. В итоге суммарные шумы, воздействующие на эффективное испарение с океана посредством осадков над океаном, в относительном выражении превышают уровень шумов, содержащихся в исходном процессе испарения с океана, и могут эффективно маскировать содержащийся в нем тренд.

Таким образом, осадки над океаном в процессе преобразования испарения с поверхности океана в «видимое» или «эффективное» могут быть стационаризирующими или могут формировать процессы с близкой к бел шумной (неизменной по частотам) спектральной плотностью.

Средние изменения за 165-летний период не обнаруживают общего повышения стока. Ежегодная скорость изменений составляет незначительную отрицательную величину — 0,0000047 мм/сут — заведомо меньшую, чем ошибка в оценке этой величины.

Сравнение модельных рядов E_E и рядов модельного актуального суммарного стока (R) с суши показывает, что коэффициенты парной корреляции чрезвычайно велики — в среднем 0,85. Таким образом, величины E_E , фактически являющиеся в глобальном масштабе величинами климатического стока, действительно тесно связаны с величинами актуального стока в конкретные годы, полученными на тех же моделях. Парные корреляции между годовыми величинами E_E и годовыми величинами R со сдвигом плюс один год оказались существенно меньше — в среднем по всем моделям составили всего 0,30. Для сдвигов >1 года соответствующие парные

корреляции были статистически незначимы. Такая сильная коррелированность между рядами позволяет применить сделанный выше вывод об эволюции эффективного испарения с океана и к суммарному стоку с суши — осадки над океаном в очень значительной степени отфильтровывают монотонный тренд вследствие глобального потепления. Они также могут играть существенную роль в белошумном характере спектральной плотности изменений годовых величин глобально суммированного стока [1].

Выводы. Привлеченные к анализу результаты исторических экспериментов позволили авторам ответить на важный вопрос: почему вопреки современному росту испарения с поверхности океана не наблюдается значительного увеличения стока большинства рек мира? Причиной, по-видимому, является механизм преобразования испарения в «эффективное испарение» — разность между испарением с океана и осадками над океаном. Разность «осадки минус испарение» над океаном неизбежно попадает на сушу. И именно осадки над океаном оказывают стационаризирующую роль в отношении испарения с океана и в очень значительной степени отфильтровывают монотонный тренд вследствие глобального потепления в том, что касается глобальных изменений речного стока.

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда № 23-27-00114.

Библиографические ссылки

1. Добровольский С. Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: Геос, 2017. 526 с.
2. Добровольский С. Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011. 660 с.
3. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И. А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
4. World Climate Research Programme (WCRP). [Electronic resource]. URL: <https://www.wcrp-climate.org/wgcmcmip/wgcm-cmip6> (date of access: 03.02.2021)
5. Max Planck Institute fur Meteorology (MPI-M). Climate Data Operators [Electronic resource]. URL: <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo> (date of access: 03.02.2021)
6. PCMDI: Program for Climate Model. Diagnosis and Interpretation. [Electronic resource]. URL: <http://pcmdi9.llnl.gov> (date of access: 03.02.2021)
7. Добровольский С. Г., Юшков В. П., Соломонова И. В. Изменения глобального водообмена по результатам исторических экспериментов на климатических моделях проекта CMIP-6 // Водные ресурсы. 2023. Т 50, № 6. С. 751–766.
8. Добровольский С. Г., Юшков В. П., Соломонова И. В. Модели общей циркуляции атмосферы проекта CMIP-6 для диагноза изменения климатических параметров глобального водообмена // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 3 (53). С. 16-26.

УДК 551.515.13

АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АКТИВНОГО ЦИКЛОНА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Н. В. Дорожко

*Национальный научно-исследовательский центр мониторинга
озоносферы БГУ, ул. Курчатова 7, г. Минск, Беларусь, natashka_d10.05@mail.ru*

Выполнена оценка метеорологических ситуации при прохождении активного снежного циклона на территории Беларуси. Отмечены наиболее существенные параметры, которые будут влиять на формирование и траекторию движения опасных метеорологических явлений на территории региона.

Ключевые слова: активный циклон; метеорологические параметры; подстилающая поверхность; атмосферное давление; температура воздуха; скорости ветра.

ANALYSIS OF THE METEOROLOGICAL SITUATION DURING THE PASSAGE OF AN ACTIVE CYCLONE ON THE TERRITORY OF BELARUS

N. V. Dorozhko

*National Ozone Monitoring & Educational Center, Kurchatova 7,
BSU, Minsk, Belarus, natashka_d10.05@mail.ru*

An assessment of the meteorological situation during the passage of an active snow cyclone on the territory of Belarus has been carried out. The most significant parameters that will affect the formation and trajectory of dangerous meteorological phenomena in the region are noted.

Keywords: active cyclone; meteorological parameters; underlying surface; atmospheric pressure; air temperature; wind speeds.

Одной из составляющих климатической системы являются опасные метеорологические явления. За последние несколько десятков лет появился значительный прогресс в мониторинге, прогнозировании и обеспечении готовности к связанным с погодой и климатом опасным метеорологических явлений, а также ликвидации их последствий. Определенную роль в анализе динамики и прогнозе опасных метеорологических явлений играют глобальные и мезомасштабные численные модели атмосферы и применение дополнительной информации, отражающей развитие мезомасштабных процессов. Использование в процессе расчетов мощной вычислительной техники и современных технологий способствовали

внедрению этих моделей в оперативную практику прогноза опасных метеорологических явлений, что минимизирует ущербы и улучшит их мониторинг. Для изучения метеорологических параметров и их роли в климатической системе различного масштаба представляется перспективным комплексное использование современных методов, которые включают такие параметры как статистический анализ на основе реальных, экспериментальных данных метео- и спутниковых наблюдений, так и численное моделирование с применением моделей атмосферы [1, с. 151].

Для детального анализа использовались методы математической статистики, включая пакеты Excel, SPSS Statistics [2]. Проводился анализ параметров по метеостанциям Беларуси и выполнялся расчет средних показателей. Для численного анализа метеорологических параметров и изменения подложки использовалась система мезомасштабного прогноза погоды WRF [3]. Подготовка входных данных включала сбор синоптических, метеорологических, климатических, спутниковых, радиолокационных данных и их статистическую обработку.

Материалами для работы служили: данные системы GFS [4], данные реанализа с сайта NOAA [5], результаты системы численного моделирования в системе WRF из архивов ННИЦ МО БГУ, данные Белгидрометцентра [6].

К опасным метеорологическим явлениям относят развитие циклонической деятельности. Характерным примером развития активного циклона на территории Беларуси является прохождение урагана в марте 2013 г. По полученным результатам этот случай содержит большое количество метеорологических явлений, что позволяет выполнить детальный анализ их в масштабе региона. Порывы ветра составляли 20-24 м/с., максимальная скорость — до 28 м/с. В Минске толщина снежного покрова увеличилась всего на 11 см. При этом общая толщина снежного покрова составила 57 см. 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.

Рассмотрены метеопараметры в следующие дни: 14.03.2013 — день перед приходом урагана; 15.03.2013 — прохождение урагана по территории Беларуси.

14.03.2013 г. температура воздуха на территории Беларуси составляла от -7,3 °С - -7,6 °С до 3 °С - 3,2 °С. 15.03 минимальное значение температуры воздуха составляло -8,2 °С на станции Верхнедвинск, а максимальное - 3,2 °С на станции Гомель. Прослеживались несущественные изменения (рис. 1).

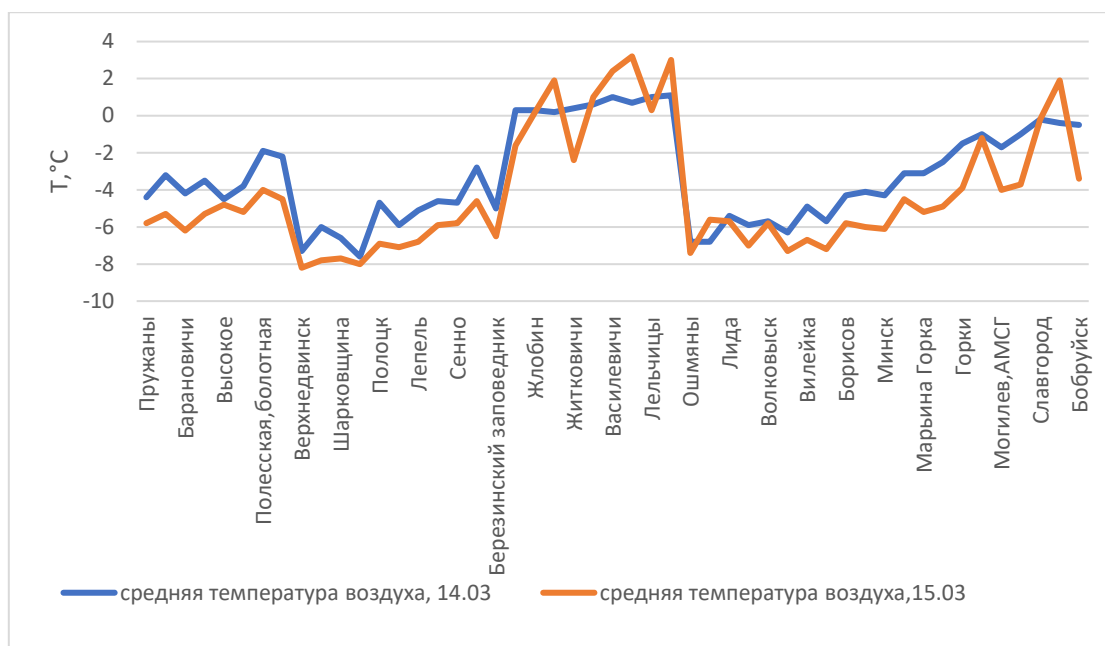


Рис. 1. Изменение температуры воздуха по метеостанциям Беларуси в период прохождения урагана (март 2013 г.)

Отмечено снижение атмосферного давления в период прихода урагана на территорию Беларуси. 14.03 минимальное значение атмосферного давления на уровне метеостанций составляло 978 гПа, а максимальное — 990 гПа. 15.03 минимальное значение атмосферного давления на территории Беларуси составило 965 гПа. (рис. 2)

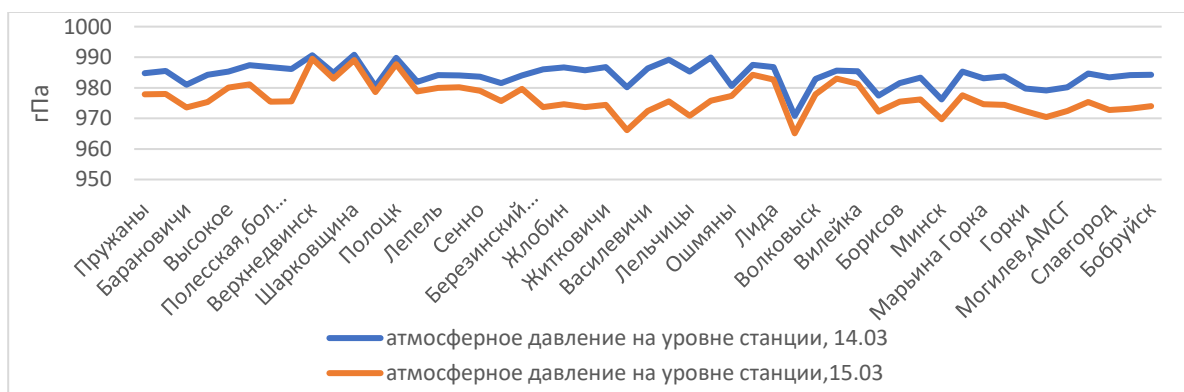


Рис. 2. Изменение атмосферного давления на уровне метеостанций по Беларуси в период прохождения урагана (март 2013 г.)

Суммы осадков 14 марта на территории Беларуси составляли от 0 до 8 мм. В период наступления урагана наблюдалось увеличение сумм осадков. Таким образом, 15 марта минимальное количество осадков составляло 0,2-0,4 мм, а максимальное — 36-37 мм, особенно на южной территории (рис. 3).

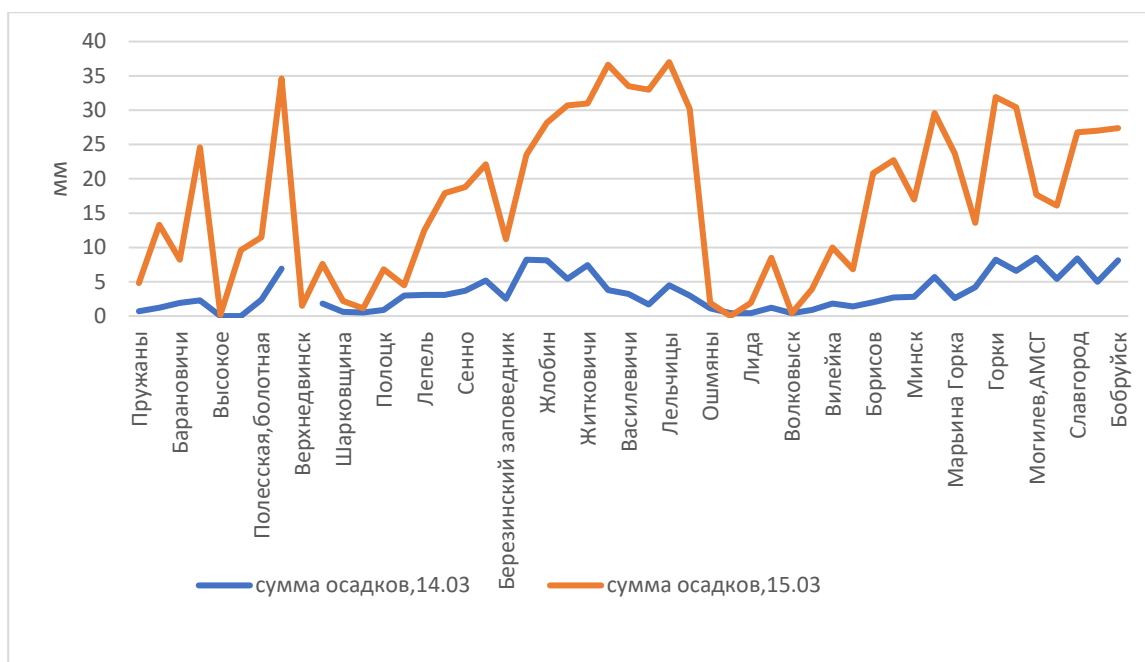


Рис. 3. Изменение сумм осадков по метеостанциям Беларуси в период прохождения урагана (март 2013 г.)

Обязательной составляющей при анализе опасных метеорологических явлений является скорость ветра. 13 и 14 марта на территории Беларуси скорости изменялись от 0,4 м/с до 2,1 м/с, средняя скорость ветра составляла 1,5 м/с (13 марта) и 2,5-3 м/с (14 марта). 15 марта на станции Полесская была зафиксирована скорость ветра выше 15 м/с. В целом по территории Беларуси отмечалось увеличение скоростей ветра (рис. 4). В южной части региона 16 марта прослеживалось снижение скоростей ветра, что характерно при движении циклона.

Пик прохождения активного снежного циклона зафиксирован 15 марта 2013 г. прослеживалось максимальное значение скорости ветра, снижение атмосферного давления и увеличение количества осадков.

Возможности численного моделирования атмосферы позволяют выявить роль внешних факторов, таких как подстилающая поверхность и сезонность, при прохождении циклона. Оценка проводится путем искусственного моделирования подложки, а также оценки значимости рассматриваемых параметров. На начальном этапе необходимо выбрать участок моделирования и определить шаг сетки (с каким количеством километров по территории будет проходить расчет), от чего зависит точность анализа.

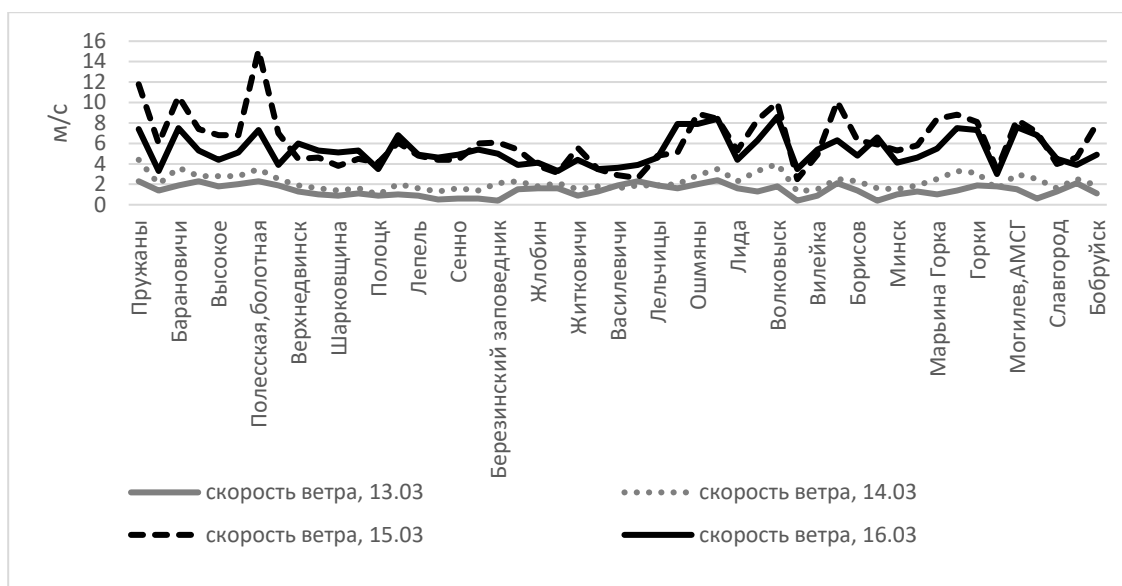


Рис. 4. Изменение скоростей ветра по метеостанциям Беларуси в период прохождения урагана (март 2013 г.)

Комплексное применение методов математической статистики и численного моделирования физико-географических параметров позволяет определить основные физико-географические факторы, которые будут существенно влиять на формирование и траекторию движения опасных метеорологических явлений, а также адаптировать модели под конкретный регион с учетом всех условий, что в свою очередь позволит улучшить оперативный прогноз опасных метеорологических явлений.

Библиографические ссылки

1. Дымников В. П. Основы математической теории климата / В. П. Дымников, А. Н. Филатов. Москва: 1994. 252 с.
2. Программа Statistics [Электронный ресурс] URL: <https://spsstatistics.ru/>. Дата доступа: 15.01.2024 г.
3. WRF — Модель исследования и прогнозирования погоды [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>. Дата доступа: 15.01.2024 г.
4. Global Forecast System [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>. Дата доступа: 15.01.2024 г.
5. Сайт Всемирной метеорологической организации – [Электронный ресурс]. URL: <https://public.wmo.int/en>. Дата доступа: 15.01.2024 г.
6. Прогноз погоды в Беларуси [Электронный ресурс]. URL: <http://pogoda.by/>. Дата доступа: 15.01.2024 г.

УДК 556.552

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДЕ ОСЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

С. С. Егоркина, А. Б. Китаев

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Букирева, 15, 614990 г. Пермь, Россия, kitaevab1953@gmail.com*

В работе представлены материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в районе береговой полосы Воткинского водохранилища в г. Осе Пермского края. Показано, что основными факторами, вызывающими обрушение берега, являются сезонные колебания уровня воды в водохранилище, скоростной и ветро-волновой режимы водоема в районе сооружений. Даны рекомендации для реконструкции защитных сооружений.

Ключевые слова: водохранилище; уровень воды; скорости течения; ветровые волны; обрушение берега; защитные сооружения.

ENGINEERING AND HYDROLOGICAL SURVEYS DURING RECONSTRUCTION OF COAST PROTECTION STRUCTURES IN THE TOWN OF OSE, PERM REGION

S. S. Egorkin, A. B. Kitaev

*Perm State National Research University, st. Bukireva, 15,
614990 Perm, Russia, kitaevab1953@gmail.com*

This report presents materials from engineering and hydrometeorological surveys in the area of the shoreline of the Votkinsk reservoir in the city of Osa, Perm Territory. It is shown that the main factors causing bank collapse are seasonal fluctuations in the water level in the reservoir, as well as the speed and wind-wave regime of the reservoir in the area of the structures. Recommendations are given for the reconstruction of protective structures.

Keywords: reservoir; water level; current speed; wind waves; coastal collapse; protective structures.

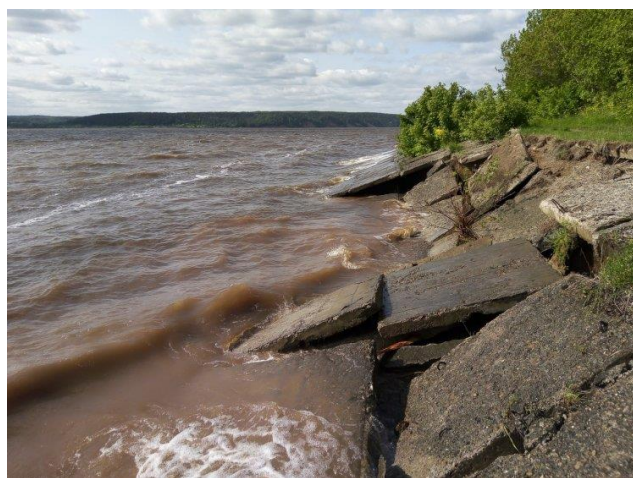
В последнее десятилетие произошло частичное разрушение защитных сооружений берега Воткинского водохранилища в районе г. Осы Пермского края. Эти сооружения, построенные в 80-х гг. прошлого столетия, требовали капитального ремонта. В 2015 г. администрацией Пермского края было принято решение о их реконструкции. В 2021 г. были проведены инженерно-гидрометеорологические изыскания в районе береговой полосы.

Оценка гидрологических условий участка изысканий. В административном отношении участок планируемого строительства по объекту «Капитальный ремонт берегоукрепления Воткинского водохранилища» расположен в Осинском районе Пермского края, в г. Оса. В геоморфологическом отношении территория изысканий расположена на I надпойменной террасе р. Камы, подверженной размыву.

Характеристика объекта: протяженность берегоукрепления — 1375 м. Укрепление откосного типа из сборных железобетонных и монолитных плит. Класс ГТС — III. Уровень ответственности — нормальный. Назначение объекта — предотвращение переработки берега.

Полевые и камеральные инженерно-гидрологические работы выполнены в мае 2021 г. Изыскания выполнялись в соответствии с техническим заданием, согласно требованиям нормативных документов [5], по материалам, полученным при выполнении полевых работ, с использованием крупномасштабного картографического материала, научно-технической литературы.

Общая характеристика участка изысканий. Береговой участок Воткинского водохранилища вблизи изыскиваемого объекта имеет рекреационное значение.



Разрушенные бетонные плиты набережной Воткинского водохранилища
(г. Оса, май 2021 г.)

Почти на всем протяжении берег, укрепленный бетонными плитами, подвержен разрушению. Плиты, которыми укрепляли береговую линию в 80-х гг. прошлого столетия, постепенно разрушаются. Реализация инвестиционного проекта по берегоукреплению Воткинского водохранилища в г. Оса начата в 2015 г., когда была разработана проектно-сметная документация, однако основные работы датированы 2021 г.

Расчетные уровни воды. Максимальные проектные уровни на изыскиваемом участке водохранилища определяются «Правилами использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилища на реке Кама» [4], утвержденными приказом Росводресурсов № 255 от 07 ноября 2016 г. Согласно этих правил при расходе 0,1 %-ной обеспеченности ($Q_{1\%}=18300 \text{ м}^3/\text{с}$) уровень воды Воткинского водохранилища в районе г. Оса равен $H_{0,1\%}=91,49 \text{ м БС}$, при расходе 1 %-ной обеспеченности ($Q_{1\%}=16000 \text{ м}^3/\text{с}$) уровень воды в районе г. Оса равен $H_{1\%}=90,52 \text{ м БС}$; при расходе 2 %-ной обеспеченности (определенный по интерполяции расход равен $Q_{2\%}=14200 \text{ м}^3/\text{с}$) уровень воды в районе г. Оса равен $H_{2\%}=90,24 \text{ м БС}$; при расходе воды 10 %-ной обеспеченности ($Q_{10\%}=10550 \text{ м}^3/\text{с}$) уровень воды в районе г. Оса равен $H_{10\%}=89,79 \text{ м БС}$.

Размыв берега водохранилища на участке изысканий. История изучения геодинамических процессов на берегах и в ложе камских водохранилищ берет свое начало с тридцатых годов прошлого столетия, когда возникла необходимость строительства Камского, а позднее Воткинского водохранилища. В 1966 г. и в 1969 г. публикуется двухтомная монография И. А. Печеркина «Геодинамика побережий камских водохранилищ» [3]. В работе дан анализ геодинамических процессов и представлена их роль в условиях резкого изменения режима водных объектов, разработана генетическая классификация экзогенных геологических процессов и показана их взаимообусловленность. В 2008 г. опубликована монография Н. Н. Назарова «Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края» [2], в которой автор дал обобщение результатов исследований, выполненных в период 1998–2008 гг. Берег Воткинского водохранилища в районе г. Оса относится по классификации автора к абразионно-обвальным, сложенным легкими суглинками. Скапливаясь в приурезовой зоне, материал обвало-осыпи создает буфер, принимающий на себя гидравлические удары волны. Вдоль берега сформирован неразвитый пляж, который частично гасит энергию волновой абразии.

Скоростной режим. На водохранилище, где и находится участок изысканий, имеют место все виды течений, свойственные большим искусственным водоемам: стоковые, ветровые (дрейфовые), компенсационные и др. Наиболее распространенными из них являются стоковые и ветровые.

Рассматриваемый участок находится в зоне постоянного подпора от Воткинской ГЭС. Даже в случае сработки водохранилища до горизонта воды, при уровне 85,00 м БС, глубины и площади водного сечения будут превышать бытовые в р. Каме при отсутствии подпора.

Максимум коэффициента проточности для центральной части водохранилища, где и находится участок изысканий, приходится на апрель – май, при переходе от конца зимней сработки к началу интенсивного наполнения водоема, и составляет 0,20–0,35 м/с [1]. Зимой и летом проточность снижается, в летне-осенний период значительно. Фактически

наблюдаемые течения (суммарные течения) на рассматриваемом участке водохранилища будут формироваться как результат взаимодействия транзитного потока (стоковые течения) и воздействия ветра (дрейфовые и компенсационные течения).

Преобладающие значения скорости суммарных течений в рассматриваемом районе составляют от 0,05 до 0,22 м/с, а максимальные — 0,24÷0,45 м/с. Наибольшие значения скорости отмечены в приповерхностном слое, либо на глубине 10-15 м. Наименьшие значения скорости (5-9 см/с) наблюдаются обычно на глубине 2,5-5,0 м. Преобладающее направление течения, независимо от глубины, соответствует направлению стокового течения. Наибольшие скорости течения соответствуют периоду максимальной проточности (апрель-июнь). При ветрах западных румбов, направленных вверх по водохранилищу для изыскиваемого участка, может формироваться дрейфовое течение в поверхностном слое, направленное с запада на восток, против транзитного потока.

Расчет ветрового волнения. Расчет волнения произведен для скорости ветра 4 %-ной обеспеченности, которая по метеостанции Ножовка принята равной 29 м/с. Для расчета волнения были рассмотрены два участка разбега волны: участок 1–1, влияющий на южную и западную основную часть участка берегоукрепления и участок 2–2, влияющий на северо-западную и северную части укрепления.

Установленные параметры ветровых волн приведены в таблице.

Характеристика ветрового волнения

Характеристика ветрового волнения	Участок 1-1	Участок 2-2
Длина разбега волны, L , км	25,3 км	8,7 км
Средняя глубина, d , м	6,25	5,24
Средняя высота волны, $\bar{h}_d$, м	1,29	0,86
Средняя длина волны, $\bar{\lambda}_d$, м	20,4	16,5
Высота волны: – 1 % обеспеченности $h_{1\%}$, м	2,71	1,81
– 2 % обеспеченности $h_{2\%}$, м	2,48	1,62
– 5 % обеспеченности $h_{5\%}$, м	2,27	1,51
– 10 % обеспеченности $h_{10\%}$, м	1,51	1,30

Заключение. В геоморфологическом отношении территория изысканий расположена в на I надпойменной террасе р. Камы. Расчетные уровни Воткинского водохранилища в районе г. Оса равны: $H_{0,1\%}=91,09$ м,

$H_{0,5\%}=90,60$ м, $H_{1\%}=90,52$ м, $H_{2\%}=90,24$ м, $H_{3\%}=90,19$ м, $H_{5\%}=89,86$ м, $H_{10\%}=89,79$ м. Расчётные высоты волны по наибольшему волнообразующему направлению составляют: $h_{1\%}=2,71$ м, $h_{2\%}=2,48$ м, $h_{5\%}=2,27$ м, $h_{10\%}=1,51$ м. Высота ветрового нагона равна 0,93 м. В проектных решениях необходимо предусмотреть мероприятия, учитывающие изменения типа, интенсивности и направленности абразионных, эрозионных процессов, а также предупреждения появления оползней. Для безаварийной эксплуатации берегоукрепительных сооружений рекомендуется вести регулярный мониторинг за разрушением берега на эксплуатируемом участке.

Библиографические ссылки

1. *Девяткова Т. П.* Исследование водного режима крупных долинных водохранилищ (на примере Камских) на основе системно-диалектической методологии: дисс. в виде научного доклада на соиск. уч. степени доктора геогр. наук. Пермь, 1997. 74 с.
2. *Назаров Н. Н.* Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края. Пермь: Изд-во ЗАО «Полиграфкомплект», 2008. 152 с.
3. *Печеркин И. А.* Геодинамика побережий камских водохранилищ. Пермь, 1969. Т. 2. 308 с.
4. Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Каме. Утв. приказом Федерального агентства водных ресурсов от 7 ноября 2016 г. № 225. М.: Росводресурсы, 2017.

УДК 537.67: 57.045

ОТКЛИК ПАРАМЕТРОВ НИЖНЕЙ-СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ НА ИОНОСФЕРНЫЕ БУРИ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ

А. М. Жмодиков¹⁾, Т.В. Шлендер²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220005, г. Минск, Беларусь, anton.jmodikov482@gmail.com

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга
озоносферы БГУ, ул. Курчатова 7, г. Минск, Беларусь

Объектами исследования в работе являются параметры нижней-средней атмосферы, ионосферные возмущения и нижняя-средняя атмосфера, предметом — отклик нижней-средней атмосферы во время ионосферных возмущений. Цель работы — исследование связи ионосферных возмущений и параметров нижней и средней атмосферы в Южном полушарии. Для исследования проводился анализ осредненных карт пространственного распределения параметров нижней и средней атмосферы, а также анализ графиков динамики средних значений рассматриваемых параметров средней атмосферы по долготам южного полушария.

В работе продемонстрировано наличие реакции общего содержания озона, давления на уровне моря и завихренности атмосферы на ионосферные возмущения. На примере отдельных ионосферных бурь выявлен отклик скорости восточного ветра и температуры атмосферы на уровне 0,3 гПа, в то время как для геопотенциальной высоты явного отклика не найдено.

Ключевые слова: солнечно–земные связи; магнитосфера Земли; ионосферные бури; стратосферный озон; отклик нижней-средней атмосферы.

RESPONSE OF LOWER-MIDDLE ATMOSPHERE PARAMETERS TO IONOSPHERIC STORMS IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

A. M. Zhmodikov¹⁾, T. V. Schlender²⁾

¹⁾Belorussian State University, Leningradskaya str., 16, 220005 Minsk, Belarus,
anton.jmodikov482@gmail.com

²⁾National Ozone Monitoring Research
Center BSU, Minsk, Republic of Belarus

The objects of study in the work are the parameters of the lower-middle atmosphere, ionospheric disturbances and the lower-middle atmosphere, the subject is the response of the lower-middle atmosphere during ionospheric disturbances. The purpose of the work is to study the connection between ionospheric disturbances and parameters of the lower and middle atmosphere in the Southern Hemisphere. For the study, an analysis of averaged maps of the spatial distribution of parameters of the lower and middle atmosphere was carried out, as well as an analysis of graphs of the dynamics of the average values of the considered parameters of the middle atmosphere by longitude of the southern hemisphere.

The work demonstrated the presence of a response of total ozone content, sea level pressure and atmospheric vorticity to ionospheric disturbances. Using the example of individual ionospheric storms, a response was revealed between east wind speed and atmospheric temperature at a level of 0,3 hPa, while no obvious response was found for geopotential height.

Keywords: solar-terrestrial communications; the Earth's magnetosphere; ionospheric storms; stratospheric ozone; response of the lower-middle atmosphere.

Общая реакция содержания озона вызывается связанными с ионосферными бурями изменениями в характере циркуляции, с которыми она согласуется по крайней мере качественно [5]. Геомагнитная активность затрагивает обе границы средней атмосферы: высоту и температуру тропопаузы, а также отклонения высоты турбопаузы от ее среднесуточного хода. Так, по обобщенным Лаштовичкой результатам экспериментов «Солнце-Атмосфера 1969, 1971, 1976 гг.» следует, что ионосферные бури приводят к: нагреву нижней термосферы и верхней мезосферы; охлаждению средней мезосферы (≈ 70 км); умеренному прогреву нижней мезосферы (≈ 60 км); для верхней стратосферы наблюдался положительный, а скорее предельный, корреляционный эффект на температуру [3, 4].

Для проверки утверждения о зависимости параметров нижней-средней атмосферы от ионосферных возмущений, был применен метод пространственного наложения эпох. В качестве параметров нижней-средней атмосферы были взяты общее содержание озона, давление на уровне моря и потенциальная завихренность на уровне 300 гПа.

Для работы построены осредненные карты параметров нижней и средней атмосферы для Южного полушария по периодам 37 ионосферных возмущений 1998-2016 гг. Данные для осреднения взяты из открытого репозитория NASA Giovanni [2]. Карты построены с помощью скрипта на языке программирования Python и геоинформационной системы QGIS. Для теплого (декабрь-май) и холодного (июнь-ноябрь) периодов карты построены отдельно. Ионосферные бури для осредненных карт и графиков отобраны из открытого архива ИЗМИРАН [1]. Взяты промежутки времени самих бурь и промежутки за 5 дней до и 5 после бурь.

На карте общего содержания озона за теплый период (рис. 1) видно, что содержание озона над Южным полюсом возросло на 10-15 е. Д. во время бури и после бури сохранялось повышенным относительно значений до бури. Содержание озона в $50-60^\circ$ ю. ш. уменьшилось на 8-10 е. Д., что заметно на примере скопления озона над южной частью Тихого океана и южнее Австралии и Новой Зеландии. На карте за холодный период (рис. 1) видно, что область повышенного содержания озона в $50-60^\circ$ ю. ш. так же уменьшилась за период бури и осталось такой же после нее — наиболее ярко это видно южнее Австралии, при этом содержание озона в этой области не изменилось.

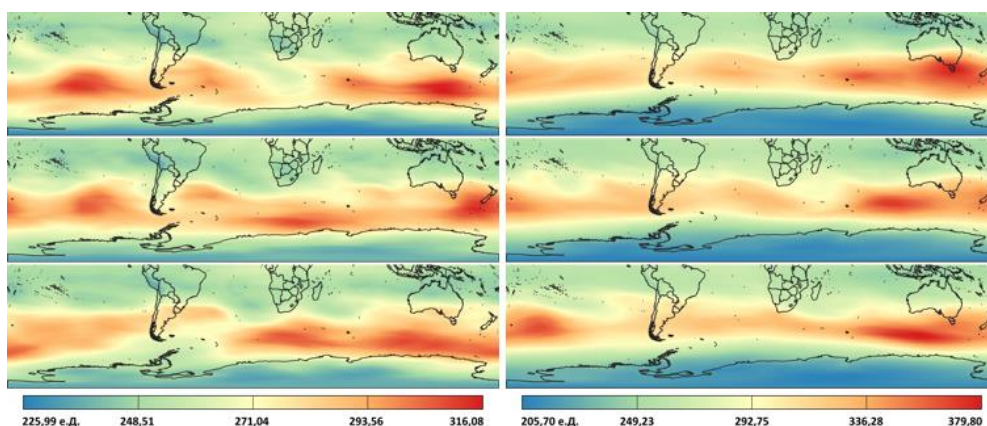


Рис. 1. Осредненное общее содержание озона в единицах Добсона в Южном полушарии за 5 дней, во время бури и 5 дней после бури в теплый декабрь–май (слева) и холодный июнь–ноябрь периоды (справа) [сост. авт. по 1, 2]

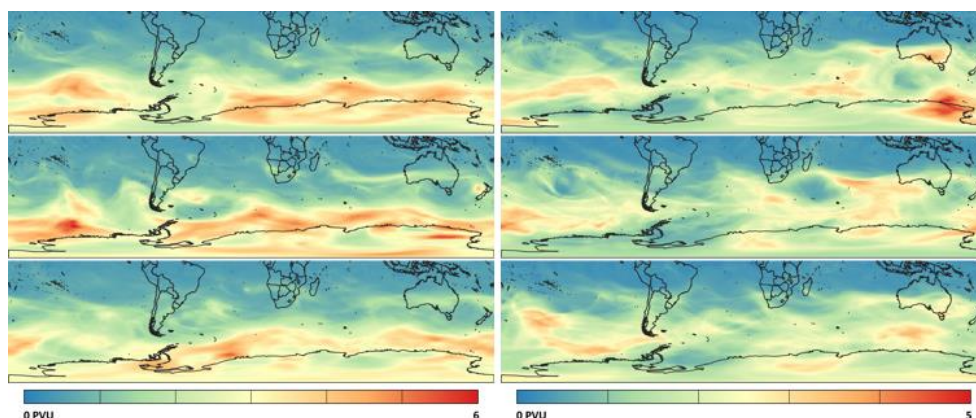


Рис. 2. Осредненная потенциальная завихренность в PVU на уровне 300 гПа в Южном полушарии за 5 дней, во время бури и 5 дней после бури в теплый декабрь–май (слева) и холодный июнь–ноябрь периоды (справа) [сост. авт. по 1, 2]

На карте потенциальной завихренности на уровне 300 гПа Южном полушарии в теплый период (рис. 2) видно усиление завихрений в районе 50° – 80° ю. ш., заметнее всего у побережья Антарктиды на юге Тихого океана (усиление с 2 до 6 PVU), после бури наблюдается общее ослабление потенциальной завихренности на 2 PVU. Для карты за холодный период (рис. 2) изменения потенциальной завихренности выражены хуже и имеют обратную тенденцию — ослабление завихренности во время бури, что наиболее заметно по области на побережье Антарктиды южнее Австралии — ослабление завихренности на 1 PVU. После бури продолжается медленное ослабление завихренности.

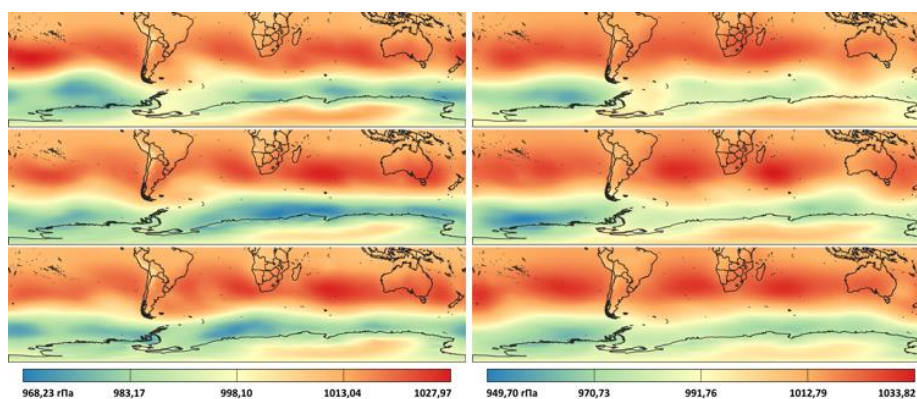


Рис. 3. Осредненное давление на уровне моря в гПа в Южном полушарии за 5 дней, во время бури и 5 дней после бури в теплый декабрь-май (слева) и холодный июнь-ноябрь периоды (справа) [сост. авт. по 1, 2]

На картах давления на уровне моря за теплый и холодный периоды (рис. 3) заметно, что давление над Антарктидой во время бури снизилось на 5-7 гПа и осталось пониженным в 5-дневный период после бури. Особо сильно снизилось давление у побережья Антарктиды — для теплого периода область максимального снижения давления расположена между Африкой и Антарктидой, для холодного периода она располагается на юге Тихого океана — здесь падение достигло 10-15 гПа. В период после бури давление повысилось приблизительно на 5 гПа. Также небольшое падение давления во время и после бури на 3-5 гПа наблюдается в 50-60° ю. ш.

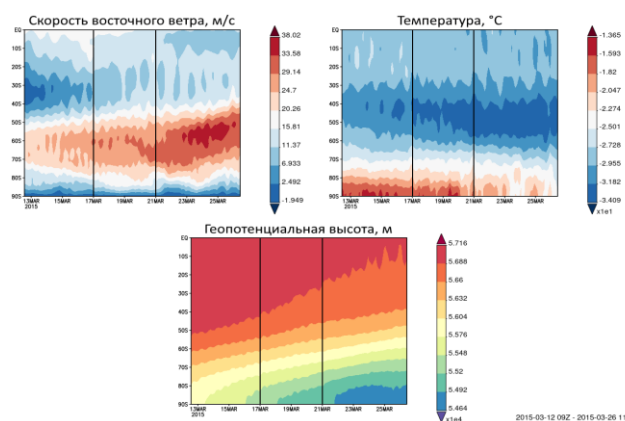


Рис. 4. Значения скорости восточного ветра (м/с), температуры воздуха (°C) и геопотенциальной высоты (м) для геопотенциального уровня 0,3 гПа за 5 дней до и 5 дней после ионосферной бури теплого периода 17-21 марта 2015 г. [сост. авт. по 1, 2]

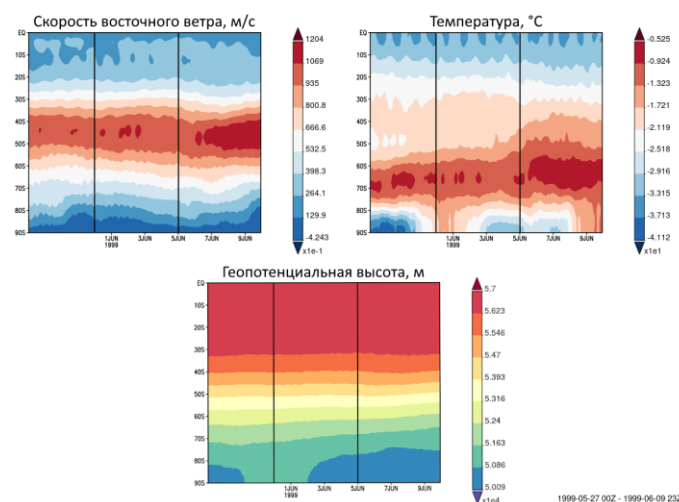


Рис. 5. Значения скорости восточного ветра (м/с), температуры воздуха (°C) и геопотенциальной высоты (м) для геопотенциального уровня 0,3 гПа за 5 дней до и 5 дней после ионосферной бури холодного периода 31 мая - 5 июня 1999 г.
[сост. авт. по 1, 2]

На графиках для бури теплого периода 17-21 марта 2015 г. (рис. 4) видно, что для геопотенциального уровня 0,3 гПа скорость восточного ветра после бури повышается на 5-10 м/с для 10-80° ю. ш. (максимальная скорость в 45-80° ю. ш.); падение во время и после бури температуры воздуха доходит до 3,8 °C для 35-90° ю. ш. (температурный минимум в 35-65° ю. ш.); падение геопотенциальной высоты на всех широтах наблюдается еще до бури и составляет около 300 м. При анализе другой мощной ионосферной бури теплого периода 20 декабря 2006 года наблюдалось усиление скорости во время и после бури примерно на 10 м/с в 5°-35° ю. ш. (максимум скоростей в 10-30° ю. ш.); падение температуры на 3,2 °C для 0-30° ю. ш.; падение геопотенциальной высоты для 0-20° ю. ш. на 440 м наблюдается еще за 3 дня до начала бури, но для 75-85° ю. ш. наблюдается рост геопотенциальной высоты на 440 м.

По графикам для бури холодного периода 31 мая - 5 июня 1999 г. (рис. 5) наблюдается увеличение скорости восточного ветра после бури на 13,5 м/с для 40-55° ю. ш.; после бури, для 35-90° ю. ш. наблюдается рост температуры на 4 °C, а также падение температуры на 2-3 день после бури для 80-90° ю. ш. на 11,6 °C; падение геопотенциальной высоты, усиливающееся на третий день ионосферной бури наблюдаются в 65-90° ю. ш. и составляет около 770 м. При анализе другой бури холодного периода 10 июля 2000 года наблюдался рост скорости ветра после бури на 13-27,3 м/с для 55-80° ю. ш.; рост температуры после бури на 4-8 °C для 55-70° ю. ш.; геопотенциальная высота заметно не меняется. Для ионосферной бури 3 ноября 2004 года наблюдался рост скорости восточного ветра со второго

дня бури на 3,9-7,8 м/с с дальнейшим ростом скорости еще на 11,8 м/с после бури для 10-80° ю. ш., причем для этой полосы в 40-50° ю. ш. скорость ниже почти на 12 м/с; для 75-90° ю. ш. видно падение температуры на 2,9-8,8 °С, но для других широт изменений температуры не просматривается; геопотенциальная высота с середины бури и после нее растет для 25-90° ю. ш. на 240-1450 м, причем сильнее всего для 80-90° ю. ш.

Таким образом, после ионосферных бурь в теплый период общее содержание озона возрастает на полюсах и убывает на 50-60° ю. ш., для холодного же периода изменение содержания озона проявляется не так четко и заметно только на 50-60° ю. ш. Потенциальная завихренность на уровне 300 гПа заметнее всего меняется в умеренных широтах и у побережья Антарктиды — усиливается после ионосферных бурь теплого периода и ослабевает после бурь холодного периода. Давление на уровне моря после бурь в оба периода падает над Антарктидой и особенно у ее побережья, менее заметное падение давления просматривается на умеренных широтах. Скорость восточного ветра для уровня 0,3 гПа возрастает после бурь для обоих периодов — на 5-10 м/с для теплого и 13-27,5 м/с для холодного; температура атмосферы для уровня 0,3 гПа в теплый период падает на 3-4 °С, в то время как в холодный период возрастает на 4-8 °С; геопотенциальная высота для уровня 0,3 гПа для ионосферных бурь теплого периода растет на 300-440 м, но рост высоты начинался еще до бурь и с началом бурь не наблюдается ускорения роста, для бурь холодного периода не просматривается общей тенденции в изменении геопотенциальной высоты вместе с ионосферными бурями.

Библиографические ссылки

1. Ионосферная погода: Планетарные бури полного электрического содержания // ИЗМИРАН [Электронный ресурс]. 2007-2023. Режим доступа: <https://www.izmiran.ru/services/iweather/storm/>. Дата доступа: 20.01.2024.
2. Giovanni: The Bridge Between Data and Science // NASA EarthData [Электронный ресурс]. 2017-2023. Режим доступа: <https://www.giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Дата доступа: 20.01.2024.
3. *Laštovička J.* A review of solar wind and high energy particle influence on the middle atmosphere. / *J. Laštovička* // *Ann. Geophys.* 1988. Vol. 6. P. 401-408.
4. *Laštovička J.* Solar wind and high energy particle effects in the middle atmosphere. / *J. Laštovička* // *Handbook for MAP* 1989. Vol. 29. P. 119-128.
5. *Laštovička J. and Križan P.*, (2005). Geomagnetic storms, Forbush decreases of cosmic rays and total ozone at northern higher middle latitudes. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 67, 119–124.

УДК: 556.5

К ВОПРОСУ ОБ АНОМАЛЬНОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ)

И. А. Жуков, Д. Н. Айбулатов

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
географический факультет, кафедра гидрологии суши, 119991,
Ленинские горы, д. 1, Москва, Российская Федерация,
les-96@yandex.ru, gidroden@mail.ru*

В настоящее время гидрологический режим разных по размеру рек, обладает разной степенью изученности. Лучше всего изучен речной сток средних и больших рек, в то время как речной сток малых рек практически не исследован. В отношении рек, имеющих площадь водосбора менее 2000 км², существует устойчивое мнение, о том, что водный режим этих рек является аномальным. В работе представлены исследования водного режима малых рек бассейна р. Волги.

Ключевые слова: малые реки; водный режим; гидрология.

ON THE QUESTION OF ANOMALY OF THE WATER REGIME OF SMALL RIVERS. ON THE EXAMPLE OF SMALL RIVERS OF THE VOLGA BASIN

I. A. Zhukov, D. N. Aybulatov

*Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of
Geography, Department of Land Hydrology, 119991, Leninskie Gory, 1,
Moscow, Russian Federation les-96@yandex.ru, gidroden@mail.ru*

Currently, the hydrological regime of rivers of different sizes has varying degrees of knowledge. The river flow of medium and large rivers is best studied, while the river flow of small rivers has not been studied. With regard to rivers with a catchment area of less than 2000 km², there is a strong opinion that the water regime of these rivers is anomalous. The paper presents studies of the water regime of small rivers in the Volga basin.

Keywords: small rivers; water regime; hydrology.

С 70-х гг. XX в. Европейская территория России характеризуется весьма значимым изменением климатических характеристик, которые влияют на водность рек, преобладающие типы их питания, распределение стока внутри года, а также обуславливают формирование опасных гидрологических явлений [2].

Одной из важнейших научно-практических задач является обеспечение устойчивости к этим изменениям, т. к. изменение речного стока заметно сказывается на качестве и количестве водных ресурсов, температуре воды и состоянии связанных с водой экосистем, ведет к увеличению масштабов и частоты проявлений экстремальных природных явлений — наводнений и засух.

Актуальность данной работы связана со слабой изученностью водного режима и внутригодового распределения стока воды малых рек — самых распространенных рек на территории России.

Для целей настоящего исследования из действующих гидрологических постов на малых реках исследуемой территории выбирались гидрологические посты и оцифровались данные об ежедневных расходах воды на них для дальнейшего анализа речного стока и его генетических составляющих. В ходе исследования удалось добиться равномерного распределения оцифрованных водных постов на всей исследуемой территории. Задействованные в исследовании гидрологические посты имеют максимально длинные ряды наблюдений в своих районах [3].

Для анализа водного режима рек и их источников питания проведено расчленение гидрографа на генетические составляющие. Расчленение гидрографа позволяет определить суммарную величину подземного, паводочного и половодного стока. Типовой гидрограф представляет собой линию, описывающую пик половодья, кривые его спада и подъема, летнюю и зимнюю межень и площадь под этой линией, которая обозначает объем подземного и поверхностного стока [4].

Основной программный комплекс исследования — программа GrWat 3.0.M. В основу работы программы заложен алгоритм, который, учитывая особенности каждой конкретной реки, отделяет на гидрографе подземную составляющую, весеннее половодье и дождевые и оттепельные паводки (в разные сезоны) [5].

Программа GrWat при параметрах, заданных за период в 70 лет, качественно отделяет грунтовую составляющую, даже несмотря на изменения водного режима, произошедшие на рубеже 70-х и 80-х годов XX-го столетия. Данная методика расчленения гидрографов позволяет рассчитывать практически все характеристики водного режима, в том числе даты наступления и окончания половодья, его объемы и соответственно, расходы, а также характеристики летне-осенних паводков.

В программе GrWat 3.0.M можно отслеживать изменения гидрологических параметров во времени и исследовать долгопериодные изменения.

В результате обработки непрерывных рядов расходов воды с совмещенными метеорологическими данными (температура воздуха и осадки) получены многолетняя динамика изменений гидрологических характеристик речного стока для 73 постов бассейна Волги.

Получена информация по 49 характеристикам речного стока. Подробно проанализировано распределение по исследуемой территории всех полученных гидрологических характеристик. Для каждой из них построены карты и проведен анализ пространственного распределения изменений данной характеристики.

По имеющимся данным о слоях стока и модулях стока воды и его генетических составляющих для средних и больших рек на исследуемой территории [1], можно сравнить их с изменениями, которые произошли со стоком воды малых рек. В ходе проведения исследований подтверждена схожесть динамик изменений стока воды средних, больших и малых рек бассейна реки Волги.

В результате проанализировано распределение гидрологических характеристик в бассейнах малых рек исследуемой территории. Для укрупнения районов анализа исследование распределения всех гидрологических характеристик выполнено в рамках бассейнов больших рек.

После завершения анализа и выявления закономерностей в динамике стока воды малых рек исследуемой территории и его генетических составляющих, появилась возможность отследить динамику наступления изменений в стоке воды исследуемых рек. Для этого применен метод разностно-интегральных кривых.

Разностно-интегральные кривые построены для ряда среднегодовых расходов воды на исследуемых постах. Кроме этого, для изучения однородности времени наступления точек перегиба для каждой фазы водного режима, построены и проанализированы разностно-интегральные кривые для минимального расхода зимней и летне-осенней межени, максимального расхода половодья и максимального расхода паводков. В результате исследования установлено, что для малых рек исследуемой территории характерно увеличение стока воды во время прохождения зимней и летне-осенней межени.

В результате исследований выявлена закономерность: при движении с севера на юг фиксируется смена увеличения паводочного стока на его уменьшение.

В основном, на исследуемой территории гидрологические изменения произошли в 70-е гг. XX века [2]. Для южной части Камского бассейна установлено наступление перелома в 80-е гг. прошлого века. В южной части Камского водохранилища установлена зона, где изменения произошли после 1990 г., это же время для верхнего и среднего течения Цны и отдельных рек Окского бассейна. На правых притоках северной части Камского водохранилища изменения произошли в 60-е гг. В это же время они произошли и в районе Куйбышевского водохранилища, и для отдельных рек окского бассейна, а также для бассейна реки Шексны. На территории Верхней Волги изменения наступили в 50-е годы.

В результате исследования установлено, что для лет наступления изменений в речном стоке исследуемой территории есть две зависимости: при движении с севера на юг по Волге и Каме изменения наступают все раньше и при движении с востока на запад сроки наступления перелома становятся более ранними.

Для динамики стока выявлены закономерности: с севера на юг и в районе расположения крупных водохранилищ наблюдается сокращение речного стока.

Изменения стока воды и его генетических составляющих малых рек исследуемой территории являются одним из значимых последствий глобального изменения климата, начавшегося в 1970-80 гг. Существенное повышение среднегодовой температуры наблюдается со второй половины 1970-ых гг., и составляет $\sim 1,55^{\circ}\text{C}$ [2]. Климатические изменения в последние десятилетия отразились на величинах годового, сезонного и минимального стока рек на преобладающей части исследуемой территории [1]. В результате исследования установлено, что в последние 20-25 лет по причине увеличения годовой суммы осадков (особенно в бассейне Волги выше г. Ярославля) на 3-6 %, а также сокращения периода с устойчивым снежным покровом (до 11 %) и уменьшение максимальной толщины снежного покрова на большинстве рек наблюдается значительное перераспределение стока воды между фазами водного режима.

Значительно повысился годовой сток по сравнению с нормой предшествующих многолетних наблюдений. В последние 20-25 лет по причине увеличения годовой суммы осадков (особенно в бассейне Волги выше г. Ярославля) на 3-6 % на большинстве рек наблюдается значительное увеличение водности.

За период 1981-2020 гг. общее увеличение объема годового стока воды исследуемой территории составило 4,8 %.

В динамике весеннего стока отчетливо проявляется все возрастающий тренд на уменьшение его объема. Однако, для бассейна Камы, Унжи и Ветлуги характерно увеличение весеннего стока. На остальной части бассейна он уменьшается.

Для рек северо-западной части исследуемой территории характерен тренд к увеличению максимальных расходов весеннего половодья (Ветлуга) или его отсутствие (Молога). Только самые северные и северо-восточные реки региона (Унжа) характеризуются заметным увеличением максимальных расходов весеннего половодья. Тенденция к уменьшению максимальных расходов прослеживается на реках лесостепной и степной зоны (Ока). Максимальные расходы воды уменьшились здесь более чем в 2 раза.

Данные последних лет свидетельствуют о стремительном снижении максимальных расходов и распластывании волны половодья. На смену характерных для бассейна рек исследуемой территории одновершинных

гидрографов приходят современные гидрографы с гребенчатой формой во время прохождения половодья. К тому же превышение весенних максимальных расходов воды над средними меженными сокращается с 10-15 до 3-5 раз.

Летне-осенний меженный сток характеризуется увеличением водности. На данной территории сток рек за последние 50 лет увеличился на 50-100 %. Также увеличивается объем стока в зимнюю межень на те же 50-100 %.

Причиной увеличения слоя стока в зимний меженный период является увеличение температуры воздуха, что привело к росту числа и продолжительности оттепелей, и сокращению длительности зимнего сезона. Наиболее существенное увеличение минимального стока (более 50-70 %) происходит в верхнем течении Оки и Волги. В нижнем течении исследуемой территории минимальный сток увеличивается на чуть меньшие значения 20-40 %.

Фоновые значения паводочного стока увеличились на 25-30 %, в верхнем течении Волги (бассейне Рыбинского водохранилища) и Камы — до 75%.

В ходе проведенных исследований установлено, что для рек бассейна Волги характерен тренд к уменьшению максимальных расходов весеннего половодья или его отсутствие. Максимальные расходы воды уменьшились более чем в 2 раза. Превышение весенних максимальных расходов воды над средними меженными сокращается с 15 до 5 раз.

Для летне-осеннего меженного стока выявлено увеличение водности. Для рек исследуемой территории сток увеличился на 50-100 %. Также увеличивается объем стока в зимнюю межень до 130 %. Зафиксировано увеличение паводочного стока в бассейнах малых рек, в среднем на 43 %.

Наиболее существенное увеличение минимального стока (более 50-70 %) установлено для верхнего течения Оки и Волги. В нижнем течении исследуемой территории минимальный сток увеличивается на чуть меньшие значения 20-40 %.

Кроме этого, для большинства исследуемых речных бассейнов установлено увеличение продолжительности и интенсивности паводков. Максимальный расход летних паводков увеличился до 80 %. Объем паводочного стока за год увеличился на 40-50 %. Увеличение зимних паводков выросло на 25-30 %.

В результате сравнения данных, полученных по средним и большим рекам исследуемой территории, установлено, что разностно-интегральные кривые для генетических составляющих стока воды малых рек исследуемой территории имеют несколько экстремумов (точек перегиба) — первая приурочена к началу глобальных климатических изменений, повлекших за собой и гидрологические изменения, вторая — точка перегиба

за последние 20 лет. Это полностью повторяет закономерности для больших и средних рек.

В результате исследований выявлена закономерность — чем южнее, тем существенней изменились генетические составляющие стока воды.

Еще одним выводом работы является то, что несмотря на азональность малых рек, для них возможно составление карт стоковых характеристик воды, а также выявлена схожесть динамик и закономерностей гидрологических изменений стока воды и его внутригодового распределения у малых, больших и средних рек.

Главным выводом работы является подтверждение схожести изменений слоев и модулей стока воды, тенденциях изменений качественных и количественных гидрологических изменений для малых, средних и больших рек. В результате выполненных исследований подтверждена возможность составления для малых рек пространственных и динамических карт для качественных и количественных гидрологических характеристик.

Библиографические ссылки

1. Болгов М. В., Трубецкова М. Д., Филимонова М. К., Филиппова И. А. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне р. Волги // Водное хозяйство России, 2014. № 3. С. 83-99.
2. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Кричевец Г. Н. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод европейской части России, Водные ресурсы, 2012, том 39. № 6. С. 571-589
3. Жуков И. А., Айбулатов Д. Н. Гидрологическая изученность и классификация рек Верхней и Средней Волги. Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том I (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021. С. 351-355
4. Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Издательство Московского университета, 1966.
5. Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Рец Е. П., Самсонов Т. Е. Изучение современного водного режима рек европейской территории России с помощью автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа grwat // Сборник докладов международной научной конференции «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения», Нижний Новгород, 8 – 14 сентября 2019 г. С. 160-165.

УДК 556.555

ТИПЫ АНТРОПОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ОЗЕР ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Г. Захаров

*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,
пр. Ленина, 69, 454080 г. Челябинск, Россия, s_zakcharov5@mail.ru*

Дается обзор антропогенного воздействия на озера Челябинской области. Современное состояние озерных геосистем и качество озерных ресурсов претерпело существенные изменения по сравнению с естественными природными системами. Выявлены озера, ставшие своеобразными бедлендами, хозяйствование на которых сильно осложнено или опасно для здоровья человека. Дальнейшая эксплуатация озер должна идти с учетом произошедших изменений.

Ключевые слова: озера Челябинской области; загрязнение; эвтрофикация; качество вод.

TYPES OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS IN LAKES OF THE CHELYABINSK REGION

S. G. Zakharov

*South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Lenin Ave., 69, 454080
Chelyabinsk, Russia, s_zakcharov5@mail.ru*

An overview of the anthropogenic impact on the lakes of the Chelyabinsk region is given. The current state of lake geosystems and the quality of lake resources have undergone significant changes compared to natural systems. Lakes have been identified that have become a kind of badlands, the management of which is very complicated or dangerous to human health. Further exploitation of the lakes must take into account the changes that have occurred.

Keywords: lakes of the Chelyabinsk region; pollution; eutrophication; water quality.

Челябинскую область по праву можно назвать озерным краем. Общее количество озер достигает 3170; площадь, занятая озерами — 2125 км² общий объем озерных вод — около 7 км³, средняя озерность области — 2,4 %. [5]. В пределах области озера распространены не равномерно. Больше всего озер встречается в зоне восточных предгорий Южного и Среднего Урала (озерность этой местности — до 14 %), в плоскоравнинных участках северной Зауральской лесостепи; в междуречье рек Миасс и Уй. Озера области невелики по площади: водная поверхность самого большого озера

(Увильды) достигает 68 - 69 км². В трех озерах (Увильды, Иртяш, Тургойак) содержится около 2 км³ воды — почти 30 % общего запаса вод всех озер Челябинской области [3, 5].

По степени разнообразия минерального состава вод и генезису озерных котловин озера области являются одной из уникальных территорий мира, представляя собой своеобразную зону контакта озер умеренного пояса Евразии. По химическому составу озерных вод здесь можно встретить озера, характерные для Карелии, Беларуси, Восточно-Европейской равнины, и здесь же находятся самые северо-западные представители Азиатского пояса соленых озер (характерные для юга Западной Сибири, Алтая и Монголии). Диапазон минерализации озерных вод Челябинской области составляет четыре порядка — от 30 мг/л до 200 г/л [3]. По происхождению котловин можно выделить озера тектонические, эрозионно-тектонические, речные (водно-аккумулятивные и водно-эрозионные), древнедолинные, карстовые, суффозионные. По степени развития гидробиоценоза озера Челябинской области подразделяются на олиготрофные и олигомезотрофные, мезотрофные, эвтрофные, гипертрофные и дистрофные — т. е. практически все трофические типы озер мира.

К сожалению, водно-химический и гидробиологический режим многих озер в настоящее время сильно нарушен человеком. По степени разнообразия антропогенного вмешательства в озерные геосистемы Челябинская область тоже своеобразный рекордсмен.

Из озер производится водопотребление для хозяйственно-питьевых и технических нужд, производится орошение и водопой скота, отведение загрязненных сточных вод, засорение твердыми промышленными (ТПО) и твердыми бытовыми отходами (ТБО). Есть водоемы, на которых осуществляется промышленное рыболовство и рыбоводство. Активно развивается рекреационное освоение озер — пляжно-купальный отдых, грязелечение, любительское рыболовство. Есть озера, котловины которых нарушены в результате угледобычи или добычи лечебных грязей. Есть озера, подвергшиеся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ПО «Маяк» 29.09.1957 г. и ветрового выноса радионуклидов с осушенной части озера-хранилища жидких радиоактивных отходов озера Карачай в апреле-мае 1967 г. В результате хозяйственного воздействия многие озера подверглись антропогенной эвтрофикации, в некоторых озерах нарушились естественные параметры водного режима, ухудшилось качество воды и лечебных грязей.

Антропогенное преобразование некоторых озер

Вид природопользования или антропогенного воздействия	Озера	Озера, подвергшиеся качественному техногенному преобразованию. Современное использование затруднено или опасно
Водозабор на хозяйственно-питьевые нужды более 1 млн. м ³ /год [4]	Тургояк, Кысыкуль, Чебаркуль, Киреты, Иртяш, Синара, Увильды, Б. Кисегач	Чебаркуль
Водоотведение бытовых и промышленных стоков	Кызылташ, Силач, Сунгуль, Первое, Второе, Шелюгино, Смолино, Синеглазово, Курочкино, Табанкуль, Акачкуль, Б. Сарыкуль и др.	Кызылташ, Шелюгино, М. Теренкуль, Табанкуль, Акачкуль, Курочкино, Б. Сарыкуль
Переброска вод	Увильды, Тургояк, Б. Сарыкуль, Смолино, Первое, Второе, Синеглазово	Б. Сарыкуль
Преобразование котловины с целью добычи полезных ископаемых	Б. Сарыкуль	Б. Сарыкуль
Добыча лечебных грязей	Б. Боляш, Сабанай, Горькое, Сладкое	
Тепловое загрязнение (1948-1996 гг.)	Кызылташ	
Промышленное рыболовство	Чебаркуль, М. Миассово, Иртяш, Дуванкуль и др.	
Радиоактивное загрязнение	Кызылташ и озера Восточно-Уральского радиоактивного следа (Урускуль, Бердениш, Алабуга, Куяш, Б. Игиш и др.)	Кызылташ, Урускуль, Бердениш, Б. Игиш
Санаторно-курортное лечение и рекреация	Б. Кисегач, М. Теренкуль, Еловое, Чебаркуль, Увильды, Подборное, Тургояк, Смолино, Зюраткуль	М. Теренкуль

Водоснабжение. Данный тип антропогенного вмешательства характерен для озер близ крупных населенных пунктов (г. Челябинск, г. Миасс, г. Чебаркуль, г. Касли, г. Кыштым, г. Карабаш).

Объемы хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения для малых и средних городов достигают 3-5 млн. м³/год из одного водного объекта (в 1980-е гг. до 7-10 млн. м³/год — на озерах Тургояк и Чебаркуль) [3]; объемы технического водоснабжения для г. Челябинск — до 10-15 млн. м³/год (в 1980-е — свыше 20 млн.м³/год) [1]. В настоящее время, после

засушливых 2016-2023 гг., кризисная ситуация возникает с озером Чебаркуль, как источником водоснабжения (табл.)

Водоотведение. Сброс стоков осуществляется, как правило, в небольшие озера или систему озер, связанных проточной связью. В отдельных случаях (система оз. Шелюгино – оз. Второе – р. Миасс) объем сброшенных стоков достигал в иные годы колоссальных значений (около 30 млн. м³/год или 300 % объема озера Шелюгино) [1]. В случае сброса хозяйственно-бытовых стоков в систему озер Табанкуль – М. Теренкуль загрязненными оказались не только озера — приемники сточных вод, но и связанное с ними гидрографической сетью курортное озеро Б. Кисегач, что вызвало перестройку его экосистемы и значительное ухудшение качества воды [3, 4]. Озера в результате сброса стоков загрязняются соединениями азота и фосфора, СПАВ, тяжелыми металлами. Загрязнение биогенными веществами вызывает вспышки «цветения» вод; долговременное загрязнение озер приводит к загрязнению донных отложений, и при возникновении неблагоприятного кислородного режима, к возвращению поллютантов из илов в водную массу (вторичное загрязнение). Критическая ситуация сложилась на озерах Табанкуль, М. Теренкуль, Акачкуль, Курочкино; а на озерах Кызылташ и Б. Сарыкуль — катастрофическая (табл.).

Искусственное регулирование водности. Первая переброска озерных вод для поддержания работы Челябинской ГРЭС была осуществлена в засушливый 1936 г. из озера Тургояк в р. Миасс.

На озерах окрестностей г. Челябинска (Смолино, Первое, Второе, Шелюгино, Синеглазово) начиная с 1950-х гг. и позднее (вплоть до 2008 - 2011 гг.) осуществлялась искусственная переброска вод из переполняемых сточными водами озерных ванн в бассейны рек Миасс и Чумляк. В период с 1989 по 1995 гг. в оз. Чебаркуль перебрасывались воды Камбулатовского пруда.

Наиболее значимой была переброска вод из оз. Увильды для пополнения Аргазинского и Шершневского водохранилищ в засуху 1975-77 гг.; из озера было откачено почти 4 м слоя (около 234 млн. м³), что вызвало резкое падение уровня и переход экосистемы оз. Увильды с олиготрофного на олигомезотрофный тип трофии [3]. Озеро Увильды восстановило уровень воды только к 2007 г.

При разработке угольного пласта близ г. Еманжелинска в 1953 г. было спущено самое обширное по площади озеро Челябинской области оз. Б. Сарыкуль (до вмешательства человека имело площадь 103 км²). Образовалось озеро-урочище — заболоченные земли и масса отдельных плесов и озерков. Волевым решением в 1991 г. местные жители решили вернуть себе озеро и перекрыли водосбросный канал в оз. Дуванкуль. В ре-

зультате уровень воды в озере Дуванкуль был понижен, зимой при нарастании значительной ледовой толщи образовался резкий дефицит растворенного кислорода; весной 1992 г. погибло все рыбное стадо карпа и пеляди. В настоящее время в озере Б. Сарыкуль поступают сточные воды животноводческого комплекса, озеро фактически можно исключить из списка озер.

Радиоактивное загрязнение. В результате аварии на ПО «Маяк» (тепловой взрыв на одном из хранилищ высокоактивных ядерных отходов) произошло выпадение радиоактивных веществ на обширной территории, административно принадлежащей Челябинской, Курганской, Свердловской и Тюменской областям. Общая площадь, загрязненная радионуклидами, составила около 23 тыс. км² (плотность загрязнения > 0,1 Ки/км²); образовался восточно-уральский радиоактивный след (ВУРС); осевая (наиболее загрязненная) часть ВУРСа протянулась от места аварии в северо-восточном направлении примерно на 100 км (площадь около 1000 км², плотность загрязнения > 2 Ки/км²). Около 20 водоемов в северной части Челябинской области получили достаточно значительное радиоактивное загрязнение.

Несмотря на то, что за прошедшие годы уровень радиационного излучения и удельной активности радионуклидов снизился во много раз, ряд озер имеют значительные концентрации радионуклидов. Ресурсы этих озер (вода, донные отложения, биоресурсы) не могут быть использованы в хозяйственной деятельности. Наиболее загрязненные радионуклидами озера Урусккуль, Бердениш, Кызылташ лежат в пределах запретной к посещению зоны; но и некоторые другие водоемы имеют загрязненные выше норм (НРБ-99) воды, например, оз. Б. Игиш, но доступ к ним открыт [2]. В остальных водоемах ВУРСа активность воды по стронцию и цезию в настоящее время ниже нормы (5 Бк/л по ⁹⁰Sr и 11 Бк/л по ¹³⁷Cs), но концентрация радионуклидов в рыбе и донных грунтах существенно превышает предел их хозяйственного потребления (100 Бк/кг) [2].

Рекреационное освоение озер. Наиболее щадящим видом природопользования является рекреация. Но и здесь при превышении норм отмечается деградация прибрежных ландшафтов, загрязнение и засорение водоемов, хищническая добыча лечебных грязей (наряду с бесконтрольным самолечением).

В Челябинской области наиболее популярными для отдыха озерами являются примерно 30 водоемов, имеющие рекреационную инфраструктуру (базы отдыха, санатории), хорошую транспортную доступность и общую высокую аттрактивность (живописность побережья, чистые или целебные воды и т. д.).

В рекреационные озера поступают стоки баз отдыха, побережье покрывается сетью тропинок, дорог; биваки туристов превращаются в захламленные и вытоптанные участки местности с высокой концентрацией кострищ и выпадением из растительных ассоциаций видов растений.

Краткий обзор освоения человеком озер Челябинской области показывает, что за последние 80-90 лет началась эпоха интенсивного использования озерных ресурсов; к настоящему времени наиболее значимые озера уже в той или иной мере изменены хозяйственной деятельностью. Назрела необходимость комплексного мониторинга озерных экосистем и разработки практических рекомендаций для природопользования на акватории и побережье конкретных озер, с учетом уже понесенного ими экологического ущерба.

Библиографические ссылки:

1. Антошенков Ю. П. Геосистемные начала водных экотехнологий. Челябинск, 1995. 169 с.
2. Захаров С. Г., Дерягин В. В., Левина С. Г. Пространственное распределение радионуклидов аварии 1957 г. в компонентах озерных геосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа. // Геоэкология и природопользование / Труды XII съезда Русского географического общества, Т. 4. СПб, 2005. С. 193-197.
3. Захаров С. Г. Озера Челябинской области. Челябинск, «Абрис», 2010. – 128с.
4. Захаров С. Г. Риски неблагоприятных явлений на озерах Южного Урала //Проблемы географии Урала и сопредельных территорий/Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (Челябинск, 19-21 мая 2016) – Челябинск, Край Ра, 2016. С. 45-51.
5. Природа Челябинской области /под ред М. А Андреевой – Челябинск, ЧГПУ, 2001. 270 с.

УДК 551.5+515.9(476)

ПРОЯВЛЕНИЕ ЖАРЫ КАК ОПАСНОГО МЕТЕОЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Д. Л. Иванов¹⁾, А. П. Недобега²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, geoivanov@mail.ru; ²⁾ГУ Белгидромет, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь, nedobegaana@gmail.com

Рассматривается сильная жара, как опасное метеоявление (ОМЯ) на территории Белорусского Полесья, анализируются пространственные и временные особенности ее проявления на территории региона за 36-ти летний период наблюдений (с 1985 по 2021 гг.) на основе анализа данных 15-ти реперных метеостанций региона. Выполнено зонирование территории Белорусского Полесья по особенностям территориального распределения случаев, дней с сильной жарой и средней продолжительности каждого случая жары на территории региона.

Ключевые слова: опасные метеорологические явления (ОМЯ); сильная жара; Полесье; зонирование.

MANIFESTATION OF HEAT AS A DANGEROUS WEATHER EVENT IN THE TERRITORY OF BELARUSIAN POLESIE

D. L. Ivanov¹⁾ A. P. Nedobega²⁾

¹⁾BSU, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, geoivanov@mail.ru; ²⁾SA Belhydromet, Nezavisimosti Av., 110, 220114 Minsk, Belarus, nedobegaana@gmail.com

Extreme heat is considered as a dangerous weather phenomenon (HME) on the territory of Belarusian Polesie, the spatial and temporal features of its manifestation in the region are analyzed over a 36-year observation period (from 1985 to 2021) based on an analysis of data from 15 reference weather stations in the region. Zoning of the territory of Belarusian Polesie was carried out according to the characteristics of the territorial distribution of cases, days with extreme heat and the average duration of each heat case in the region.

Keywords: hazardous meteorological events (HME); extreme heat; Polesie; zoning.

Территория Беларуси, которая находится в умеренном климатическом поясе, испытывает более интенсивный, по сравнению со средне глобальными данными, рост среднегодовых температур [1]. Начиная с 1997 г., все отклонения среднегодовой температуры от климатической нормы (5,9 °С, взятая за интервал 1961-1990 гг.) имеют только положительные значения [2]. Анализ динамики среднегодовых температур воздуха по

стране, свидетельствует о стремительном потеплении климата, проявлением чего является неизбежный рост ОМЯ, в первую очередь ОЯ термического характера и, прежде всего, — жары. Особо пристальное внимание данной проблеме уделяется с 1989 г. (начало активизации современного потепления на территории страны) [3].

Сильная жара в отличие от большинства ОМЯ, имеющих локальный характер, отличается относительной продолжительностью во времени, и распространением в пространстве, охватывая значительную часть территории страны. Хотя на территории Беларуси это явление не фиксируется ежегодно. Жара наносит значительный урон экономике, сельскому хозяйству и здоровью населения страны, негативно сказываясь на разных сферах хозяйственной деятельности, аварийности и ДТП [4, 5,]. Во время жары, растет количество лесных пожаров, падает урожайность сельскохозяйственных культур, происходит загрязнение водных ресурсов.

Белорусское Полесье, занимая южную часть территории Республики Беларусь, является самым теплым регионом страны. Средняя годовая температура Гомельской и Брестской областей составляет 7,8 и 8,0 °С соответственно, что выше на 0,6-0,8 °С средней годовой температуры по стране. Жара на территории Полесья проявляется чаще, чем в других регионах страны, именно поэтому данный регион привлекает внимание при изучении проблемы. Для исследования сильной жары на территории Белорусского Полесья взят период продолжительностью 36 лет (с 1985 по 2021 гг.).

Исходными данными для исследования послужили фондовые материалы максимальных и среднесуточных температур воздуха Белгидрометцентра с 1985 по 2021 гг, а также данные по количеству случаев жары, как ОМЯ по метеостанциям Белорусского Полесья с 1985 по 2021 гг. Данные о максимальных и среднесуточных температур воздуха были взяты с помощью комплекса программного обеспечения «Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции» (CliWare).

Данные о регистрации жары, как ОМЯ получены из обзоров климатических особенностей и опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Беларусь за период 1985-2021 гг. Расчеты производились по 15 метеостанциям региона, которые имеют непрерывный ряд наблюдений за исследуемый период и обладают репрезентативными материалами наблюдений. Из них 6 метеостанций региона являются реперными (Барановичи, Брест, Василевичи, Гомель, Пинск, Мозырь).

На сегодняшний день понятие жары, по сравнению с другими климатическими явлениями, существует в нескольких трактовках, которые широко используются в научных исследованиях, медицинских и санитарно-гигиенических целях в зависимости от цели и задач исследо-

вания. Некоторые из этих трактовок не являются однозначными и при их рассмотрении используются разные методологические подходы и критерии [6].

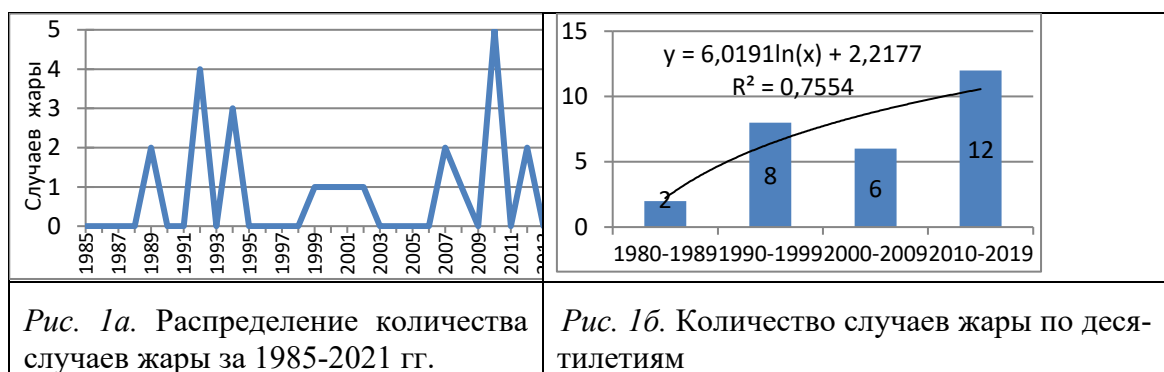
В работе использована трактовка жары, как опасного метеоявления (ОМЯ), которая является наиболее определенной и однозначной и используется метеорологической службой. Руководствуясь нормативными документами Республики Беларусь и (ТКП), жара, как ОМЯ, фиксируется при температуре $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше и характеризуется как очень сильная. Эти же критерии используются МЧС при объявлении «цветового кода» опасности по жаре: оранжевый код опасности объявляется при температуре $+30 - +34\text{ }^{\circ}\text{C}$; красный — при температуре свыше более $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (учитывается с $+34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При анализе данных учитывались все случаи сильной жары, которые наблюдались хотя бы на одной станции. Если сильная жара наблюдалась одновременно на нескольких станциях, и ее проявление было вызвано одним и тем же атмосферным процессом, то она рассматривалась как один случай.

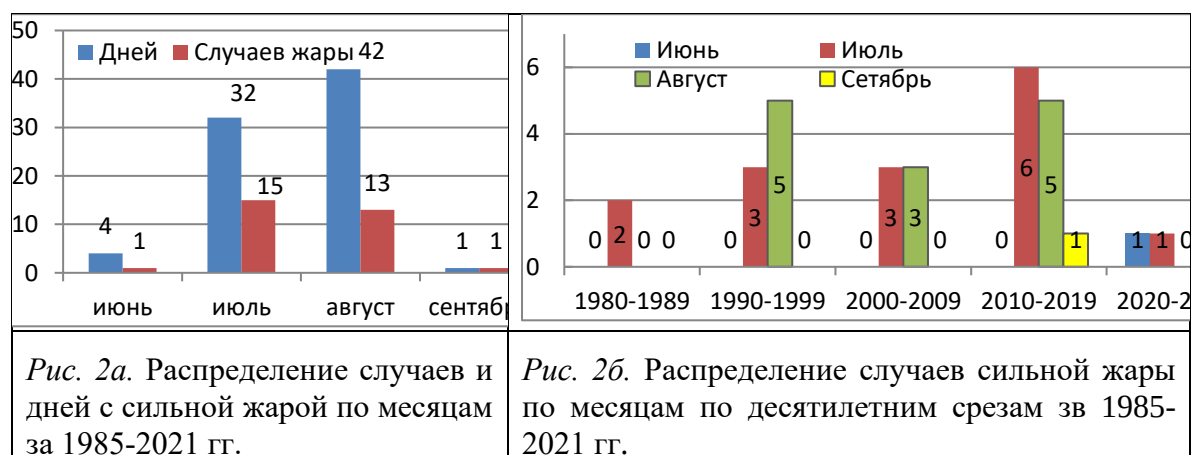
В период с 1985 по 2021 гг. на территории Белорусского Полесья зафиксировано 30 случаев сильной жары. Сильная жара фиксировалась в 15-ти из 36 исследуемых лет. Процент повторяемости за исследуемый отрезок составил 42 %. Наибольшее число случаев было зафиксировано в 2010 г. (5 случаев), 1992 и 2015 гг. (4 и 3 случая) в год. С 1999 по 2002 гг. каждый год фиксировалось по 1 случаю сильной жары. Начиная с 2007 г., сильная жара фиксировалась через 1-2 года (рис. 1а). Вместе с тем, если учесть, что до 2000 г. на территории Беларуси критерием жары, как ОЯ считалась температура воздуха $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$, то количество случаев жары в нынешнем понимании ($+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше) на территории рассматриваемого региона составил всего 27 случаев. С учетом этого, за рассматриваемый отрезок времени жара, как ОМЯ впервые проявилась в 1992 г.

Поскольку количество случаев жары год от года сильно варьирует и проявляется не ежегодно, для более наглядной динамики явления, посчитана повторяемость по 10-летним срезам (рис. 1б), что отчетливо отражает положительную динамику.

В сезонном отношении жара, как ОМЯ проявляется на территории региона только в теплое время года (летне-осенний период), при этом количество случаев по месяцам сильно разниться. Максимум случаев за исследуемый период наблюдается в июле и составляет 16 случаев, в августе число случаев несколько ниже — 13.



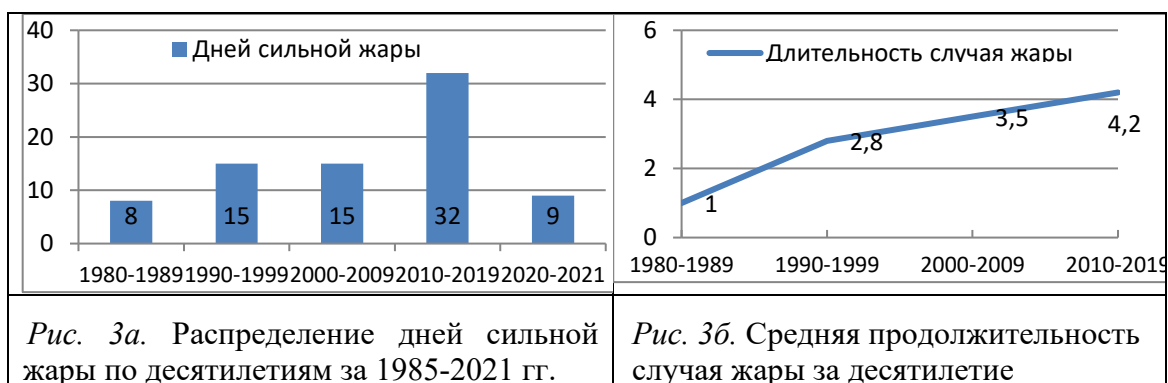
В мае сильная жара ни разу не фиксировалась, а в сентябре — лишь один раз (рис. 2а). Вместе с тем, анализ результатов показывает, что если до 2009 г. жара проявлялась чаще в августе, то начиная с 2010 г. пик проявления постепенно смещается на июль. Кроме того, в течение рассматриваемого отрезка сезонность проявления жары, как ОМЯ постепенно расширяется: начиная с 2015 г. она фиксируется в сентябре, а с 2021 г. — в июне (рис. 2).



Продолжительность сильной жары характеризуется количеством дней с жарой в году и продолжительностью каждого отдельного (разового) случая жары. Из-за того, что один случай сильной жары фиксировался, если был вызван одним атмосферным явлением, то количество дней с сильной жарой существенно превышает количество случаев с сильной жарой (рис. 2а). В период с 1985 по 2021 гг. на территории Белорусского Полесья было зафиксировано 79 дней с сильной жарой, что превышает число случаев почти в 2 раза, и год от года их количество варьирует от 1 (2002, 2019 гг.) до 12, 16 дней (1994, 2010 гг.).

Максимальное количество дней с сильной жарой за рассматриваемый период отмечено в августе (42 дня), на июль приходится 32 дня, а на июнь — 4 дня. В сентябре зафиксирован только один день сильной жары (рис. 2а).

Анализ распределения количества дней с сильной жарой по десятилетиям показывает нарастающую положительную динамику процесса (рис. 3а). Максимальное количество дней сильной жары приходится на последнее десятилетие (2010-2019 гг., 32 случая). Продолжительность каждого отдельного случая жары также колеблется в широких пределах. В большинстве случаев она не превышала 1 дня. В среднем за рассматриваемый отрезок 1 случай сильной жары длился в среднем около 2 дней (1,93 дня). В отдельные годы продолжительность каждого случая жары длилась 5 (1994, 2010 гг.), 6 (2015 г.) и даже 7 дней (1994, 2010, 2015 гг.).



Следует отметить, что средняя продолжительность каждого отдельного случая жары по 10-ти летним срезам (рис. 3б) за рассматриваемый отрезок постоянно возрастает (от 1 до 4,2 дней), что еще раз указывает на прогрессирующий характер явления.

Территориально (от станции к станции) количество дней сильной жары существенно варьирует, увеличиваясь с северо-запада (ст. Барановичи – 22 дня) на восток юго-восток (ст. Житковичи, Гомель, Брагин – 48, 42 и 41 день соответственно), (таблица).

Территориальное распределение количества дней с сильной жарой по регионам

Станция	Брест	Высокое	Пружаны	Ивацевичи	Барановичи	Ганцевичи	Пинск	Полесская	Житковичи	Октябрь	Мозырь	Василевичи	Жлобин	Гомель	Брагин
Дней жары	1	7	0	0	2	5	5	7	8	1	9	9	1	2	1

Анализ территориального распределения случаев сильной жары за рассмотренный период позволяет заключить, что оно также возрастает в направлении с севера северо-запада на юг юго-восток региона с 8 случаев (ст. Барановичи) до 20 случаев (ст. Брагин, Житковичи).

Количество случаев проявления жары позволяет разделить территорию Белорусского Полесья на 3 зоны: северо-западную (8–11 случаев жары), центральную (12–15 случаев) и восточную (16–20 случаев) (рис. 4).



Рис. 4. Зонирование территории Белорусского Полесья по количеству случаев проявления сильной жары

Таким образом, анализ имеющихся данных наблюдений за 36-ти летний период, проведенный в данном научном исследовании, позволяет сделать несколько выводов.

1) На территории Белорусского Полесья жара, как ОМЯ проявляется не каждый год. Всего за исследуемый период в данном регионе зарегистрировано 30 случаев проявления сильной жары, общая продолжительность которых составила 79 дней.

2) За период потепления общее количество случаев и дней жары имеет положительную динамику, увеличиваясь к современности, особенно отчетливо это прослеживается при анализе проявления явления по 10-ти летним срезам, что говорит об усилении частоты и интенсивности этого ОМЯ.

3) Проявление сильной жары в регионе имеет четкую сезонность, чаще проявляясь в июле и в августе но, за период потепления сезонность проявления расширилась: с 2015 г. фиксируется в сентябре, а с 2021 г. — в июне.

4) Территориально (географически) распределение случаев и дней с сильной жарой, а также средней продолжительности каждого случая жары, за рассмотренный период возрастает в направлении и севера-северо-запада на юг-юго-восток региона.

5) Анализ территориального распределения случаев, дней с сильной жарой и средней продолжительности каждого случая на территории региона позволил провести зонирование территории Белорусского Полесья и разделить регион на 3 зоны: северо-западную, центральную и восточную.

Библиографические ссылки

1. *Иванов Д. Л. Ивашко Е. А.* Экстремально высокие темпы роста температуры воздуха как характерная черта и особенность климата территории Беларуси в условиях глобального потепления // Развитие географических исследований в Беларуси в XX-XXI веках. М-лы межд. науч.-практич. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко. Минск: БГУ, 2021. С. 329-332.
2. *Недобега А. П.* Изменение климата на территории Беларуси в контексте глобального потепления / А. П. Недобега, Д. Л. Иванов // XV Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатологическому мониторингу: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием / Под ред. Е. А. Головацкой. Томск, 2023. С. 87-90.
3. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010-2020 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн.: «Минсктипроект», 2004. 180с.
4. *Иванов Д. Л.* Влияние опасных гидрометеорологических явлений на дорожно-транспортную ситуацию на дорогах Минской области / Д. Л. Иванов, Р. В. Парахневич // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания. ICER – 2022: сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест: Изд-во БрГТУ. 2022. Ч. 1. С. 125-135.
5. *Иванов Д. Л.* Дорожно-транспортная ситуация на дорогах Минской области как отражение климатической составляющей / Д. Л. Иванов, Р. В. Парахневич // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Біялогія. Геаграфія. 2022. № 3 (113). С. 23-31.
6. *Иванов Д. Л.* Методологические аспекты неоднозначности трактовки понятия «жара» / Д. Л. Иванов, А. П. Недобега // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. науч. ст. Междунар. научно-практ. конф. «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды»; Брест, 16-17 октября 2023 г. Брест : БрГТУ, 2023. С. 160-173.

УДК 556.5

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНОГО РЕЖИМА ОДНОЙ ИЗ КРУПНЫХ РЕК ПЕРМСКОГО КРАЯ (РОССИЯ)

А. С. Казанцева

*Горный институт УрО РАН, ул. Сибирская, 78А, 614007, Пермь, Россия,
Пермский государственный национальный исследовательский
университет, ул. Букирева, 15, 614990, Пермь, Россия, kazanalena@bk.ru*

Исследованы основные особенности водного режима реки Сылвы — одной из крупных рек Пермского края. За основы взяты данные многолетнего, внутригодового изменения уровня режима реки (2008-2023 гг.) на гидрологическом посту в г. Кунгуре. Проанализированы проявления весенних половодий и паводков на реке, определены сроки их прохождения, средняя продолжительность и подъем уровня воды. Охарактеризованы и сравнены микроклиматические показатели в г. Кунгуре за период 2008-2023 г. и данные 2005 г.

Ключевые слова: река Сылва; водный режим; город Кунгур; половодье.

FEATURES OF THE WATER REGIME OF ONE OF THE LARGE RIVERS OF THE PERM REGION

A. S. Kazantseva

*Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Sibirskaya str,
78A, 614007, Perm, Russia, Perm State University, Bukireva str, 15, 614990, Perm,
Russia, kazanalena@bk.ru*

The main features of the water regime of the Sylva River, one of the large rivers of the Perm region, have been studied. The basis is based on data from long-term, intra-annual changes in the level regime of the river (2008-2023) at a hydrological station in the city of Kungur. The manifestations of spring floods and floods on the river are analyzed, the timing of their passage, the average duration and rise of the water level are determined. Microclimatic indicators in the city of Kungur for the period 2008-2023 and according to 2005 data are characterized and compared.

Keywords: Sylva river; water regime; Kungur city; flood.

Пермский край хорошо обеспечен водными ресурсами. Главную роль в формировании водных ресурсов региона играет речной сток, суммарный годовой объем которого составляет 56 км³.

Большая часть этих вод формируется в пределах края, составляя местные водные ресурсы. Территория Пермского края имеет хорошо развитую речную сеть, относящуюся в основном к бассейну р. Волги. Здесь

протекает около 30 тысяч больших и малых рек, общей протяженностью свыше 95 тыс. км, 49 из которых имеют длину более 100 км [1].

Река Сылва — третья по длине река Пермского края (493 км), после рек Камы (1805 км) и Чусовой (592 км). По гидрологическому районированию (Шкляев, 1961 г.) почти весь бассейн р. Сылвы относится к Нижнесылвинскому округу, который расположен на юге края. Река Сылва начинается на западном склоне Среднего Урала, имеет длину 587 км и впадает в Сылвенско-Чусовской залив Камского водохранилища. Исток реки располагается в Свердловской области на западном склоне Среднего Урала. Она протекает по долине шириной 150-300 м. Коренные берега сложены глинами и карбонатами. Повсеместно встречаются мелководные перекаты, протоки, отмели [1, 2].

Основные и крупные притоки р. Сылвы — реки Ирень, Шакву и Бабку, которые, сливаясь вместе, при дружной многоводной весне вызывают резкий подъем уровней воды, что в отдельные годы приводит к затоплению некоторых районов края, например, с. Усть-Кишерть и отдельных микрорайонов г. Кунгура. Город Кунгур находится в сложных геологических условиях, здесь интенсивно развиты карстовые процессы. В пределах Кунгура обозначены 4 надпойменные террасы. Во время половодья существует угроза подтопления поймы реки и первой террасы, а высокие уровни приводят даже к угрозе наводнения, которые могут сопровождаться эрозионными, оползневыми и провальными явлениями, что может нанести ущерб населению [3]. На территории города за последние полвека зафиксировано четыре крупные половодья: 1979, 1987, 1998 и 2016 гг.

Непосредственно в черте г. Кунгура наблюдения за уровнем воды на р. Сылва в течение года проводятся сотрудниками Кунгурской лабораторией-стационаром «ГИ УрО РАН» и в период прохождения волны весеннего половодья — Управления гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям г. Кунгура. Для этого оборудован речный пост на автомобильном мосту, наблюдения по которому осуществляет местная служба гражданской защиты, и создан свайный гидрологический пост на р. Сылва, замеры уровня воды по которому ведут сотрудники Кунгурской-лаборатории-стационара. Регулярные наблюдения за водным режимом, в частности за динамикой уровня воды на гидрологическом посту, позволяют своевременно оценить и спрогнозировать изменения на р. Сылва, в том числе осуществить прогноз возможных наводнений, что является ценной гидрологической информацией [4].

В водном режиме р. Сылвы выделяются годовые циклы, отражающие внутригодовое изменение климатических элементов и неравномерность поступления воды в течение года, а также изменения от года к году, обусловленные многолетними колебаниями стока. Для р. Сылвы характерны

предпаводковая межень, начало весеннего половодья, пик половодья, спад половодья, послепаводковая межень, паводки, приходящиеся на различные отрезки года. Данные изменения уровня воды на р. Сылва с 2008 по 2023 гг., позволили проследить фазы водного режима и установить их временные периоды (рис. 1).

В настоящее время предпаводковая межень длится с начала по вторую декаду марта, в это время наблюдаются низкие уровенные отметки. Перед началом весеннего половодья обычно происходит кратковременное снижение уровня до минимальных отметок, когда русло реки очищается ото льда [5].

Начиная с конца марта-начала апреля, происходит повышение среднесуточной температуры воздуха, что приводит к таянию снега и повышению уровня речной воды, это начало весеннего половодья. Интенсивный подъем уровня р. Сылвы отмечается в среднем в третьей декаде апреля, реже — во второй декаде апреля и начале мая. Наиболее ранняя дата начала весеннего половодья в период 2008-2023 гг. зафиксирована 3 апреля 2023 г., наиболее поздняя — 30 апреля 2009 г. и 2018 г. В случае ранней весны начало половодья может наступить в конце марта, как это было на территории г. Кунгура в 1961, 1978, 1981, 1983, 1984 и 1988 гг. [5, 6].

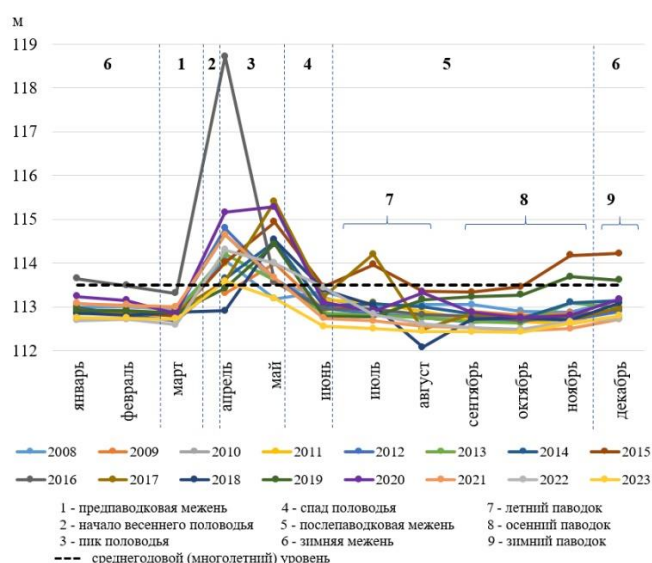


Рис. 1. Основные фазы водного режима р. Сылва (г. Кунгур, Пермский край)

Пик половодья в половине случаев приходится на третью декаду апреля, реже — первую десятидневку мая, что связано с разным температурным режимом. В зависимости от изменения погоды (похолодание-потепление) в период снеготаяния, весеннее половодье может иметь одну или несколько волн повышения уровня воды. По данным за 1934-1997 гг. [5] пики весенних половодий наступали в промежутке с 3 апреля (1961 г.) до

21 мая (1940 г.). По нашим исследованиям наиболее ранняя дата прохождения максимального расхода весеннего половодья — 8 апреля (2023 г.), наиболее поздняя — 4 мая (2009 г.). При постоянном повышении температуры в весеннее время, интенсивном снеготаянии, достаточном запасе воды к началу периода половодья и дополнительном увлажнении за счет выпадающих осадков, наблюдаются высокие однопиковые половодья. При кратковременных похолоданиях в период снеготаяния формируется многопиковое половодье (2-3 пика), растянутое во времени, что характерно для всех исследуемых лет. Отличительным был 2016 г., когда уровень воды р. Сылвы поднялся на 6,3 м выше меженного (119,7 м; высота гребня дамб в городе 120 м, у гидрологического поста 121,1 м), что привело к подтоплению части города. В 2016 г. на территории г. Кунгура создались определенные условия, которые схожи с таковыми при формировании однопиковых половодий [7]. Количество выпавших осадков осенью привели к формированию высокого уровня на р. Сылве в период зимней межени, а колебания температурного режима в апреле привели к быстрому снеготаянию и увеличению расхода воды. Однопиковые паводки 1979, 1981 и 1987 гг. характеризовались величиной подъема уровня до 7 м и более, двух- и трехпиковые (1935-1984 гг. — 3,5-5,5 м [5]. В среднем высокие подъемы на реке проявляются каждые 2-4 года (рис. 2). В настоящее время подъем уровня воды на р. Сылва составляет 1,5-5,3 м, продолжительность весеннего половодья 13-35 дней.

Во время весеннего половодья река получает наибольшее количество воды. В общем объеме за год на долю снегового и дождевого питания приходится до 85 %, доля подземного питания может составлять 15 % [2, 8].

После окончания весеннего половодья в первой декаде мая, реже во второй и третьей, уровень воды на р. Сылва начинает постепенно падать. Спад уровня воды происходит значительно медленнее и может длиться около месяца. В начале июня устанавливается послепаводковая межень, которая может осложняться летними и осенними паводками, в зависимости от погодных условий. Обычно послепаводковая межень продолжается до конца ноября, когда сохраняется устойчивый низкий уровень.

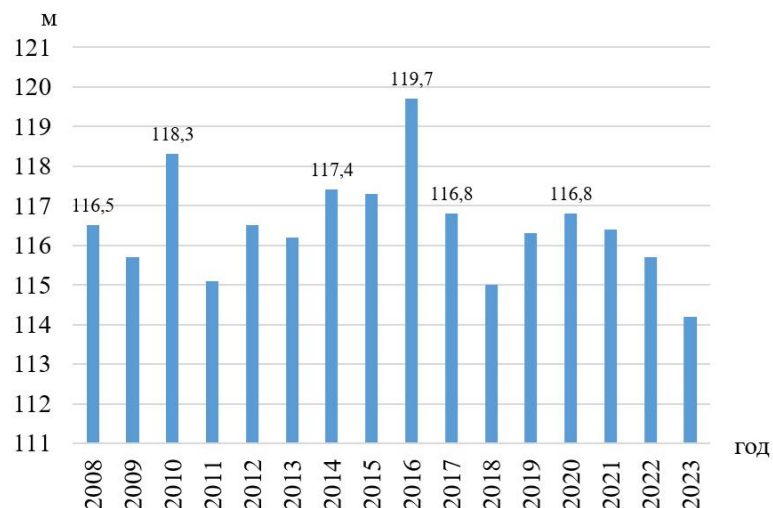


Рис. 2. Максимальные подъемы уровня воды на р. Сылва во время весеннего половодья

Летние и осенние дожди вызывают невысокие паводки, сопровождающиеся явлениями, аналогичными весеннему половодью, но отличающиеся меньшим подъемом уровня воды. Так было в 1980, 1983, 1984, 1986, 1990-1994 гг. [6]. Сроки прохождения паводков зависит от количества и времени выпадения осадков. На исследуемой территории за 2008-2023 гг. выявлено 10 событий подъема уровня воды р. Сылвы в летний период, средней продолжительностью 12 дней и средним подъемом 0,9 м (таблица). Обычно подъем уровня воды характеризуется небольшой величиной — 0,3-0,9 м, реже отмечаются подъемы 1-3 м (2015, 2018, 2018, 2020 и 2022 гг.). Из-за частых дождей на реке в летнее время возможно формирование серии паводков (2015 и 2018 гг.).

Проявление паводков на р. Сылва (Пермский край, Россия)

	Максимальный подъем уровня воды, м	Минимальный подъем уровня воды, м	Продолжительность, сут	Годы проявления
Летний паводок	0,3	2,8	5-21	2010-2012, 2014-2015, 2017-2020, 2022
Осенний паводок	0,3	1,8	3-23	2013-2015, 2018-2020, 2022
Зимний паводок	0,3	0,6	4-30	2008, 2010, 2015-2018, 2020-2021

Осенние паводки чаще всего наблюдаются в сентябре и ноябре, со средней продолжительностью 10 дней и подъемом уровня воды на 0,7 м. Во время потепления и обильных осадков в декабре отмечены продолжительные паводки (15 дней) с небольшим подъемом (0,4 м), которые после сменяются устойчивой зимней меженью (до 110 дней). В среднем паводки на р. Сылва повторяются 1-2 раза в год.

По данным 2005 г. [9] средний многолетний уровень р. Сылвы составляет 113,22 м, а среднемесячные уровни колеблются от 114,3 м (май) до 112,9 (февраль). По данным 2024 г. средний многолетний уровень р. Сылвы 113,5 м, среднемесячные уровни изменяются от 114,3 м (апрель) до 112,8 м (октябрь) (рис. 3). Среднемесячные отметки уровня воды незначительно отличаются от данных, собранных в 2005 г., но прослеживается смещение пика весеннего половодья с мая на апрель и более низкие отметки в осенний период.

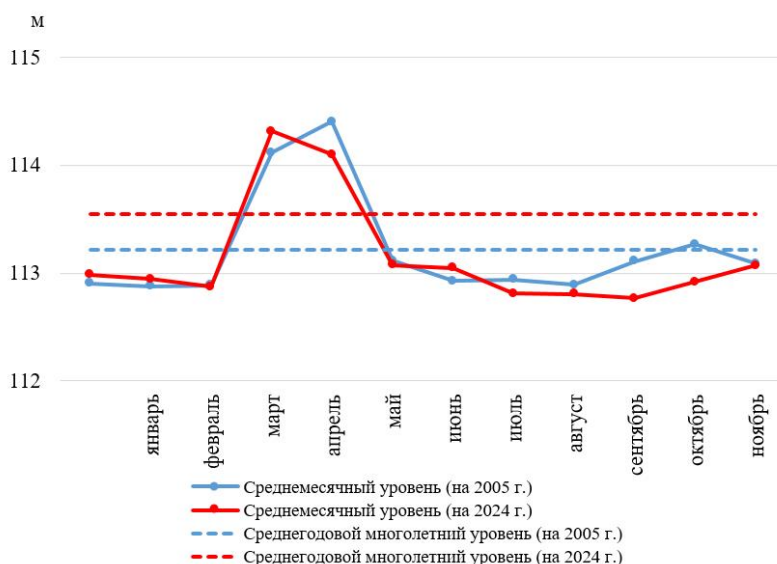


Рис. 3. Среднемесячные и среднегодовые уровни воды р. Сылвы

Сравнительный анализ микроклиматических данных в г. Кунгуре показал, что в настоящее время наблюдается увеличение среднегодовой и среднемесячной температуры воздуха (рис. 4.).

Так по данным 2005 гг. многолетняя среднегодовая температура была 1,6 °С, по данным 2023 г. за период 2008-2023 гг. она возросла на 2 °С и составляет 3,6 °С, что и обуславливает смещение периодов подъема и изменившийся среднегодовой уровень воды. В то же время, в среднем уменьшилось количество выпадающих осадков по месяцам и сместились периоды с максимальным выпадением осадков.

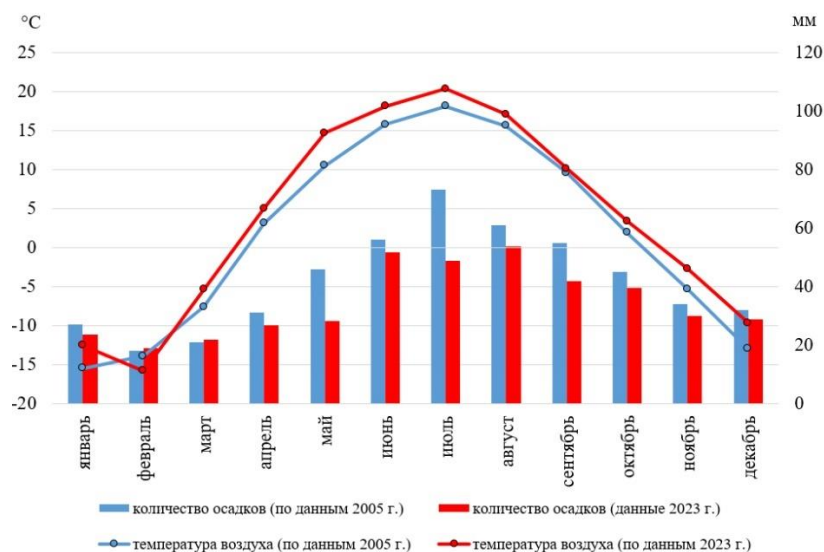


Рис. 4. Микроклиматические данные в г. Кунгуре

Библиографические ссылки

1. Комлев А. М. Реки Пермского края: монография. Пермь: Перм. гос. ун-т. ООО «Алекс-Пресс», 2011. 144 с.
2. Назаров Н. Н., Черепанова Е. С. Пойменно-руслловые комплексы Пермского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2012. 58 с.
3. Ежов Ю. А., Дорофеев Е. П., Лукин В. С. Наводнения в районе города Кунгура (их причины, динамика, прогнозирование и меры борьбы с ними). Препринт Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
4. Казанцева А. С., Красиков А. В. Гидрологические наблюдения на р. Сылта (г. Кунгур) Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (г. Пермь, 25-28 мая 2023 г.) / науч. ред. А. Б. Китаев, О. В. Ларченко, В. Г. Калинин; Пермский государственный национальный исследовательский университет Пермь, 2023. Т.1. С. 86-91.
5. Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В. Наводнения в бассейне Камы и мероприятия инженерной защиты по предотвращению их негативных последствий на при мере города Кунгур. Водное хозяйство России. №3, 2010. С. 29–41.
6. Горбунова К. А., Блинов С. М., Максимович Н. Г., Дорофеев Е. П. Факторы формирования режима подземных вод района Кунгурской пещеры// Вестник Перм.ун-та. Пермь.1997. Вып.4. Геология. С. 148-162.
7. Казанцева А. С., Красиков А. В., Осетрова О. И. Сопоставление и анализ факторов, обеспечивших высокий паводок в 2016 году в городе Кунгур // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. юбилейной конф., посвящ. 100-летию Перм. ун-та 85-летию геол. ф-та. Пермь, 2016. С. 149–152.
8. Катаев В. Н., Кадебская О. И. Геология и карст города Кунгура: монография. Пермь, 2010. 236 с.
9. Дублянский В. Н. и др. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 376 с.

УДК 504.3+504.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ ОСТРОВОВ ЗАЛИВА МАРГЕРИТ, АНТАРКТИЧЕСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик

*Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь, sk001@yandex.ru*

Охарактеризовано содержание макро- и микроэлементов и их вариабельность в пробах свежеснежного и старого снега, а также в водах озер и ручьев островов Дисмал и Хорсшу, Антарктический полуостров, Западная Антарктида, отобранных в ходе 4-й Турецкой антарктической экспедиции. Проанализированы основные факторы пространственной неоднородности основных показателей. По результатам расчета коэффициентов обогащения показано возможное антропогенное воздействие, связанное с дальним переносом воздушных масс.

Ключевые слова: Антарктида; Антарктический полуостров; снежный покров озера; гидрохимический состав.

STUDY OF HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE SNOW AND FRESH WATER BODIES OF THE MARGUERITE BAY ISLANDS, ANTARCTIC PENINSULA

S. Kakareka, T. Kukharchyk

*Institute for Nature Management of the NAS of Belarus,
Minsk, Belarus, sk001@yandex.ru*

The content of macro- and trace elements and their variability in samples of freshly fallen and old snow, as well as in the waters of lakes and streams of Dismal and Horseshoe Islands of the Antarctic Peninsula, West Antarctica, collected during the 4th Turkish Antarctic Expedition, are characterized. The main factors of spatial heterogeneity of the main indicators are analyzed. Based on the results of calculating the enrichment factors, a possible anthropogenic impact associated with the long-distance transfer of air masses is shown.

Keywords: Antarctica; Antarctic peninsula; snow; fresh water lakes; hydrochemical composition.

Изучение химического состава поверхностного снега и пресных водоемов Антарктиды остается чрезвычайно важным для экологической оценки уникальных полярных экосистем, моделирования различных процессов, связанных с изменением климата и антропогенным воздействием, а также для реконструкции палеогеографических обстановок прошлого [1].

В настоящее время имеется много данных, подтверждающих высокую вариабельность содержания основных и микроэлементов в снеге [2–4], в антарктических озерах и временных водоемах [5–7]. Взаимосвязь между химией снежного покрова, атмосферными осадками и озерами, а также интенсивностью геохимических процессов представляют особый интерес для различных регионов Антарктиды.

Антарктический полуостров и острова морской Антарктиды относятся к наиболее изученным районам; это можно объяснить их близостью к Южной Америке, доступностью для посещения, а также большим количеством научных станций [6, 8–11]. Однако, что касается островов Хорсшу и Дисмал в заливе Маргерит, то химический состав снега и озер здесь практически не изучался. Опубликованные данные касаются палеоэкологической истории и процессов дегляциации на острове Хорсшу [12, 13].

В целом, несмотря на длительный период исследований, до сих пор существуют проблемы сравнения химического состава воды и снега даже в локальном масштабе из-за различий в методологии отбора проб, химического анализа и ряда определяемых элементов, а также сезонов исследований и других факторов.

Целью настоящей работы было изучение химического состава снега и поверхностных вод островов залива Маргерит, Земля Грейама, Антарктический полуостров, и выявление факторов, определяющих изменчивость содержания макро- и микроэлементов. Параллельно проводился отбор проб свежевыпавшего и старого снега, а также вод озер и ручьев — такой подход считается эффективным для анализа факторов формирования химического состава природных вод в Антарктике.

Исследования проводились в составе 4-й Турецкой антарктической экспедиции (ТАЭ) в феврале-марте 2020 г. на островах Хорсшу и Дисмал в заливе Маргерит.

Общая площадь острова Хорсшу составляет 60 км², а ледники и снежники покрывают 66 % территории острова. Остров Дисмал — самый крупный из архипелага Форс — его длина 1,3 км, ширина 0,5 км и высота 60 метров, в основном он покрыт льдом. Расположен примерно в 70 км к юго-западу от Антарктического полуострова.

В настоящее время на островах нет постоянных научных станций. В 1955–1960 гг. Британская антарктическая служба управляла исследовательской станцией «У» на северном побережье острова Хорсшу.

Растительность на обоих островах представлена преимущественно лишайниковыми сообществами, изредка моховыми. По берегам островов расположены лежбища тюленей-крабоедов, южных морских котиков и небольшие колонии пингвинов.

Всего на островах отобрано 22 пробы снега и 17 проб поверхностной воды из озер, временных водоемов и ручьев. Пробы были доставлены в Минск и проанализированы на содержание макро- и микроэлементов; в некоторых пробах анализировалось также содержание стабильных изотопов.

Химико-аналитические исследования проводились с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500cx ICP-MS. Все измерения выполнены в лаборатории физико-химических методов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси. Определялись концентрации Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V и Zn.

Установлено, что основные и большинство микроэлементов обнаруживаются в 100 % проб снега и поверхностных вод на обоих островах. Однако некоторые элементы обнаружены не во всех образцах. Так, Pb в свежевыпавшем снеге на острове Хорсшу обнаружен в 31 % проб, а в старых пробах снега — в 22 %. Содержание Pb в пробах поверхностных вод ниже предела обнаружения, Cr и Sb обнаружены в 79 % проб, Cu — в 57 %, Ni — в 21 % проб.

В результате исследований выявлено, что изменчивость и средние концентрации основных и микроэлементов в свежевыпавшем снеге значительно выше, чем в старом [14]. Так, в пробах старого снега зафиксированы самые низкие средние концентрации Na, Mg, K, Ca, Fe, Cr, Se, Ba, As и Tl. Их изменчивость и средние концентрации значительно выше в свежевыпавшем снеге. По сравнению со старым снегом, более высокие концентрации основных и большинства микроэлементов (Fe, Zn, Cr, Se, Ba, Co, As, Cd и Sb) характерны для свежевыпавшего снега.

Наиболее высокие средние концентрации Na, Mg, K, Ca, Fe, Se, As и Tl, а также Co, Ba и V характерны для поверхностных вод, главным образом для ручьев. Среднее содержание Fe примерно одинаково в разных типах проб снега, хотя для свежевыпавшего снега разброс значений выше. Во всех типах проб самые высокие концентрации характерны для Na, что подтверждает участие морских аэрозолей в качестве основного источника его поступления.

В целом результаты исследований существенно дополняют представления о содержании макро- и микроэлементов в снеговых и поверхностных водах островов Антарктического полуострова. Помимо разнообразия природных факторов, влияющих на химический состав снега и пресных вод, показано возможное антропогенное воздействие, связанное с трансграничным переносом воздушных масс. Повышенные коэффициенты обогащения установлены для ряда технофильных элементов (As, Zn, Cd, Sb, Mo, Ag, Se).

Полученные результаты будут полезны для оценки фоновых характеристик природной среды при проведении оценки воздействия на окружающую среду в связи с планируемым строительством антарктической станции на острове Хорсшу.

Библиографические ссылки

1. *Bargagli R.* Trace metals in Antarctica related to climate change and increasing human impact// *Rev Environ Contam Toxicol.* 2000, 166. P.129-73.
2. Sea-salt aerosol in coastal Antarctic regions/Wagenbach D. et al. // *Journal of Geophysical Research.* 1998, 103 (D9). P. 10,961-10,974
3. Transport and deposition of heavy metals in the Ross Sea Region, Antarctica/ Tuohy A. et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2015, 120. P. 10,996-11,011, doi:10.1002/2015JD023293
4. *Kakareka S., Kukharchyk T., Kurman P.* Study of trace elements in the surface snow for impact monitoring in Vecherny Oasis, East Antarctica// *Environ Monit Assess.* 2020, P. 192: 725 <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08682-8>
5. *Gasparon M., Burgess J. S.* Human impact in Antarctica: trace element geochemistry of freshwater lakes in the Larsemman Hills, East Antarctica// *Int. J. of Geosciences Environmental Geology.* 2000. 39(9). – P. 963-976 <https://doi.org/10.1007/s002549900010>.
6. *Ńdzarek A., Tórz A., Podlasińska J.* Ionic composition of terrestrial surface waters in Maritime Antarctic and the processes involved in formation// *Antarctic Science.* 2015, 27(2). P. 150-161 DOI: 10.1017/S0954102014000522
7. Dynamics of inorganic components in lake waters from Terra Nova Bay, Antarctica/ Conca et al. // *Chemosphere.* 2017, 183. P. 454-470. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.104>
8. Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in maritime Antarctica /Toro M. et al. // *Polar Biol.* 2007, 30. P. 635-649 DOI 10.1007/s00300-006-0223-5
9. Geochemistry of streams from Byers Peninsula, Livingston Island/ Lyons W. B. et al. // *Antarctic Sci.* 2013, 25. P. 181-190. doi: 10.1017/S0954102012000776
10. *Préndez M., Carrasco M. A.* Elemental composition of surface waters in the Antarctic Peninsula and interactions with the environment // *Environmental Geochemistry and Health.* 2003. DOI: 10.1023/A:1024559809076
11. Freshwater lakes of Ulu Peninsula, James Ross island, north-east Antarctic Peninsula: origin, geomorphology and physical and chemical limnology/ Nedbalova L. et al. // *Antarct. Sci.* 2013, 25 (3). P. 358-372. <https://doi.org/10.1017/S0954102012000934>.
12. *Zale R.* Lake sediments around the Antarctic peninsula - archives of climatic and environmental changes. GERUM. Department of Physical Geography. 1993. Sweden. 104 pp.
13. Late Quaternary environmental changes in Marguerite Bay, Antarctic Peninsula, inferred from lake sediments and raised beaches/ Hodgson D. A. et al. *Quaternary Science Reviews.* 2013, 68. – P. 216-236. doi: 10.1016/j.quascirev.2013.02.002
14. *Kakareka S., Kukharchyk T., Kurman P.* Trace and major elements in surface snow and fresh water bodies of the Marguerite Bay Islands, Antarctic Peninsula// *Polar Science.* 2022, 32 <https://doi.org/10.1016/j.polar.2022.100792>.

УДК 556.124.001.572

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЦЕССА СНЕГОТАЯНИЯ НА ВОДОСБОРЕ р. ВИШЕРЫ В 2020 г.

В. Г. Калинин, А. А. Шайдулина, А. С. Скороход

*Пермский государственный национальный исследовательский
университет, ул. Букирева, 15, 614068, г. Пермь, Российская Федерация,
vgkalinin@gmail.com, adelinash89@mail.ru, anastasiaskoroxod15@gmail.com*

Выполнено геоинформационное моделирование весеннего снеготаяния на г/п Вишера-Рябинино за 2020 г., когда наблюдались аномальные метеорологические условия на северных водосборах рек Пермского края. Неустойчивый характер погоды, возвраты холодов и влияние высотной поясности способствовали тому, что большие запасы снега (на 13 % выше среднегодовых значений) сохранились здесь до середины мая. А интенсивное потепление в конце первой декады мая привело к быстрому стаиванию оставшегося снежного покрова.

Ключевые слова: река; речной водосбор; ГИС-технологии; моделирование стаивания снежного покрова.

FEATURES OF THE SNOW MELTING PROCESS IN THE VISHERA RIVER CATCHMENT AREA IN 2020

V. G. Kalinin, A. A. Shaydulina, A. S. Skoroxod

*Perm State University, Bukireva st., 15, 614068, Perm, Russian Federation,
vgkalinin@gmail.com, adelinash89@mail.ru, anastasiaskoroxod15@gmail.com*

A geoinformation modeling of spring snowmelt at the Vishera-Ryabinino gauge station was carried out for 2020, when anomalous meteorological conditions were observed in the northern catchment areas of the rivers of the Perm Region. The unstable weather and return of cold weather contributed to the fact that large reserves of snow (13% above the long-term average values) remained here until mid-May. Intense warming at the end of the first ten days of May led to the rapid melting of the remaining snow cover.

Keywords: river; catchment area; GIS technologies; snow melting modeling.

Расчеты снеготаяния являются важным этапом для оценки объема и продолжительности весеннего половодья на реках водосбора Камского водохранилища, которые имеют преимущественно снеговое питание (доля талого стока составляет 55-70 % годового).

Подходы к расчетам снеготаяния разрабатывались еще с середины прошлого века [2, 3, 7-9] и основаны на методах водного и теплового баланса, а также их различных модификациях, в том числе с применением ГИС-технологий [1, 11, 13]. Модули расчета талых вод являются частью многих моделей формирования речного стока [10].

Для расчета снеготаяния в настоящей работе использована разработанная геоинформационная модель [4, 5, 12], в основе которой лежит метод температурных коэффициентов В. Д. Комарова [7], адаптированный Н. Д. Лебедевой [9] для условий Камского бассейна и усовершенствованный с применением ГИС-технологий.

Расчеты выполнены для водосбора г/п Вишера-Рябинино за 2020 г. Исследуемый водосбор расположен на северо-востоке территории бассейна Камского водохранилища, приуроченной к западному склону Уральских гор, а сама река является левым притоком р. Камы (рис. 1).

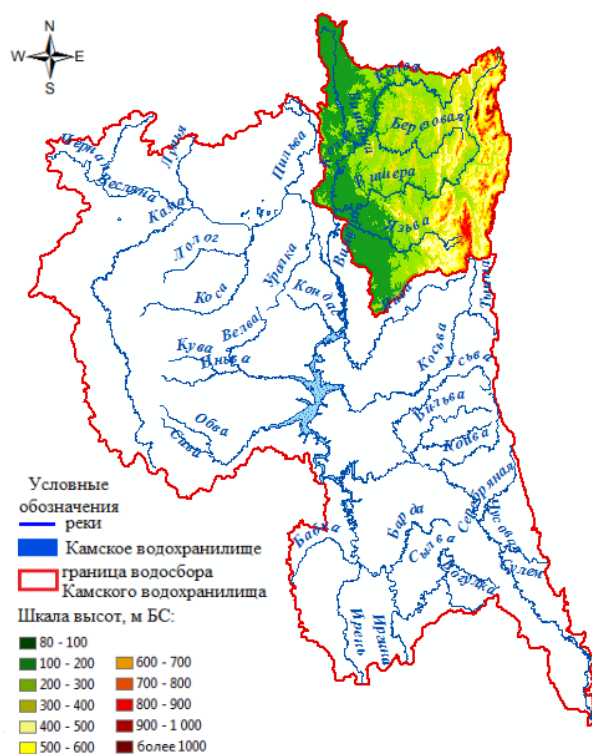


Рис. 1. Водосбор г/п Вишера-Рябинино на территории бассейна Камского водохранилища

В 2020 г. отмечены аномальные условия снеготаяния на водосборах северных рек Пермского края, что привело к формированию высокого весеннего половодья с перекрытием исторических максимумов уровня воды. Снеготаяние на водосборе р. Вишеры в 2020 г. началось в середине

апреля, и продолжалось более 1,5 месяцев. Максимальный снеготаяние превышал среднесуточные значения на 13 %. Таяние снежного покрова в поле началось 14 апреля, в лесу — 1 мая.

На рисунке 2а показано фактическое изменение температуры воздуха и атмосферных осадков по данным метеостанции (МС) Чердынь, а также расходов воды и слоев стаявшего снега на водосборе г/п Вишера-Рябинино. С середины второй декады апреля до середины первой декады мая среднесуточная температура воздуха составляла 2,2 °С, изменяясь от -3,2 °С до 5,8 °С, при этом слои стаявшего снега не превышали 5,2 мм/сут.

Анализ интегральных кривых суточного нарастания исследуемых характеристик (рис. 2б) показал, что рост расходов воды в начале снеготаяния в большей степени связан с выпадением осадков при слабой (1,2 мм/сут) интенсивности таяния снега. С 4 мая среднесуточная температура воздуха начала резко повышаться, достигнув к 6 мая значений 18,6 °С, что привело к резкому стаиванию снежного покрова в горной северо-западной части водосбора. Интенсивность снеготаяния с 4 по 14 мая составила в среднем 25,7 мм/сут, а интенсивность нарастания расходов воды — 482 м³/с в сут (рис. 2).

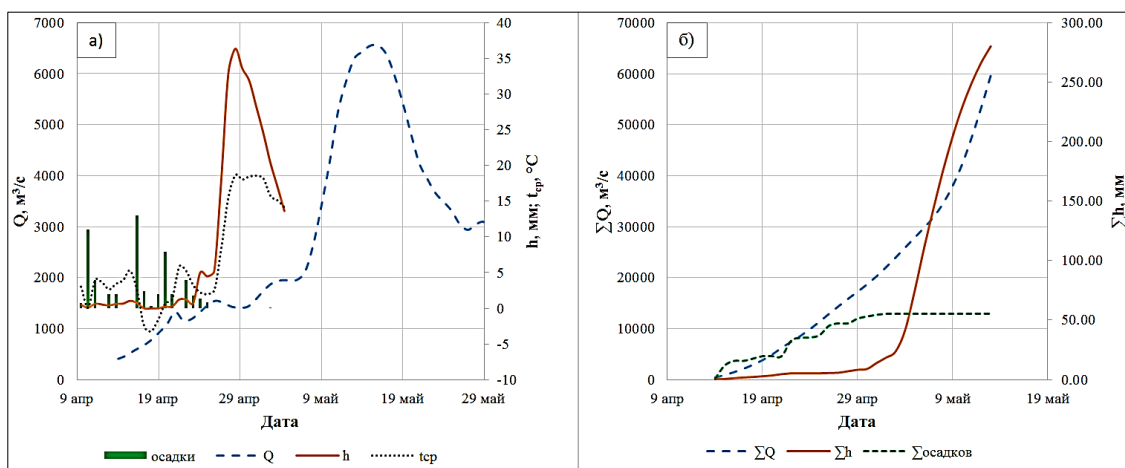


Рис. 2. Ежедневные а) и накопленные б) атмосферные осадки, положительные температуры воздуха (МС Чердынь), слои стаявшего снега и расходы воды для водосбора г/п Вишера-Рябинино за 2020 г.

На рис. 3 показаны пространственно-временные изменения снеготаяния на водосборе г/п Вишера-Рябинино весной 2020 г. Наиболее высокие значения снеготаяния (более 1000 мм) отмечены в горной части водосбора.

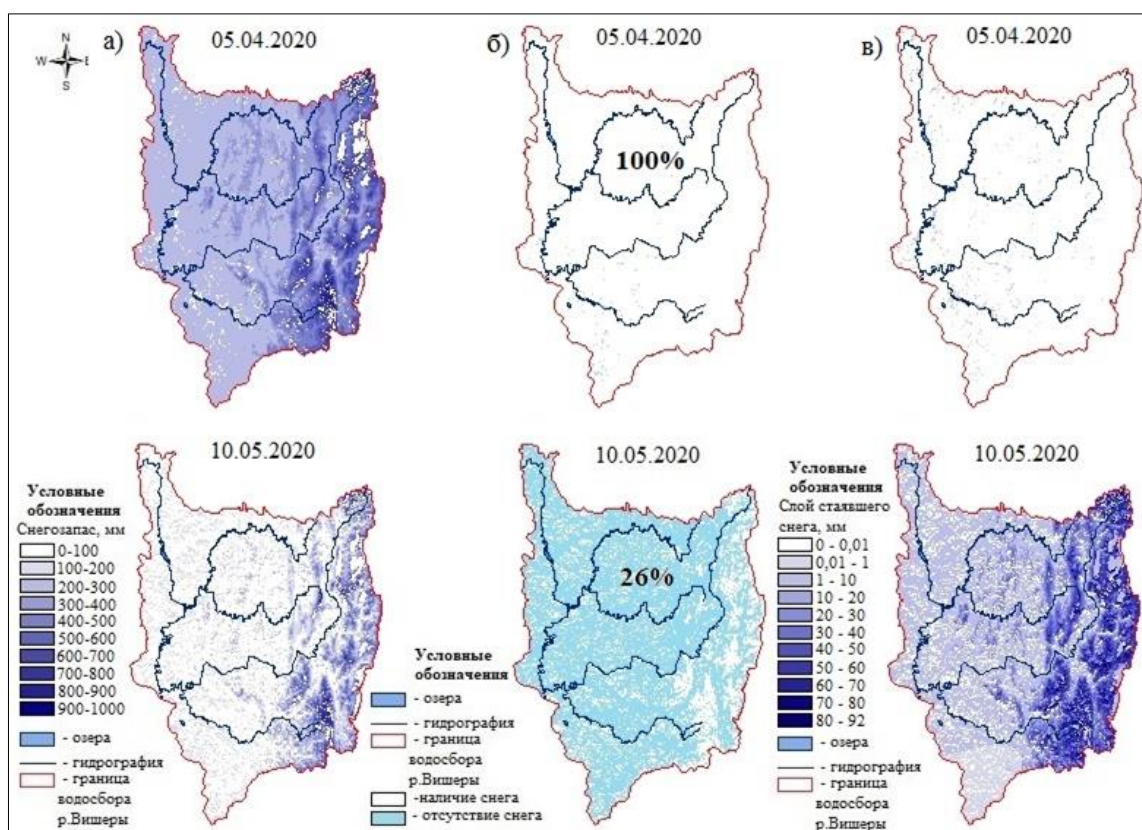


Рис. 3. Пространственно-временная динамика снеготаяния на водосборе г/п Вишера-Рябинино за 2020 г. (а – снегозапас, мм; б – распределение снежного покрова, % площади; в – слой стаявшего снега, мм/сут)

В начале снеготаяния (рис. 3а) снег покрывал всю территорию водосбора, к 15 апреля площадь снежного покрова уменьшилась на 2 %, к 25 — еще на 4 %, а уже к 10 мая снег наблюдался лишь в северной горной части водосбора (рис. 3). Неустойчивый характер погоды, возвраты холодов и влияние высотной поясности способствовали тому, что большие запасы снега сохранились здесь до середины мая.

Таким образом, интенсивное потепление в конце первой декады мая привело к быстрому стаиванию оставшегося снежного покрова и формированию исторических максимумов весеннего половодья на реках водосбора г/п Вишера-Рябинино.

Библиографические ссылки

1. Бураков Д. А., Иванова О. И. Анализ формирования и прогноз стока весеннего половодья в лесных и лесостепных бассейнах рек Сибири // Метеорология и гидрология. 2010. № 6. С. 87-100.
2. Галахов В. П. Условия формирования и расчет максимальных снегозапасов в горах: (По результатам исслед. на Алтае). Новосибирск: Наука, 2003. 104 с.

3. Делеур М. С. Космические методы изучения снежного покрова Земли. Л., Гидрометеиздат. 1980. 78 с.
4. Калинин В. Г., Суманеева К. И., Русаков В. С. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 74-85.
5. Калинин В. Г., Шайдулина А. А., Русаков В. С., Фасахов М. А. Математико-геоинформационное моделирование процесса снеготаяния на речных водосборах Прикамья // Лед и снег. 2022. 62 (1). С. 63-74. DOI:<https://doi.org/10.31857/S2076673422010116>.
6. Кашутина Е. А., Ясинский С. В., Коронкевич Н. И. Весенний поверхностный склоновый сток на Русской равнине в годы различной водности // Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 1. С. 37-46.
7. Комаров В.Д. О процессах формирования половодья на малой реке и предвычисления его гидрографа // Тр. ЦИП. Вып. 6 (33). 1947. С. 3-41.
8. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 180 с.
9. Лебедева Н.Д. Расчет снеготаяния и метод краткосрочного прогноза даты наступления максимального уровня половодья на р. Каме // Тр. ЦИП. Вып. 94. М.: Гидрометеиздат, 1959. С. 15-33.
10. Мотовилов Ю. Г., Гельфан А. Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: изд. РАН, 2018. 300 с.
11. Пьянков С. В., Шихов А. Н., Михайлюкова П. Г. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды. Лед и Снег. 2019. 59(4). С. 494-508.
12. Шайдулина А. А., Калинин В. Г., Фасахов М. А. Пространственно-временные закономерности снеготаяния на речных водосборах Верхней Камы // Географический вестник. 2022. 60 (1): С. 100-112. DOI: <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-1-100-112>.
13. Шихов А. Н., Чурюлин Е. В., Абдуллин Р. К. Оценка достоверности расчета запасов воды в снежном покрове с применением данных глобальных моделей прогноза погоды и модели снежного покрова SnoWE (на примере бассейна р. Камы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. 66(1). doi: 10.21638/spbu07.2021.110.

УДК 537.67: 57.045

ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ВО ВРЕМЯ РАЗВИТИЯ ИОНОСФЕРНЫХ БУРЬ

Н. А. Касушкин¹⁾, А. Ю. Кошин¹⁾, Т. В. Шлендер^{1,2)}

¹⁾Факультет географии и геоинформатики БГУ, geo.kasushki@bsu.by

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, г. Минск, Республика Беларусь,

В процессе работы были собраны и проанализированы данные пространственного распределения параметров ионосферы, общего содержания озона, динамической тропопаузы, приземного давления для выбранных временных промежутков, соответствующих сильным магнитным бурям (37 случаев). Проведен анализ вариаций вышеуказанных параметров до, в течение и после магнитных бурь для Северного полушария. Проанализированы вариации вертикальных распределений концентраций малых газовых составляющих в период солнечной протонной вспышки в ноябре 2008 г.

Ключевые слова: Ионосфера; ионосферные бури; стратосферный озон; солнечно-земные связи

VARIATIONS IN ATMOSPHERIC PARAMETERS OF THE MIDDLE AND LOWER ATMOSPHERE OF THE NORTHERN HEMISPHERE DURING THE DEVELOPMENT OF IONOSPHERIC STORMS

N. A. Kasushkin, A. Yu. Koshin, T. V. Shlender

¹⁾Faculty of Geography and Geoinformatics BSU,

²⁾National Research Center for Ozonosphere Monitoring BSU, Minsk, Republic of Belarus, geo.kasushki@bsu.by

During the work, data on the spatial distribution of ionospheric parameters, total ozone content, dynamic tropopause, and surface pressure were collected and analyzed for selected time intervals corresponding to strong magnetic storms (37 cases). An analysis of variations in the above parameters before, during and after magnetic storms for the Northern Hemisphere was carried out. Variations in the vertical distributions of concentrations of trace gas components during the solar proton flare in November 2008 are analyzed.

Keywords: Ionosphere; ionospheric storms; stratosphere ozone; solar-terrestrial connections

Чувствительность атмосферного озона к высыпаниям энергичных частиц из радиационных поясов, солнечных космических лучей (СКЛ), релятивистских электронов, вариаций галактических космических лучей,

геомагнитным бурям, солнечным вспышкам отмечается уже давно. Было установлено, что результатом этого взаимодействия является дополнительное образование молекул окиси азота (NO) и радикала OH, которые интенсифицируют химические каталитические циклы разрушения озона, обосновать один из механизмов солнечно-земных связей и понять взаимосвязь радиационных, химических и динамических процессов в земной атмосфере.

В работе Ластовичка [2] отмечено, что изменения ОСО вблизи широтного круга 50° с.ш., связанные с геомагнитными бурями (так же и возмущения в ионосфере как следствие геомагнитных бурь), по крайней мере, частично могут быть объяснены изменениями атмосферной циркуляции и наблюдаемые эффекты заключаются в перераспределении озона, а не в его производстве или потере. Влияние геомагнитных бурь на ОСО наблюдалось только зимой и для сильных бурь, при высокой солнечной активности и восточной фазе QBO. Эффект в общем содержании озона отмечается в высоких широтах при отсутствии внезапного стратосферного потепления и отмечается что существует два сектора, чувствительных к геомагнитным бурям Северо-Восточная Атлантика и Европейский сектор и Восточно-Сибирский и Алеутский сектора [3].

Высыпания высокоэнергетических электронов из радиационных поясов во время магнитных бурь могут играть существенную роль в вариациях озона в полярной средней атмосфере, так как приводят к дополнительной ионизации на высотах мезосферы образованию дополнительных количеств NO_x и HO_x . Анализ изменения содержания озона в мезосфере в зависимости от интенсивности высыпания и от времени года приводится к уменьшению содержания озона в мезосфере [6, 8]. Установлено, что независимо от увеличения скорости ионизации за счет высыпаний высокоэнергетических частиц, в летнее время (в присутствии УФ излучения), озон в мезосфере не может быть разрушен. В зимнее время, на высотах ~ 80 км, уменьшение озона может достигать 80 %, поздней зимой и весной потери озона составляют не более 20 % во время сильного геомагнитного возмущения.

Авторами исследования предлагается один из возможных механизмов — цепочка причинно-следственных связей, посредством которых вариации магнитного поля передаются в приземный слой. Предлагаемый механизм основан на влиянии заряженных частиц на баланс озона вблизи тропопавзы, ионо-молекулярные реакции, инициированные ГКЛ, интенсивность которых модулируется геомагнитным полем, создает дополнительный источник молекул озона в нижней стратосфере [3, 5].

Для проведения анализа связи параметров нижней и средней атмосферы с ионосферными возмущениями планетарного масштаба была использована методика пространственного наложения эпох, а именно,

усреднения рассматриваемых параметров для Северного полушария до, в течение и после ионосферных бурь.

Даты и характеристики планетарных ионосферных бурь взяты из каталога магнитных бурь ИЗМИРАН [6]. Для анализа были выбраны 37 бурь со значениями ионосферного планетарного индекса $W_p \geq 6$ баллов за доступный период 1998–2022 гг. Система W индексов ионосферной погоды позволяет градуировать состояние ионосферы и плазмосферы от спокойных условий до интенсивных бурь. Степень ионосферной возмущенности градуирована по данным сети обсерваторий, а также в узлах глобальных карт полного электронного содержания, GPS-TEC, за период с 1994 по 2022 гг. Начало и конец возмущения выбирались по величине индекса W (резкое изменение значений индекса W ($W > 5$) свидетельствует об ионосферной буре).

В качестве параметров нижней и средней атмосферы Северного полушария для анализа были выбраны показатели по данным реанализа MERRA-2 [6] Анализировались параметры: общее содержание озона, динамическая тропопауза (потенциальная завихренность на уровне 300 гПа) и приземное давление на уровне моря. Значения потенциальной завихренности (Potential Vorticity, PV) отражают термодинамическую характеристику воздуха и обычно используются в метеорологии для обозначения динамической тропопаузы, разделения стратосферного и тропосферного воздуха, зарождения циклонов [7]. Одна величина PVU (Potential Vorticity Unit), которая составляет $10\text{--}6\text{K}\cdot\text{м}^2/\text{кг}\cdot\text{с}$, является единицей описания потенциальной завихренности. Значения выше 2–3 PVU представляют границу динамической тропопаузы или наличие стратосферного воздуха, обладающего большей потенциальной энергией и обогащенного озоном. Аномалии потенциальной завихренности возникают в результате проникновения стратосферного воздуха в верхнюю тропосферу, что приводит к деформациям в вертикальном распределении потенциальной температуры и завихренности. Деформация изонтопических поверхностей приводит к восходящему движению впереди аномалии и опусканию позади нее. Динамическая тропопауза (в отличие от тепловой тропопаузы) представляет собой поверхность, благодаря которой можно оценивать обмен масс через тропопаузу [8]. Таким образом, выбранные параметры отражают основные критерии средней и нижней атмосферы, которые тесно связаны между собой.

Данные реанализа были получены в формате GeoTIFF, который с помощью инструмента конвертации растров в программе QGIS конвертировался в формат XYZ. Далее, с помощью скрипта на языке программирования Python XYZ-файлы усреднялись до одного общего файла XYZ для всех 37 бурь, для каждого параметра и отдельно для интервалов до бури,

во время бури и после бури. Далее с помощью инструмента конвертации растров программы QGIS полученные XYZ-файлы конвертировались обратно в GeoTIFF и визуализировались в нужном виде для последующего анализа.

На рис. 1 представлены поля ОСО за пять дней до магнитной бури, во время нее (0-й день), и через пять дней после бури для Северного полушария. Заметно небольшое изменение распределения полей озона во время бури и более существенное изменение через пять дней после бури. Основные изменения в обоих случаях происходят в Северной Атлантике и Западной Европе — ОСО в этом регионе через пять дней после бури несколько снизилось. Над Северной Америкой и Аляской области с высокими ОСО сдвинулись в область низких широт. Магнитные бури однозначно повлияли на распределение озона в Северном полушарии, но пока однозначный ответ произошло ли перераспределение ОСО или снижение его в указанном выше регионе не получен и требует проведения дополнительного количественного анализа.

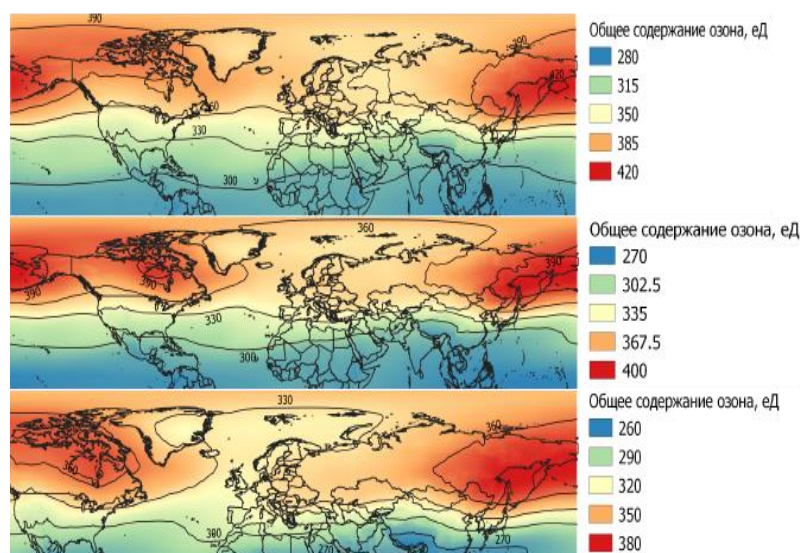


Рис. 1. Поля общего содержания озона: сверху — за 5 дней до бурь, посередине — во время бури, внизу — 5 дней после бури

На рис. 2 представлены пространственные изменения динамической тропопаузы за 5 дней до бури, посередине — во время бури, внизу — 5 дней после бури. Стоит отметить, что изменение распределения потенциальной завихренности (динамической тропопаузы) — $PV=2$ в период начала бури смещается в высокие широты, становится узкой. Через пять дней после бури область с $PV=2$ (1) смещается в сторону низких широт и размывается. Область с высокими $PV=2$, так же испытывает изменения и распространяется до средних широт.

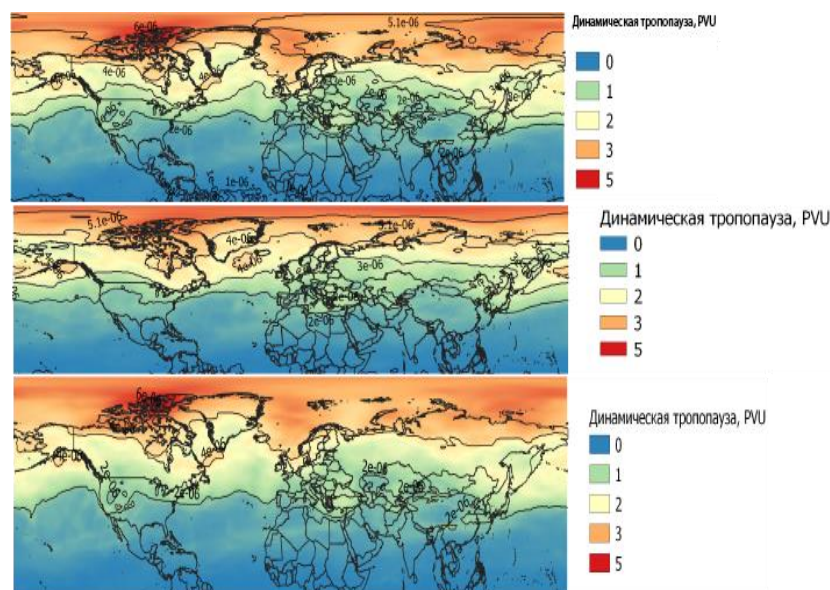


Рис. 2. Распределение динамической тропопаузы за 5 дней до бури, посередине — во время бури, внизу — 5 дней после бури

На рис. 3 приведено распределение приземного давления для 5-дневных временных интервалов до, во время и после бури.

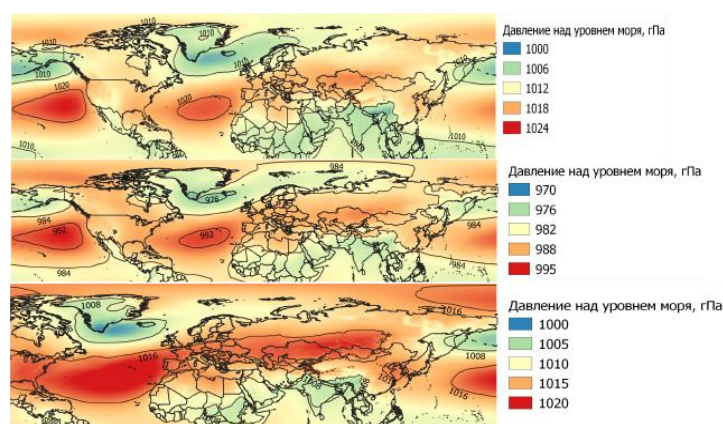


Рис. 3. Распределение приземного давления за 5 дней до бури, посередине — во время бури, внизу — 5 дней после бури

Отмечено повышение приземного атмосферного давления в средне-широтном поясе Северного полушария и понижение давления в Северной Атлантике, что подтверждает действие озонового механизма.

Библиографические ссылки

1. Solomon, S. and Crutzen, P., Analysis of the August 1972 Solar Proton Event Including Chlorine Chemistry, J. Geophys. Res., vol. 86, p. 1140, 1981.

2. Jackman C. H., Marsh D. R., Vitt F. M., Garcia R. R., Fleming E. L., Labow G. J., Randall C. E., Lopez-Puertas M., Funke B. Short- and medium-term atmospheric effects of very large solar proton events. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, № 7, p. 10543–10588, 2007
3. Laštovička J., Mlch P. Is ozone affected by geomagnetic storms? *Advances in Space Research*, V. 24, Issue 5, p. 631– 640. 1999.
4. Danilov A. D., Laštovička J. Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere. *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, V. 2, №. 3, p. 209–224, 2001.
5. Okoro, E. C., Okoh, D. I., Okeke, F. N., & Anoruo, C. M. Relationship between variation of total ozone concentration and severe geomagnetic storms over Lagos in Nigeria. *British Journal of Earth Sciences Research*, V. 10, № 2, p. 39–54, 2022.
6. Belinskaya A., Kazimirovsky Ed., Matafonov G., Sych R. The regional peculiarities of the total ozone content variations caused by solar/geomagnetic phenomena. *Adv. Space Res.* V. 27, №. 12, P. 2007– 2011, 2001.
7. Криволицкий А. А., Репнев А. И. Воздействие космических факторов на озоносферу Земли. ГЕОС, Москва, 384 с., 2009.
8. Mironova I., Grankin D., Rozanov E. Mesospheric Ozone Depletion Depending on Different Levels of Geomagnetic Disturbances and Seasons. *Atmosphere*, v. 14, 1205, 12 p., 2023, //doi.org/10.3390/atmos14081205.

УДК 551.583.582(476)

ОБОСНОВАНИЕ УТОЧНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ БАССЕЙНОВ МЕТОДОМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ р. СИНЮХИ)

Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев, А. А. Сазонов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, soilgis.bsu@gmail.com*

Обосновывается выделение бассейна р. Синюхи в составе гидрологического района. Выделение бассейна реки произведено с использованием ГИС ArcGIS на основе цифровых моделей рельефа высокого разрешения.

Ключевые слова: р. Синяя; р. Синюха; гидрологическое районирование; геоинформационное моделирование.

SUBSTANTIATION OF CLARIFICATION OF ELEMENTARY BASINS BY THE METHOD OF GEOINFORMATION MODELING (ON THE EXAMPLE OF THE SINYUKHA RIVER)

N. V. Klebanovich, A. L. Kindeev, A. A. Sazonau

*Belarusian State University, Independence Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, soilgis.bsu@gmail.com*

You are the identification of the blue river basin as partha of the hydrological zoning of Belarus is substantiate. Hydrological modeling of the basin is a digital resolution elevation model.

Keywords: Sinyaya river; Sinyukha river; hydrological zoning; geographic information modeling.

Уточнение существующего гидрологического районирования Беларуси обусловлено не столько изменениями климата, которые приводят к увеличению частоты и интенсивности экстремальных гидрологических явлений, сколько необходимостью устранить неточности существующего гидрологического районирования, которое проводилось на устаревших данных и не учитывает региональных особенностей гидрологического режима и водных ресурсов Беларуси.

Гидрологическое районирование должно быть основано на комплексном географическом подходе и трех принципах: бассейновом, ландшафтом и собственно гидрологическом.

По мнению авторов исследования, бассейновый принцип районирования следует считать ведущим в связи с тем, что он согласуется с принятым в стране бассейновым принципом управления водными ресурсами, и является основой для комплексного учета ландшафтных и гидрологических характеристик.

Первое гидрологическое районирование Беларуси было разработано в 1960-х гг. прошлого века. Основой районирования страны стали водосборы крупнейших рек: Днепра, Припяти, Западной Двины, Вилии и Немана, на основе которых было выделено шесть гидрологических районов [1, 4]. Предложенное районирование имело ряд недостатков, в том числе недоучет бассейнового принципа, условий формирования стока и др. [1].

П. С. Лопухом предложен проект нового районирования [1], в котором выделены 7 гидрологических районов и 8 подрайонов, позже районирование было усовершенствовано с учетом последствий последних климатических и антропогенных воздействий [7]. Районирование в первую очередь основано на комплексном ландшафтном подходе, с учетом величины среднегодового стока. В целом границы гидрологических районов приближены к границам бассейнов основных рек, отдельно в составе Западнодвинского гидрологического района выделяется бассейн р. Ловать.

Определение границ водосборов (бассейнов) успешно решается инструментами геоинформационных систем на различных масштабах. Наиболее крупным источником данных гидроэкологической информации по всем водоразделам и рекам мира с высоким пространственным разрешением является база данных HydroATLAS [2]. Версия 1.0 HydroATLAS предлагает данные по 56 переменным, разделенным на 281 отдельный атрибут и организованным по шести категориям: гидрология; физическая география; климат; растительный покров и землепользование; почвы и геология; антропогенные воздействия. Информация о суббассейне и охвате рек представлена в двух сопутствующих наборах данных: BasinATLAS и RiverATLAS.

При анализе данных BasinATLAS и RiverATLAS обращает на себя внимание бассейн р. Синюхи (рис. 1), который отсутствует на схемах гидрологического районирования Беларуси [1, 3, 4]. В связи с этим целью исследования является уточнение существующего гидрологического районирования на основе детальных цифровых моделей рельефа и геоинформационного моделирования гидрологических процессов.

В ходе анализа справочных источников [5, 6], планово-картографических материалов и проведенных полевых работ установлено, что р. Синюха (Зилупе, Синяя) является левым притоком р. Великая, которая в свою очередь впадает в Псковское озеро и относится к бассейну р. Нарвы.

Река Синюха имеет протяженность 195 км, из них по территории Республики Беларусь – 15 км, общая площадь водосбора – 2040 км² [4]. Крупнейший приток на территории Беларуси (правый) – р. Неверица, имеет протяженность 6 км.

Для установления точных границ водосбора р. Синюхи проведено геоинформационно-гидрологическое моделирование водосборной области (бассейна) на основе цифровых моделей рельефа (ЦМР) масштаба 1:10 000 и пространственным разрешением 10 м.

Моделирование суммарного стока проводилось методом D8 в ГИС ArcGIS, затем там же смоделированы дренажные бассейны. Для корректности моделирования ЦМР прошла необходимую предобработку: фильтрацию шумов и сглаживание методом Simple Filter, заполнение локальных понижений.

Бассейны

- р. Западная Двина
- р. Синюха
- р. Ловать

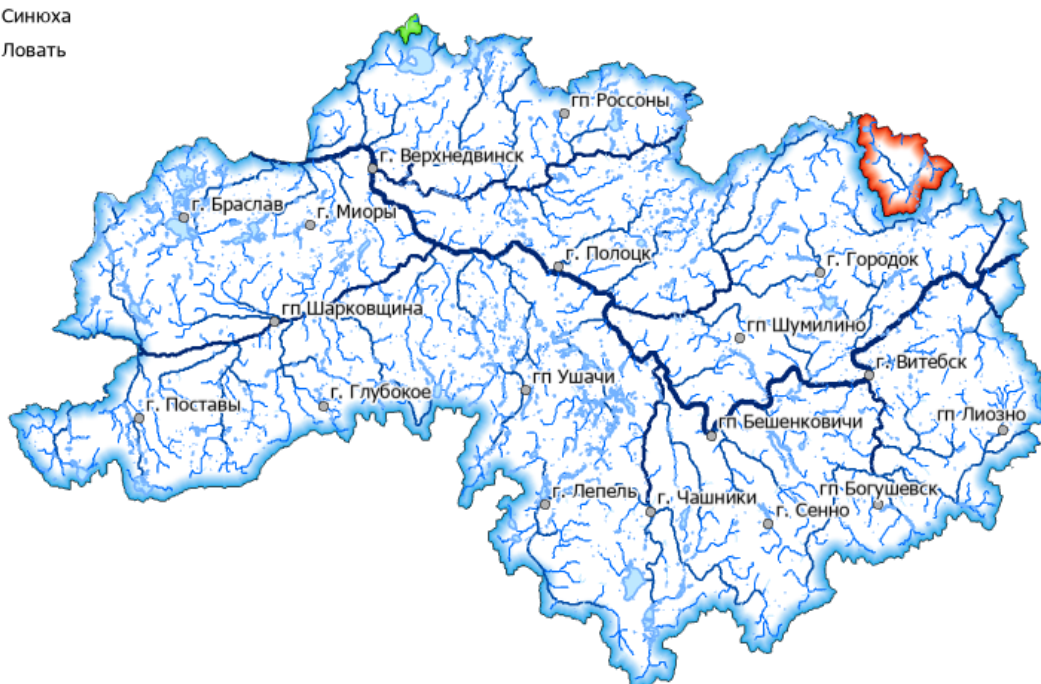


Рис. 1. Схема бассейнов рек Западная Двина, Ловать и Синюха по данным BasinATLAS и RiverATLAS [2]

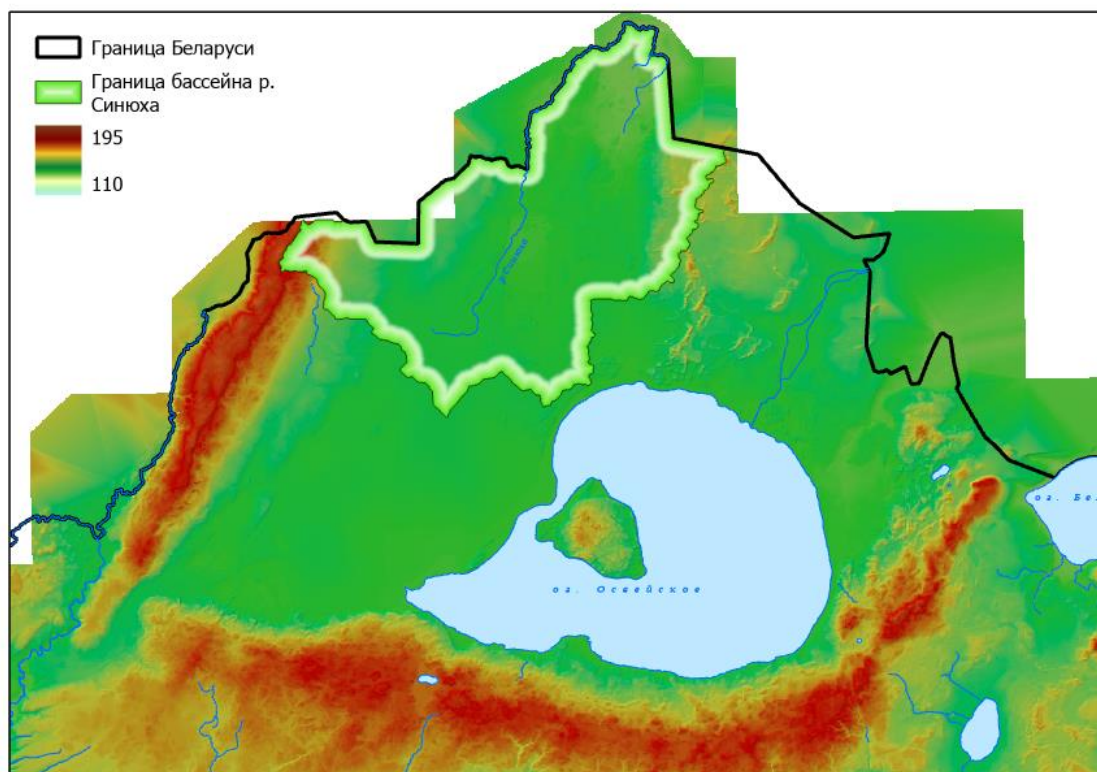


Рис. 2. Схема бассейна реки Синюхи по данным гидрологического моделирования

Трудности при моделировании бассейна р. Синюхи на территории Беларуси связаны, во-первых, с удаленностью и труднодоступностью объекта изучения, для проведения дальнейших исследований необходимы специальные полевые работы. Во-вторых, ЦМР, полученные фотограмметрическим методом, не позволяют достоверно смоделировать рельеф под густой лесной растительностью — дальнейшие исследования могут быть проведены при наличии ЦМР, полученной по данным лазерного сканирования.

Установлено, что расчетная площадь водосбора р. Синюхи на территории Беларуси составляет 5905 га, из них, по данным земельной информационной системы Республики Беларусь, 94 % (5570 га) приходится на лесные земли, 2 % (115 га) — на луговые и 2,5 % (143 га) — на земли под древесно-кустарниковой растительностью (насаждениями), остальные виды земель занимают незначительные площади.

Порядка 1160 га площади водосбора занимают болота Освейское и Кисели. Почвы преимущественно среднемощные и мощные торфяно-болотные верхового и низинного типа, на севере и северо-востоке представлены автоморфные дерново-подзолистые песчаные на мощных песках, в западной части — дерново-подзолистые супесчаные временно избыточно-увлажненные, подстилаемые суглинками, и дерново-подзолистые

временно избыточно-увлажненные и глееватые почвы на легких суглинках, подстилаемых средними суглинками, местами мощных.

Впервые определены границы водосбора р. Синюхи на территории Беларуси. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании гидрологического районирования Беларуси. По мнению авторов, бассейн р. Синюхи должен быть показан на схеме гидрологического районирования Беларуси в составе Западнодвинского гидрологического района, наравне с бассейном р. Ловати и может быть учтен при составлении нового Национального атласа Республики Беларусь.

Работы выполнены в рамках НИР № 224/61 от 05.04.2019 г. «Разработка и (или) корректировка проектов водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов Верхнедвинского района Витебской области с учетом требований Водного кодекса Республики Беларусь (р. Западная Двина, г. Верхнедвинск, г. п. Освея, сельсовет Освейский)».

Библиографические ссылки

1. Лопух П. С. Обоснование необходимости разработки нового гидрологического районирования территории Беларуси / П. С. Лопух // Водные ресурсы и климат : материалы V Международного Водного Форума, Минск, 5-6 октября 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет ; [редкол.: проф. д-р техн. наук. О. Б. Дормешкин и др.] – Минск : БГТУ, 2017. Ч. 1. С. 130-136
2. Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution / S. Linke [et al.] // Sci Data. 2019. Vol. 6, № 1. P. 283.
3. Гідраграфічная карта / Нацыянальны атлас Беларусі / ред. М. У. Мясніковіч [и др.]. Мінск: Белкартаграфія, 2002. С. 86
4. Гідралагічнае раянаванне / Нацыянальны атлас Беларусі / ред. М. У. Мясніковіч [и др.]. Мінск: Белкартаграфія, 2002. С. 96
5. Справочник «Водные объекты Республики Беларусь» [Электронный ресурс] / ред. А. Г. Гриневич [и др.]. Минск.: б. и., 2012. 1 электронный оптический диск (CD-ROM).
6. Разработка и (или) корректировка проектов водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов Верхнедвинского района Витебской области с учетом требований Водного кодекса Республики Беларусь (река Западная Двина, город Верхнедвинск, городской поселок Освея, сельсовет Освейский) : отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) / С. И. Кузьмин [и др.]. Минск : БГУ, 2019. 36 с.
7. Волчек, А. А. Бассейновый подход к гидрологическому районированию Беларуси как фактор оптимального управления водными ресурсами / А. А. Волчек, П. С. Лопух // Водное Хозяйство России: Проблемы, Технологии, Управление. 2023, № 4. С. 48-81.

УДК 631.3.072

РАЗВИТИЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

П. А. Ковриго

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, Pavel_Kauryha@tut.by*

Точное земледелие — комплексная высокотехнологичная система ведения сельского хозяйства с использованием компьютерных и спутниковых информационных технологий. Существенным резервом повышения эффективности метода точного земледелия является учет микроклиматических вариаций агроклиматических ресурсов. В результате многолетних микроклиматических наблюдений получены поправки, представляющие разницу между данными натурных наблюдений и опорной метеостанцией. Эти поправки рекомендуется использовать при проведении агротехнических и мелиоративных мероприятий в осуществлении программы точного земледелия.

Ключевые слова: точное земледелие; микроклимат; агроклиматические ресурсы; микроклиматические наблюдения; поправочные коэффициенты; информационные технологии.

DEVELOPMENT OF PRECISION AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS CONSIDERING MICROCLIMATIC HETEROGENEITY OF AGROCLIMATIC RESOURCES

P. A. Kauryha

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, belrus@bsmu.by*

Precision farming is a complex high-tech farming system using computer and satellite information technologies. This method is based on the idea of the existence of soil, agroclimatic and microclimatic heterogeneities. A significant reserve for increasing the efficiency of the precision farming method is taking into account microclimatic variations of agroclimatic resources. As a result of long-term microclimatic observations, corrections were obtained that represent the difference between the data of field observations and the reference weather station. These amendments are recommended for use when carrying out agrotechnical and reclamation measures in the implementation of a precision agriculture program.

Keywords: precision agriculture; microclimate; agroclimatic resources; microclimatic observations; correction factors; information technology.

Точное земледелие. В настоящее время перед человечеством остро стоит проблема дефицита продуктов питания. Одним из путей решения этой проблемы является внедрение инновационных технологий в сельскохозяйственное производство, в частности, технологии точного земледелия (precision agriculture) [1].

Точное (координатное, цифровое) земледелие — комплексная система управления плодородием почвы и урожайностью с учетом физико-химических свойств каждого выдела элементарной агрогеосистемы с использованием компьютерных и спутниковых информационных технологий: GPS-навигации, технологии «интернет вещей» (IoT), GIS-технологии, технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологии ДЗЗ, технологии переменного нормирования (Variable Rate Technology), цифровых карт сельскохозяйственных полей и др. [2].

Необходимые данные, полученные из разных информационных источников, используются для расчета оптимальных сроков и норм сева, внесения удобрений и средств защиты растений, прогнозирования урожайности и финансовых расходов на протяжении всего вегетационного периода для каждой культуры. Эффективность использования цифровых технологий и автоматизации агропроизводственных процессов достигается на основе учета локального разнообразия агроклиматических и микроклиматических ресурсов конкретного поля [3, 15, 16].

Система точного земледелия развивается на современных достижениях электроники. На тракторах устанавливаются многоканальные микропроцессоры, а на машинах используются датчики, контролирующие расход ресурсов. Так, внесение в почву удобрений и средств защиты растений обеспечивается электронными регуляторами, которые дают экономию расходных материалов до 20 %. Для точного высева семян зерновых культур сеялки оборудованы датчиками, которые обеспечивают необходимую глубину заделки и, более того, регулируют расстояние между семенами в рядке [5, 7].

Создание высокоточных и производительных машин, их автоматизация и компьютеризация в странах ЕС, США и Канады обеспечивает урожайность зерновых культур до 90 ц/га.

В Беларуси внедряются элементы системы точного земледелия (параллельного вождения, GPS-навигации, системы учета расхода топлива и др.). Так, весенний сев яровых зерновых и зернобобовых культур с использованием элементов системы точного земледелия проводится на 16 % площади, сев озимых зерновых — на 10 %. Осуществляется оперативное

управление технологическими процессами, обеспечивается информационное сопровождение, планирование и ведение хозяйственной деятельности в растениеводстве [6, 8].

Учет микроклимата. Проблема внедрения технологии точного земледелия связана с эффективным использованием агроклиматических ресурсов, с их микроклиматическим разнообразием не только в пределах хозяйства, но и отдельного поля. Информация о разнообразии микроклиматических условий может быть получена в результате проведения полевых наблюдений.

Под *микроклиматом* понимается климат приземного слоя воздуха и верхнего слоя почвы, который формируется под влиянием неоднородностей физических свойств подстилающей поверхности и существенно изменяется на относительно небольших расстояниях.

Микроклимат — это свойство атмосферных процессов, развивающихся в приземных слоях воздуха и почвы под влиянием микрообразующих факторов: рельефа (экспозиция и крутизна склонов), растительности (лес, суша, болото, поле), механического состава почвы (песок, супесь, суглинок, глина, торф) и ее влажности, водоемов, мелиорации и др.¹

Изучая агроклиматические ресурсы холмистой местности и оценивая их пространственную микроклиматическую изменчивость, проводят микроклиматические наблюдения, пункты которых располагаются в пределах элементарных агрогеосистем.

В выбранных пунктах экспериментального участка проводятся параллельные (синхронные) наблюдения с помощью метеорологических приборов или дистанционного измерительного комплекса с автоматической регистрацией физических характеристик. В качестве опорного пункта выбирается ближайшая метеостанция, данные наблюдений которой репрезентативны и позволяют восстанавливать показатели эпизодических микроклиматических наблюдений и определять микроклиматические поправки для каждого пункта, представляющие разницу между данными микроклиматических наблюдений и опорной метеостанцией. Большим разнообразием микроклиматического распределения характеризуется температура почвы.

¹*Ковриго П. А.* Методика организации и проведения микроклиматических исследований природных и природно-антропогенных геосистем. Минск, 1987. почвы близлежащей метеостанции (табл. 1). Поправочные коэффициенты — отклонение температуры почв различного механического состава от температуры, характерной для среднесуглинистых почв на глубине 10 см.

Таблица 1

Поправочные коэффициенты к тепловым ресурсам разных типов почв

Почва	Средняя температура почвы за май, °С	Даты перехода среднесуточной температуры почвы через		Сумма температуры выше 10 °С	Продолжительность периода с температурой выше	
		5 °С, дни	10 °С, дни		15 °С, дни	10 °С, дни
Песчаная, супесчаная	+1,0...+2,0	– 6... –10	–10... –15	+200... +300	+15... +25	+20... +25
Легкосуглинистая	+0,5... +1,0	–3... –5	–5... –10	+100... +150	+5... +10	+10... +15
Тяжелосуглинистая, глинистая	–0,5... –1,0	+3... +5	+5... +10	–50... –100	–5... –10	+5... –5

Примечание. Поправочные коэффициенты (в днях: + добавляем, а – вычитаем) определены относительно среднесуглинистой почвы в ровной местности на глубине 10 см.

Это связано с неоднородностью факторов ее формирования — механического состава, влажности, рельефа. Так, самые теплые почвы — легкие суглинистые и супесчаные, холоднейшие — суглинистые, более холодные — глинистые, самые холодные — осушенные торфяники. Например, давно осушенные торфяники холоднее на 1 °С, чем новоосушенные, на 3-4 °С, чем суглинистые и на 4-5 °С, чем супесчаные и песчаные.

Для учета микроклиматической неоднородности тепловых ресурсов почвы используют поправочные коэффициенты, корректирующие температуру

Для оценки микроклиматической неоднородности запасов влаги в почве холмистой агрогеосистемы используют данные агрометеорологических станций с учетом коэффициентов увлажнения, которые представляют собой отношение запасов влаги в почвенном слое на склоне к запасам влаги в этом же слое на ровном месте (табл. 2).

Развитие точного земледелия основывается на применении различного рода крупномасштабных карт. Одним из многих видов таких карт являются *микроклиматические карты*, на которых подробно показано распределение метеорологических элементов и явлений в приземном слое воздуха и верхнем слое почвы. Микроклиматические карты различаются по своему содержанию и назначению. Они бывают аналитическими и синтетическими. *Аналитические карты* отражают распределение одного микроклиматического показателя, такого как минимальные температуры, ветровой режим, температура и влажность почвы, солнечная радиация и др.

Синтетические микроклиматические карты характеризуют распределение ряда взаимосвязанных характеристик с учетом многих факторов, формирующих микроклимат. Они отражают ландшафтные условия формирования микроклимата

Таблица 2

Коэффициенты увлажнения почвы в холмистом рельефе

Форма рельефа	Южный склон	Северный склон
Склоны:		
верхняя часть	0,40	0,95
средняя часть	0,55	1,00
нижняя часть	0,95	1,30
подножье	1,00	1,70
Ровное место	1,00	1,00

Примечание. Для вершины холма коэффициент увлажнения 0,45.

Для сельского хозяйства крупномасштабное картографирование микроклимата проводится на основе карт распределения природных факторов, обуславливающих микроклиматическую неоднородность агроклиматических ресурсов, а также на основе количественных характеристик, полученных при полевых наблюдениях.

Данные о факторах, создающих микроклиматические различия, приведены на крупномасштабных картах (1:10 000) почв, землеустройства, растительности и др. Влияние различных форм рельефа на микроклимат выявляется на основании топографической карты или глазомерной съемки местности. С помощью картографической основы территория разделена по степени выраженности каждого микроклиматообразующего фактора. При этом создаются отдельные карты распределения механического состава почвы, степени их увлажнения, а также экспозиции и крутизны склонов. Комбинируя отдельные карты, отражающие степень влияния микроклиматических факторов, выделяются *элементарные агрогеосистемы*, внутри которых формируются однородные микроклиматические условия.

Элементарные агрогеосистемы, характеризующиеся количественными показателями микроклимата, называются микроклиматическими системами. Под микроклиматической системой понимается простейшая территориальная единица, отличающаяся совокупным действием природных факторов, создающих однородные микроклиматические условия за счет одинаковой интенсивности тепло- и влагообмена в системе «почва – растительность – приземный слой воздух».

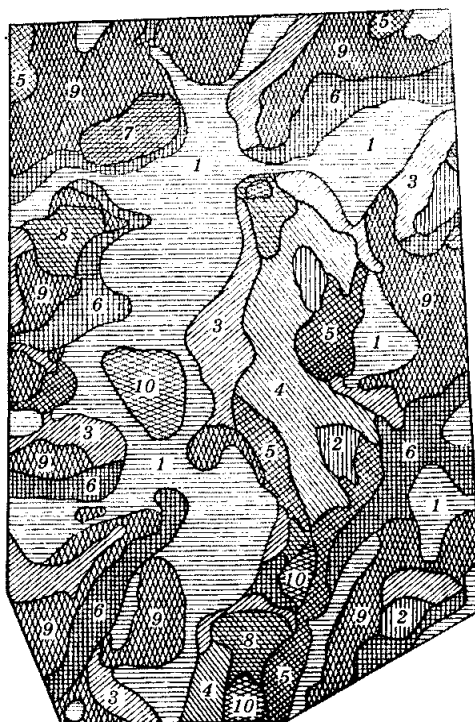
На рисунке представлена синтетическая микроклиматическая карта, составленная для холмистой местности Браславской возвышенности. На карте выделено 10 элементарных микроагрогеосистем, которые характеризуются количественными показателями радиационных и тепловых ресурсов микроклимата (табл. 3).

Факторами микроклиматического разнообразия холмистого ландшафта являются экспозиция склонов и их крутизна. На склонах разной ориентации и их крутизны происходит перераспределение солнечной радиации и атмосферных осадков, что определяет разнообразие микроклимата. Например, в Беларуси в апреле и сентябре на южных склонах с уклоном 10° суммарная радиация на 5 и 9 % больше, а на северных — на 7 и 11 % меньше, чем на горизонтальной поверхности. Летом температура воздуха на вершинах холмов и на их южных склонах в среднем на 2°C выше, чем на северных склонах и в долинах.

Таблица 3

Количественные показатели микроклиматических систем холмистого рельефа Браславской возвышенности

Микроклиматическая система (в соответствии с рисунком)	Суммарная радиация, МДж/м ² ·год	Радиационный баланс, МДж/м ² ·год	Продолжительность беззаморозкового периода, дни	Суммы температур воздуха $>5^\circ\text{C}$
1	3685	1543	110	2285
2	3685	1543	123	2534
3	3574	1435	113	2385
4	3464	1366	113	2385
5	3869	1612	117	2442
6	3796	1574	117	2442
7	3796	1574	119	2465
8	3574	1435	115	2405
9	3685	1543	114	2400
10	3685	1543	117	2423



Синтетическая микроклиматическая карта Браславской возвышенности
Легенда к микроклиматической карте

1	Холодные торфяно-болотные и заболоченные почвы
2	Умеренно теплые суглинистые почвы недостаточного увлажнения на вершинах холмов
3	Умеренно холодные северные склоны крутизной 3–7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
4	Холодные северные склоны крутизной более 7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
5	Холодноватые южные склоны крутизной более 7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
6	Холодноватые южные склоны крутизной 3–7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
7	Теплые южные склоны 3–7° с супесчаными почвами нормального увлажнения
8	Умеренно холодные северные склоны крутизной 3–7° с супесчаными почвами нормального увлажнения
9	Умеренно теплые междухолмистые равные участки с суглинистыми почвами нормального увлажнения
10	Теплые междухолмистые равные участки с супесчаными почвами нормального увлажнения

Библиографические ссылки

1. Мыслыва Т. Н., Куцаева О. А. Внедрение точного земледелия в Республике Беларусь в контексте национальных земельных отношений: проблемы и перспективы. <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tochnogo-zemledeliya-v-respublike-belarus-v-kontekste-natsionalnyh-zemelnyh-otnosheniy-problemy-i-perspektivy>

2. <https://ru.agriculture.trimble.com/blog/chto-takoe-tochnoe-zemledelie/>
3. <https://sasagro.com/ru/novye-tehnologii/chto-takoe-tochnoe-zemledelie/>
4. Вацула А. В., Антошук С. А. Точное земледелие в Республике Беларусь: состояние и перспективы / А. В. Вацула, С. А. Антошук // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2019;(52). С. 19-24.
5. Клебанович Н. В. Геопространственная характеристика неоднородности свойств почв / Н. В. Клебанович, С. Н. Прокопович, А. Л. Киндеев // Земля Беларуси. № 3, 2018. С. 33-34.
6. <https://www.belta.by/economics/view/tsifrovizatsija-i-tochnoe-zemledelie-belarus-vnedrjaet-novye-tehnologii-v-selskoe-hozjajstvo>.
7. <https://sasagro.com/ru/novye-tehnologii/chto-takoe-tochnoe-zemledelie/>
8. <https://sasagro.com/sas-powered-by-cropio/>
9. NDVI (Normalized difference vegetation index, нормализованный вегетационный индекс).
10. <https://forms.gle/9chjmoaHSZ8by9aS9>
11. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. Монография. СПб, АФИ. 2016. 364 с.
12. Gebbers, R. Precision agriculture and food security / R Gebbers, V.I. Adamchuk // Science. 2010. Vol. 327. P. 828-831.
13. Fountas S. Precision agriculture / S. Fountas, K. Aggelopoulou, T.A. Gemtos / In: Supply Chain Management for Sustainable Food Networks. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2015. P. 41-65.
14. Ковриго П. А. Микроклимат болотных экосистем и его оптимизация / П.А. Ковриго. Минск : Университетское, 1995. – 153 с.
15. Ковриго П. А. Микроклимат / П.А. Ковриго // Метеорология и климатология. Минск : Вышэйшая школа. 2022. С. 273-288.
16. Ковриго П. А. Изменение локального климата в условиях глобального потепления / П. А. Ковриго // Вестник Белорус-го гос. ун-та. Сер. 2. 2010. № 2. С. 86-91.
17. Романова Е. Н. Микроклиматология / Е. Н. Романова, Г. И. Мосолова, И. А. Береснева // Л., ГМИ. 1983. С. 245.

УДК 556.552

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА р. ЗАЯЧЬЯ УСТЬЯНСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

А. Г. Косицкий, А. Н. Лукьянова, А. В. Хорошев, Д. И. Школьный

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, 119991, Ленинские Горы, д. 1, г. Москва, Россия, alexhydro@mail.ru

Одной из главных причин невозможности выявления пространственных закономерностей формирования стока малых рек является их недостаточная изученность. Для выявления таких закономерностей проводятся детальные измерения в 14 створах бассейна малой р. Заячья площадью водосбора 154 км². В результате удалось выявить зависимости меженных расходов воды от порядков рек, а также убывающую зависимость меженных модулей стока от лесистости водосборов.

Ключевые слова: малая река; водосбор; расход воды; модуль стока; межень; порядок реки; лесистость.

STUDY OF THE FORMATION OF THE FLOW OF SMALL RIVERS (USING THE EXAMPLE OF THE BASIN OF THE ZAYACHYA RIVER IN THE USTYANSKY DISTRICT OF THE ARKHANGELSK REGION)

A. G. Kositskiy, A. N. Lukianova, D. I. Shkolnyi, A. V. Khoroshev

Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 119991, Lenin Hills, 1, Moscow, Russia, alexhydro@mail.ru

One of the main reasons for the inability to identify spatial patterns of the formation of the flow of small rivers is their insufficient knowledge. To identify such patterns, detailed measurements are carried out in 14 sections of the basin of the small Zayachya river with a catchment area of 154 km². As a result, it was possible to identify the dependence of inter-boundary water flow rates on river orders, as well as the decreasing dependence of inter-boundary runoff modules on the forest cover of catchments.

Keywords: small rivers; catchment area; water flow; flow modulus; boundary; river order; forest cover.

Главной особенностью малых рек является их азональность. В ГОСТе [1] говорится, что гидрологический режим малой реки может быть не свойственен рекам природной зоны, в которой она протекает, вследствие искажения под влиянием местных факторов. Бытует мнение об индивидуальности каждой малой реки и, соответственно, невозможности

выявления для них каких-либо пространственных закономерностей. Однако, существует и противоположная точка зрения, заключающаяся в том, что наличие достаточного количества пунктов гидрологических наблюдений позволяет выявить пространственные закономерности и для малых рек [2].

Действительно, важнейшей проблемой изучения стока малых рек является их недостаточная изученность. Если взять, для примера, все реки Северного макросклона Европейской части России (бассейны рек Онега, Северная Двина, Мезень, Печора и более мелкие притоки Белого и Баренцева морей), то в общей сложности там протекает 7 больших, 114 средних и более 8 тыс. малых рек. На всех этих реках в настоящее время работает 175 гидрологических постов, из которых 22 расположены на больших, 85 на средних и только 68 на малых реках. Получается, что на каждой большой реке есть гидрологический пост, и в большинстве случаев не один, так как на каждую большую реку в среднем приходится по три гидрологических поста. Средние реки также можно считать достаточно изученными, поскольку как минимум на каждой второй реке имеется гидрологический пост. Что же касается малых рек, то несмотря на наибольшее их количество, гидрологических постов на них даже меньше, чем на средних. Один гидрологический пост, в среднем, приходится более чем на 100 малых рек, что очевидно недостаточно для полного освещения их режима.

Для лучшего изучения гидрологических закономерностей, присущих малым рекам, необходимо сгущение сети гидрологических наблюдений. Такая работа была сделана для бассейна малой реки Заячья, протекающей в Устьянском районе Архангельской области. Общая длина реки составляет 42 км, площадь водосбора 154 км². Река Заячья является правым притоком р. Кокшеньги, которая, в свою очередь, впадает в р. Устью, а та в р. Вагу — приток р. Северной Двины. Выбор объекта связан с расположением в бассейне р. Заячья учебно-научного полигона географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова и относительно высокой степенью физико-географической изученности водосбора. В качестве объекта исследования выбран 15-километровый участок реки, верхний створ которого расположен примерно в 1 км выше д. Орюковская, а нижний соответствует пересечению автомобильной дороги Вельск — Тарногский городок, чуть выше д. Ульяновская (рис. 1). Работы проведены в 14 створах, из которых 3 расположены на самой р. Заячья, а 11 на всех притоках, впадающих в нее в пределах выбранного участка.

Исследования носят экспедиционный характер. Ежегодно от 1 до 3 раз в различные фазы водного режима проводятся измерения расходов воды в каждом створе. К настоящему времени удалось выявить некоторые

закономерности, соответствующие меженной фазе водного режима. Меженный период хорош тем, что позволяет сравнивать измеряемые характеристики разных рек, поскольку все они при этом находятся примерно в одинаковом состоянии. В период паводка или половодья данная задача усложняется тем, что часть измерений может прийти на начало паводка, другая часть ближе к его пику, а третья — на спад. В связи с этим, реки находятся в разном состоянии и измеряемые показатели не позволяют провести пространственного анализа. В межень измеряемые значения можно использовать для пространственного анализа.

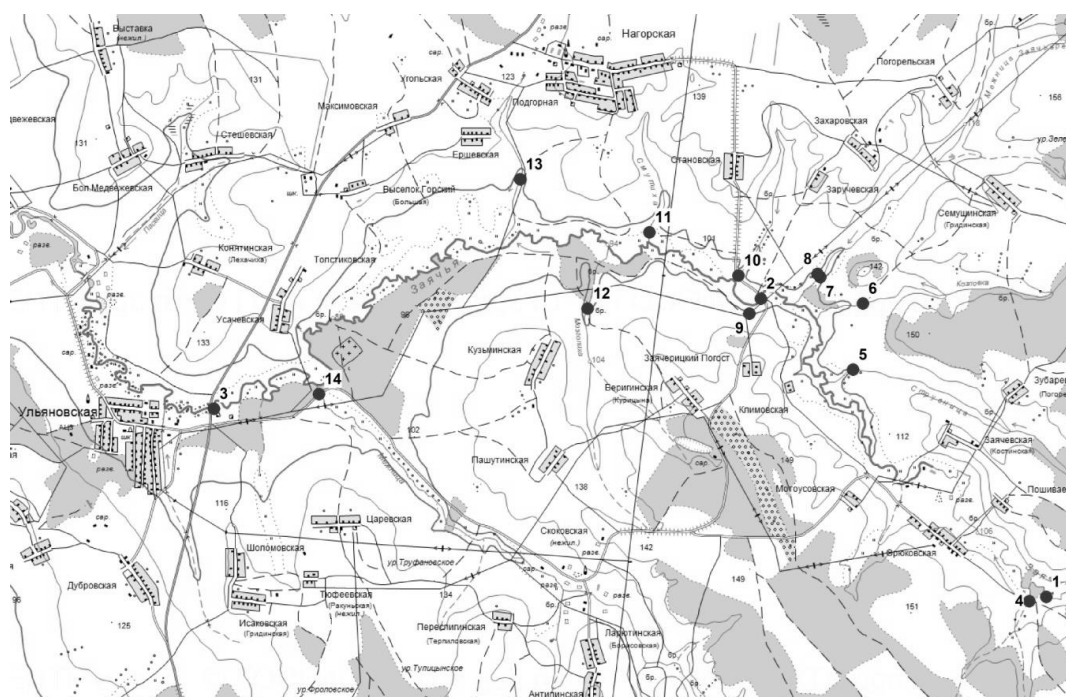


Рис. 1. Схема расположения расчетных створов

Для каждого створа для всех измерений, пришедшихся на меженный период, проведено осреднение измеренных расходов воды, в результате полученные значения названы условно характерными меженными $Q_{ум}$, соответствующими каждому створу. Отметим, что данные значения расходов воды интересны не в абсолютном, а в относительном смысле, поскольку могут серьезно отличаться от средних меженных расходов воды, так как соответствуют конкретным погодным условиям проведения серии измерений. Но поскольку все они приходятся на меженный период, то их уместно использовать для сравнения разных водотоков.

Полученные условно характерные меженные расходы воды обнаруживают зависимость от порядков рек N , определяемых методом А. Шайдеггера (рис. 2). Проведенные ранее исследования на кафедре гидрологии суши МГУ имени М. В. Ломоносова [3] показали, что такие зависимости

обычно характерны для бассейнов средних (зональных) рек, а для области малых рек, как правило, наблюдается разброс точек. В данном случае при рассмотрении отдельно взятого бассейна малой реки также удалось получить аналогичную зависимость.

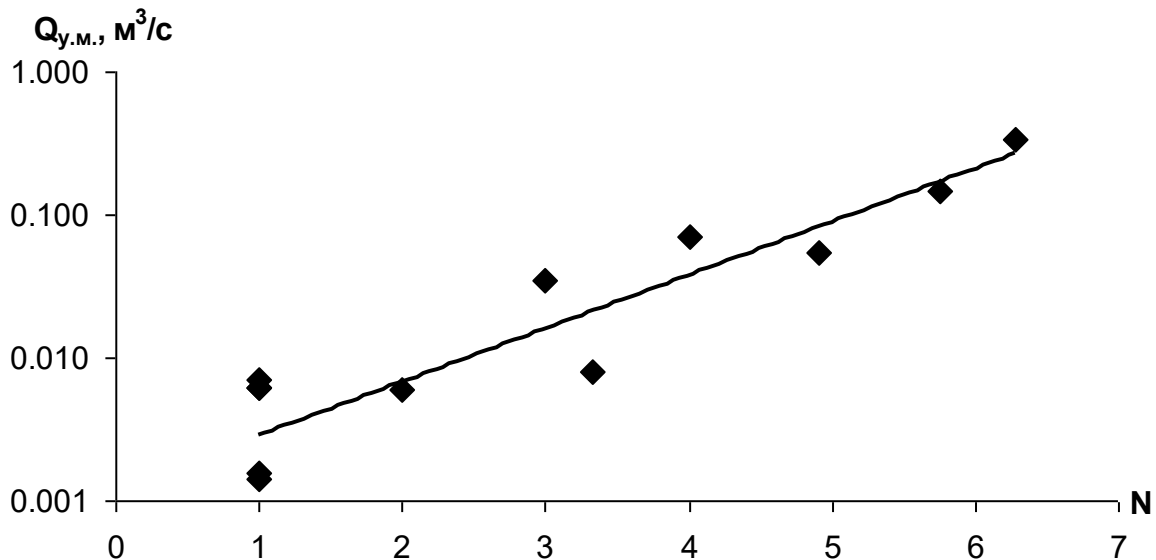


Рис. 2. Соотношение условно характерных меженных расходов воды от порядков рек бассейна р. Заячья

Другой выявленной закономерностью стало уменьшение меженных модулей стока с ростом залесенности водосборов (рис. 3). Меженные модули стока были получены делением условно характерных меженных расходов воды на площади водосборов рек в измеряемых створах.

Для выявления в дальнейшем пространственных закономерностей стока половодья и паводков необходимы более частые временные наблюдения. Для этого каждый створ оборудован максимальной рейкой в авторском исполнении, а на некоторых створах установлены датчики автоматизированного измерения уровней воды (логгеры). Во время каждой экспедиции помимо измерения расхода воды проводится фиксация текущего и максимального между смежными измерениями уровня воды, а также снятие показаний с логгеров в тех створах, где они установлены. Один из логгеров постоянно установлен в створе № 3, являющимся замыкающим для р. Заячья, а еще три ставятся на разных створах и перемещаются по прошествии года непрерывных наблюдений. Измерения расходов при разных уровнях воды позволят в будущем для каждого створа получить кривые зависимости $Q = f(H)$, по которым восстановить максимальные и ежедневные расходы воды в водотоках.

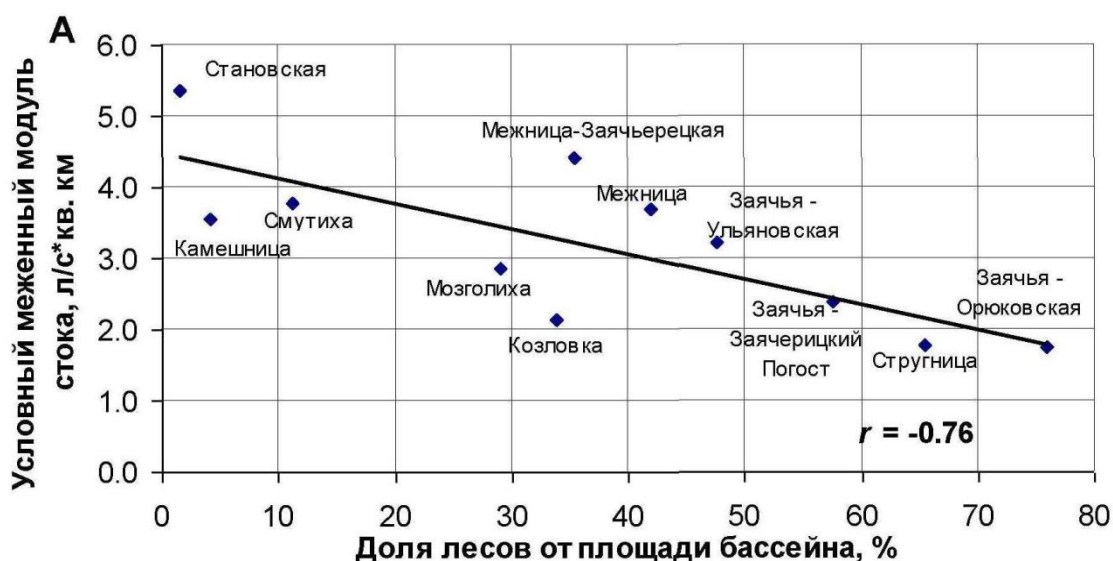


Рис. 3. Зависимость меженных модулей стока от лесистости водосборов

Данные измерения позволят в ближайшие несколько лет получить характеристики половодья и паводков для каждого из 14 створов, что даст возможность выявить и для них пространственные закономерности.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М., Государственный комитет СССР по стандартам, 1973. 36 с.
2. Жуков И. А., Айбулатов Д. Н. Гидрологический режим малых рек урбанизированных территорий (на примере Новой Москвы) // Геориск. 2022. № 4 С. 3.
3. Алексеевский Н. И., Айбулатов Д. Н., Косицкий А. Г. Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География, общество, окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы / Под ред. С. А. Добролюбов, Н. С. Касимов, С. М. Малхазова. Т. 6. Городец М., 2004. С. 443-459.

УДК 551.553

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕОДНОРОДНОСТИ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

И. В. Костюченко¹⁾ И. С. Данилович^{1, 2)}

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, dilaila-m@mail.ru;

²⁾Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10, 220076,
г. Минск, Беларусь, irina-danilovich@yandex.ru

В статье рассматривается неоднородность рядов метеорологических данных и вызванная этим проблема диагностики климатических изменений на территории Беларуси. Показаны причины, приводящие к неоднородности данных наблюдений. Проанализированы ряды данных метеорологических наблюдений за средней скоростью ветра на территории Беларуси.

Ключевые слова: неоднородность рядов; средняя скорость ветра; перенос площадки; закрытость метеоплощадки; флюгер; анеморумбометр; Беларусь.

POSSIBLE CAUSES OF WIND SPEED HETEROGENEITY ACROSS THE TERRITORY OF BELARUS

I. V. Kostyuchenko¹⁾, I. S. Danilovich^{1, 2)}

¹⁾Belarusian State University, Independence Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus, dilaila-m@mail.ru, ²⁾Institute of Environmental Management of the National Academy of Sciences of Belarus, st. F. Skorina, 10, 220076, Minsk, Belarus, irina-danilovich@yandex.ru

The article examines the heterogeneity of meteorological data series and the resulting problem of diagnosing climate change on the territory of Belarus. The reasons leading to the heterogeneity of observational data are described. Data series of meteorological observations on average wind speed on the territory of Belarus are analyzed.

Keywords: heterogeneity of time-series; average wind speed; closed weather site; weather vane; anemorumbometer; Belarus.

В последние десятилетия возрастают требования к данным гидрометеорологических наблюдений. Основными из них являются длительность ряда наблюдений, непрерывность наблюдений, а также однородность временных рядов.

Ряд метеорологических наблюдений считается однородным, если его характеристики изменяются от одного периода лет к другому в соответствии с реальными изменениями макропроцессов, оказывающих влияние

на погоду и климат данного района [1]. Нарушение однородности метеорологических рядов может возникать по нескольким причинам: вследствие переноса метеорологической площадки; изменения характера окружающей местности (вырубка леса, застройка или снос строений); изменение типов приборов, их установок или методики наблюдений.

Согласно [2], при подготовке климатологических рядов нужно подвергать их проверке в случае, имеющих причин возможных нарушений. При изменении величины в последующие годы на соответствующих графиках предполагают наличие методической неоднородности ряда.

В ходе исследования анализировались ряды данных среднегодовой скорости ветра 35 метеорологических станций сети Белгидромет Минприроды. Для анализа влияния переноса метеорологических площадок использовались сведения, приведенные в [3]. За период своего существования площадки 20 метеорологических станций претерпевали перенос на расстояние от 20 м до 20 км. Площадки метеостанций Полоцк и Витебск переносились 2 раза, а площадка метеостанции Гродно — 3 раза. В ходе анализа было выявлено 7 станций, на которых перенос площадки мог оказать влияние на данные. На рисунке 1 приведены примеры графиков средней годовой скорости ветра за период с 1950 г. по 2011 гг. на метеостанциях Шарковщина, Ганцевичи, Березино и Пинск.

Площадка метеостанции Шарковщина не переносилась и приведена для сравнения. На данном графике хорошо видно постепенное снижение среднегодовой скорости ветра, начиная с 70-х гг., что является характерной особенностью ветрового режима территории Беларуси.

Площадка метеостанции Ганцевичи была перенесена 1 раз на 20 м к юго-востоку от прежнего положения. Ее высота над уровнем моря не изменилась. Но в момент переноса площадки были спилены деревья, располагавшиеся в 20 м с юга и северо-востока от площадки, что привело к увеличению открытости. Этим можно объяснить отсутствие ярко выраженного снижения исследуемой характеристики ветра.

Площадка метеостанции Березино переносилась 1 раз (в 1987 г.) на 1,3 км к юго-юго-востоку от прежнего местоположения. На рисунке 1 хорошо виден скачок средней скорости ветра после переноса площадки. При этом сохраняется общая тенденция к уменьшению характеристики. Похожая ситуация сложилась в Пинске. Площадка была перенесена на 6,5 км к юго-западу. Данный перенос на графике хорошо виден, хотя общая тенденция к уменьшению средней скорости ветра не нарушена.

Оценка защищенности метеорологических площадок проводится во время инспекции при осмотре окружения площадки. Определяются элементы защищенности (деревья, здания, холмы), их высота, расстояние между метеорологической площадкой и элементом. Закрытость горизонта

определяется из центра метеоплощадки по румбам в соответствии с классификацией по В. Ю. Милевскому [4]. Защищенной считается площадка, которая окружена препятствиями, расположенными на расстояниях, меньших, чем 10-кратная их высота. Открытой считается площадка, рядом с которой препятствия расположены дальше, чем 20-кратная их высота. Полузащищенными называются площадки, расположение которых нельзя отнести ни к защищенным, ни к открытым.

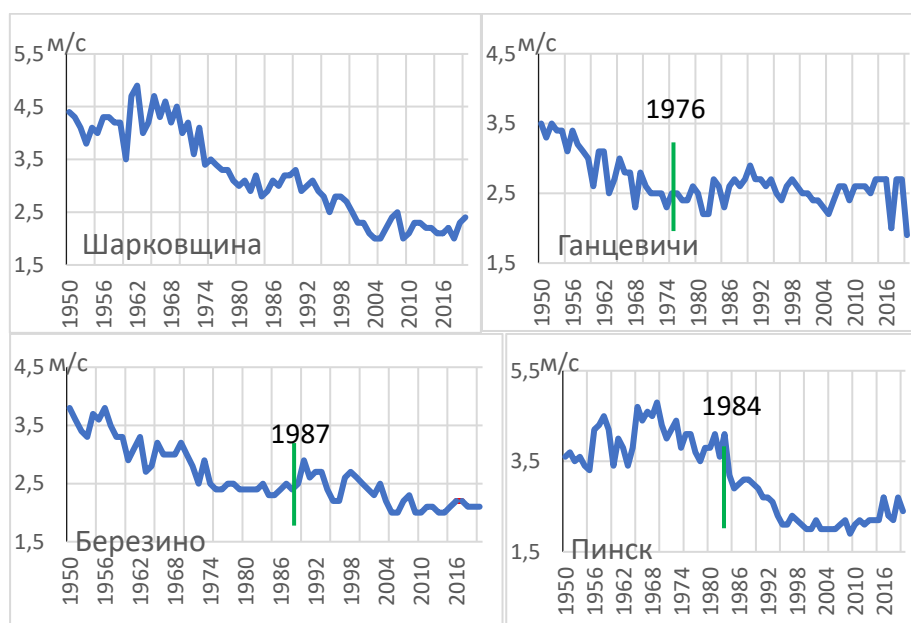


Рис. 1. Графики средней годовой скорости ветра за период с 1950 по 2020 гг. на метеостанциях Шарковщина, Ганцевичи, Березино и Пинск. Линией зеленого цвета указан год переноса метеорологической площадки

Из 35 исследуемых станций 5 имеют большую степень закрытости: Минск, Борисов, Березино, Воложин и Витебск. На метеостанции Минск с западного и северо-западного направлений площадка находится среди элементов защищенности выше флюгера, по остальным румбам — среди элементов защищенности ниже флюгера. На метеостанции Борисов по 5 из 8 румбов располагаются элементы защищенности ниже флюгера. Еще на 15 метеостанциях присутствуют отдельные элементы защищенности ниже флюге-ра по большинству румбов. Только площадки метеостанций Могилев, Славгород и Полесская не имеют элементов защищенности по всем 8 румбам.

Для оценки однородности рядов данных проанализированы типы приборов, используемых на метеостанциях Беларуси и время их установок. В период с 1965 по 1978 гг. проходила первая волна замены приборов на всей гидрометеорологической сети Беларуси. Флюгеры с тяжелой и легкой доской были заменены на анеморумбометры М-63 или М-63М.

Вторая волна замены ветровых приборов приходится на период с 2007 по 2022 гг. Ставятся датчики скорости ветра WAA 151 и направления ветра WAV 151, которые входят в состав АМИИС Vaisala, а также анеморумбометрами «Пеленг СФ-03».



Рис. 2. Графики средней годовой скорости ветра за период с 1950 г. по 2020 г. на метеостанциях Борисов, Житковичи, Лынтупы, Шарковщина. Линиями красного цвета отмечены года смены основного прибора для наблюдений за ветром

Анализ графиков средней годовой скорости ветра по станциям позволяет сделать вывод, что показатели скорости ветра, измеренные по разным приборам, несколько различаются между собой. Различия прослеживаются лучше во время первой волны замены приборов. Было выявлено 11 метеорологических станций из 35 проанализированных, на которых замена приборов могла повлиять на показатели ветрового режима. В качестве примеров таких станций приведены Борисов и Житковичи. Для сравнения также приведены графики средней годовой скорости ветра на станциях Шарковщина и Лынтупы, где такое влияние отсутствует, либо минимально.

Это объясняется тем, что период осреднения у флюгера и анемометра неодинаков: у флюгера двухминутное осреднение, у анемометра — десятиминутное. Кроме того, как показано в [5], при больших скоростях ветра показания, измеренные флюгером, систематически завышаются из-за нелинейности его шкалы. По этой причине для расчета максимальных скоростей ветра в данные о скорости, измеренные флюгером, начиная с

10 м/с, вводится поправочный коэффициент. Но средняя скорость ветра может быть рассчитана без введения поправок, если составляет менее 7 м/с.

Анализ влияния смены приборов на показания скорости осложняется тем, что обе волны замены датчиков приходятся на начало периода изменения климата и ветровых характеристик. Как показано в [7], помимо периода снижения среднегодовой скорости ветра, в последнее десятилетие начался обратный процесс. 5 станций уже имеют положительные величины трендов за период 2000-2021 гг. и еще на 3 станциях изменения близки к нулевой тенденции. Максимальный положительный тренд составляет $\sim 1,2$ м/с/22 года на метеостанции Горки. Однако при сопоставлении графиков можно легко заметить, что ветровые характеристики стали уменьшаться раньше, чем произошла смена прибора наблюдения за ветром. Аналогичная ситуация наблюдается в последнее десятилетие: рост характеристик начинается раньше, чем произошло переоснащение станций.

В исследовании проанализированы ряды метеорологических наблюдений за ветром путем сопоставления данных одной и той же станции по годам за период в 70 лет (с 1950 по 2020 гг.). Выявлено, что каждая из трех причин возникновения неоднородности рядов могла оказать влияние на данные в той или иной степени. При рассмотрении этих факторов в совокупности, было выделено 4 метеорологические станции, на которых это влияние зафиксировано в большей степени: Минск, Березино, Витебск, Воложин, и которые будут исключены из последующих исследований.

Библиографические ссылки

1. *Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я.* Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 295 с.
2. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами. /Под ред. Н. В. Кобышевой. С-Пб., 2008. с. 235.
3. Справочник по климату Беларуси. История и физико-географическое описание гидрометеорологических станций. Мн., 2003. 77 с.
4. *Милевский В. Ю.* Методика исследования скоростных роз и скоростных роз-диаграмм ветра / Труды ГГО имени А. И. Воейкова, выпуск 113. Л., 1960. С. 57-70.
5. *Млявая Г. В.* Пространственно-временная характеристика ветрового режима на территории Республики Молдова / Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора геонаучных наук, Кишинэу, 2016.
6. *Костюченко И. В., Данилович И. С.* Оценка трендов скорости ветра на территории Беларуси на современном этапе // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета, Минск, 11-13 октября 2023 г. С. 494-498.

УДК 551.583, 911.2, 911.52

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА: ПРОГНОЗ, РИСКИ, АДАПТАЦИЯ

Р. А. Колесников¹⁾, Н. С. Малыгина^{2,3)}, Д. В. Черных³⁾

¹⁾ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», ул. Республики, 20, 629008, г. Салехард, Россия, roman387@mail.ru; ²⁾Тюменский научный центр СО РАН, ул. Малыгина, 86, 625026, г. Тюмень, Россия, natmgn@gmail.com;

³⁾Институт водных и экологических проблем СО РАН, ул. Молодежная, 1, 656038, Барнаул, Россия, chernykh@mail.ru

Выполнен прогноз климатических изменений для Ямало-Ненецкого автономного округа до конца 21 в. Обозначены основные риски последствий изменений климата для региона. Представлены данные о фактическом ущербе от прогнозируемых последствий изменений климата. Предложено оптимизировать имеющийся региональный план адаптации к климатическим изменениям.

Ключевые слова: климатические изменения; Арктика; Ямало-Ненецкий автономный округ; климат; план адаптации; митигация рисков; адаптация.

CLIMATE CHANGES IN THE TERRITORY OF THE YAMAL- NENETS AUTONOMOUS DISTRICT: FORECAST, RISKS, ADAPTATION

R. A. Kolesnikov¹⁾, N. S. Malygina^{2,3)}, D. V. Chernykh³⁾

¹⁾Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, st. Respubliki, 20, 629008, Salekhard, Russia, roman387@mail.ru; ²⁾Tyumen Scientific Center from the Russian Academy of Sciences, st. Malygina, 86, 625026, Tyumen, Russia, natmgn@gmail.com;

³⁾Institute of Water and Environmental Problems from the Russian Academy of Sciences, st. Molodezhnaya, 1, 656038, Barnaul, Russia, chernykh@mail.ru

A forecast of climate change for the Yamalo-Nenets Autonomous District until the end of the 21st century has been completed. The main risks of climate change consequences for the region have been identified. Data on actual damage from the impact of climate change is presented. It is proposed to optimize the existing regional plan for adaptation to climate change.

Keywords: climate change; Arctic; Yamalo-Nenets Autonomous Okrug; climate; adaptation plan; risk mitigation; adaptation.

В последние десятилетия вопрос климатических изменений и адаптации к ним стал одним из наиболее актуальных [1]. Не является исключением и Ямало-Ненецкий автономный округ, расположенный в Арктической зоне Российской Федерации.

Природно-климатические условия региона (в том числе широкое распространение многолетнемерзлых пород, особенности рельефа, почвенно-растительного покрова и т. д.) определяют разнообразное проявление последствий потепления климата и обуславливают появление рисков, выражающихся в широком комплексе природных процессов, опасных для хозяйственной деятельности человека. Ущерб, причиняемый объектам хозяйственной и социальной инфраструктуры Ямало-Ненецкого автономного округа здоровью населения, определяет актуальность прогноза изменений климата и показателей состояния окружающей среды, а также разработку и реализацию адаптационных мероприятий.

Настоящая работа выполнена при поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках реализации проектов «Современные климатические изменения и их влияние на ландшафтную структуру Ямало-Ненецкого автономного округа» (2021, 2022 гг.) и «Региональный план адаптации к изменениям климата Ямало-Ненецкого автономного округа» (2022 г.). Отдельные положения разработаны в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

Результаты расчетов CMIP 6 показали, что наиболее значительное повышение приземной температуры воздуха в регионе (на 8,5 °C выше значений климатической нормы 1991–2020 гг.) возможно при реализации «максимального» сценария SSP5-8.5, когда в среднем рост приземной температуры будет происходить со скоростью около 1 °C в десятилетие. Такое стремительное потепление возможно при увеличении выбросов парниковых газов и усилении эксплуатации ресурсов ископаемого топлива. По данным «минимального» сценария SSP1-2.6 к концу XXI в. средняя приземная температура воздуха в регионе повысится на 2,6 °C относительно среднего значения за период 1991–2020 гг.

Вероятностные изменения в режиме увлажнения на территории ЯНАО до конца столетия, описываемые количеством поступающих осадков, показывают незначительную динамику их роста до 2050-х гг. с последующей стабилизацией значений на уровне 1,7 мм/день при сценарии SSP1-2.6. Значительное увеличение осадков к 2100 г. вероятно при сценарии SSP5-8.5, когда их количество будет в среднем достигать почти 2 мм/день. Однако следует сказать, что такой существенный рост дают лишь немногие модели из Проекта сравнения объединенных моделей CMIP 6.

Описанные изменения основных параметров климатической системы на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, а именно рост температуры и увеличение осадков, с высокой вероятностью проявятся в более частых и интенсивных экстремальных природных явлениях и связанных с ними ущербах для социально-экономической системы региона. На основании данных, представленных органами муниципальной и исполнительной власти Ямало-Ненецкого автономного округа, было установлено, что за период 2010–2021 гг. фактический ущерб от воздействия климатических факторов составил 11,664 млрд. рублей, при этом в целом ряде случаев несмотря на причинение ущерба информация о его величине в денежном эквиваленте отсутствует.

Современное потепление климата сопровождается деградацией многолетнемерзлых пород. Изучение динамики их состояния показывает, что за период с 1980 по 2021 гг. в ЯНАО изменилась глубина залегания кровли мерзлоты. Она теперь находится на глубине 6–11 м, а не на 2–3 м, как было ранее. Температура мерзлых грунтов на глубине 10 м в разных ландшафтных условиях увеличилась от 1,4 °С до 4,3 °С. В результате несущая способность мерзлых горных пород снизилась на 5–30 % [2]. При дальнейшем потеплении наиболее интенсивно многолетнемерзлые породы деградируют в южной части тундровой зоны и лесотундре, а на юге ЯНАО острова мерзлоты будут оттаивать до полного протаивания мерзлых пород на глубину 10 м. К середине XI в. весьма опасно снижение несущей способности мерзлых пород в г. Новый Уренгой, г. Салехард, г. Лабытнанги, г. Надым, Приуральском районе. В г. Муравленко, г. Губкинский, г. Ноябрьск, Красноселькупском и Шурышкарском районах, несущая способность мерзлых пород снизится более чем на 58 % вплоть до полной ее потери на глубине 10 м.

Потепление климата повлияет на активность термокарстовых процессов ввиду увеличения глубины сезонного оттаивания в сильнольдистых грунтах, которые будут давать осадку при оттаивании, приводить к понижениям в рельефе и образованию термокарстовых воронок, западин, блюдеч протаивания, котловин термокарстовых озер. Наиболее интенсивно термокарстовые процессы пойдут в северных районах ЯНАО. Здесь при сплошном распространении многолетнемерзлых пород и наличии сильнольдистых грунтов повышение температуры воздуха и увеличение осадков усилят риски развития термокарстовых процессов.

В ближайшей перспективе рост температур воздуха продолжится, что в свою очередь, повлияет на ряд природных процессов, а также на жизнедеятельность человека. Влияние потепления и его последствий на

все стороны жизнедеятельности человека будет возрастать. Следовательно, необходимо тем или иным образом приспособиться (адаптироваться) к меняющимся условиям.

Анализ адаптационной практики арктических стран за последнее десятилетие указывает на начавшийся процесс формирования системы механизмов и инструментов адаптационного управления, сочетающей традиционные методы и инновационные инструменты. Их набор включает оценки последствий и рисков для отдельных территорий и стейкхолдеров; государственное регулирование, принятие законодательства, строительных стандартов и норм; меры по предупреждению и снижению гидрометеорологических рисков, защите населения и критической инфраструктуры при стихийных бедствиях; стратегии и программы, территориальное планирование с учетом климатического фактора; институциональные структуры; экономические инструменты; новые виды продукции, услуг, маркетинга; координацию, партнерство, сотрудничество; научные исследования и мониторинг; технологические, инженерные инновации.

С целью адаптации к происходящим изменениям в ЯНАО разработан и реализуется региональный план адаптации, включающий 50 различных мероприятий. В план входят как мероприятия, направленные на адаптацию, так и на митигацию рисков. Наибольшее количество мероприятий связано с адаптацией к деградации несущей способности многолетнемерзлых пород, адаптации строительства и эксплуатации капитальных объектов на этих породах. Однако проведенные исследования показывают, что кроме рисков, связанных со снижением несущей способности многолетнемерзлых пород, изменения климата несут риски, связанные с активизацией термокарста, термоэрозии и пучения. По берегам рек, озер и заливов Карского моря развиваются криогенные оползни, солифлюкция, термоабразия. Идет переработка берегов озер [3]. Незначительный уклон поверхности и наличие многолетнемерзлых пород затрудняют сток осадков и талых вод, в результате чего происходит подтопление территории, ее заболачивание. Интенсифицируются процессы плоскостной эрозии. На реках во время вскрытия ото льда наблюдаются наводнения. Летом интенсивно горит лесной фонд, возникают тундровые пожары.

Увеличение частоты зимних оттепелей, сопровождающихся таянием снега и образованием корки льда на поверхности почвы и растений, препятствует доступу оленей к кормам. Возникают зимние и ранневесенние падежи домашних оленей [4].

Дальнейшее потепление приведет к изменениям флоры и фауны, появятся новые виды, изменится среда обитания и миграционные характеристики. Уже сейчас фиксируется увеличение зелёной растительности и

распространение кустарников в тундре. Произойдет изменение характеристик почвы. Повышение температур может привести к возникновению эпидемий, эпизоотий и эпифитотий [5]. В связи с этим требуется переработка регионального плана адаптации к климатическим изменениям в ЯНАО с обязательным включением в него мероприятий, направленных на адаптацию к вышеуказанным климатическим рискам.

Библиографические ссылки

1. *Мохов И. И.* Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 1. с. 3–14.
2. Мониторинг криолитозоны и создание системы геотехнического мониторинга в Ямало-Ненецком автономном округе в 2021 году, в рамках проекта «Прогноз деградации мерзлоты и технология автоматизированного контроля несущей способности мёрзлых грунтов под объектами капитального строительства: отчет о НИР / ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»; рук. Г.Н. Краев. Салехард, 2021. 248 с.
3. *Кислов А. В., Аляутдинов А. Р., Баранская А. В., Белова Н. Г., Богатова Д. М., Викулина М. А., Железнова И. В., Суркова Г. В., Краев Г. Н.* Прогноз изменений климата и интенсивности экзогенных процессов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 2. С. 233–240.
4. *Колесников Р. А., Локтев Р. И., Синицкий А. И., Камнев Я. К., Куликова О. Я.* Действие экологических факторов, как причина зимнего и ранневесеннего падежа оленей в сеяхинской тундре полуострова Ямал // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2018. № 3 (100). С. 38–45.
5. *Колесников Р. А., Черных Д. В., Малыгина Н. С.* Экологические последствия климатических изменений и адаптация к ним в Ямало-Ненецком автономном округе // Международная конференция «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат-2023». 9–13 октября 2023 года. Сборник тезисов докладов. М.: Физмат-книга, 2023. С. 190.

УДК 551.5

ВЛИЯНИЕ ОРОГРАФИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ВЕТРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКОВ В РОССИИ

А. В. Кочин

*Центральная аэрологическая обсерватория, ул. Первомайская 3, 141701,
г. Долгопрудный, Россия, amarl@mail.ru*

Климатическое распределение осадков зависит от многих причин, среди которых удаленность от океана, орография и направление преобладающих ветров, которое определяется общей циркуляцией атмосферы (ОЦА). Эффект горного барьера уменьшает влагосодержание воздуха с подветренной стороны, поэтому орография определяет среднее количество осадков. Над территорией России ОЦА проявляется в виде западных ветров, которые вызывают уменьшение осадков на подветренной стороне Уральских гор и Среднесибирского плоскогорья.

Ключевые слова: распределение осадков; горный барьер; общая циркуляция атмосферы; западные ветра; подветренная сторона.

THE INFLUENCE OF OROGRAPHY AND THE DIRECTION OF PREVAILING WINDS ON PRECIPITATION DISTRIBUTIONS IN RUSSIA

A. V. Kochin

*Central Aerological Observatory, Pervomaiskaya str. 3,
141701, Dolgoprudny, Russia, amarl@mail.ru*

The climatic distribution of precipitation depends on many reasons, including distance from the ocean, orography and the direction of prevailing winds, which is determined by the general circulation of the atmosphere (OCA). The effect of the mountain barrier reduces the moisture content of the air downwind, so orography determines the average amount of precipitation. Over the territory of Russia, OCA manifests itself in the form of westerly winds, which cause a decrease in precipitation on the leeward side of the Ural Mountains and the Central Siberian Plateau.

Keywords: precipitation distribution; mountain barrier; general atmospheric circulation; westerly winds; downwind.

Закономерности климатического распределения осадков в заметной степени обусловлены орографической деформацией преобладающего ветра. Основной вклад в пространственную изменчивость осадков вносит орографическая составляющая, ее общий вклад в среднем достигает 50-60 %

от величины месячных сумм. Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) осуществляет постоянный и однонаправленный перенос воздушных масс, поэтому ее влияние проявляется в уменьшение влагосодержания воздуха с подветренной стороны горного барьера. Таким образом взаимодействие общей циркуляции атмосферы и орографии определяет среднее количество осадков по земному шару [1, 2, 3, 4]. Над территорией России ОЦА проявляется в виде преобладающих западных ветров умеренного пояса, дующие примерно между 35 и 65° северной широты. Согласно сложившимся представлениям, структура воздушных потоков в общей циркуляции атмосферы выглядит в соответствии с рисунком 1.

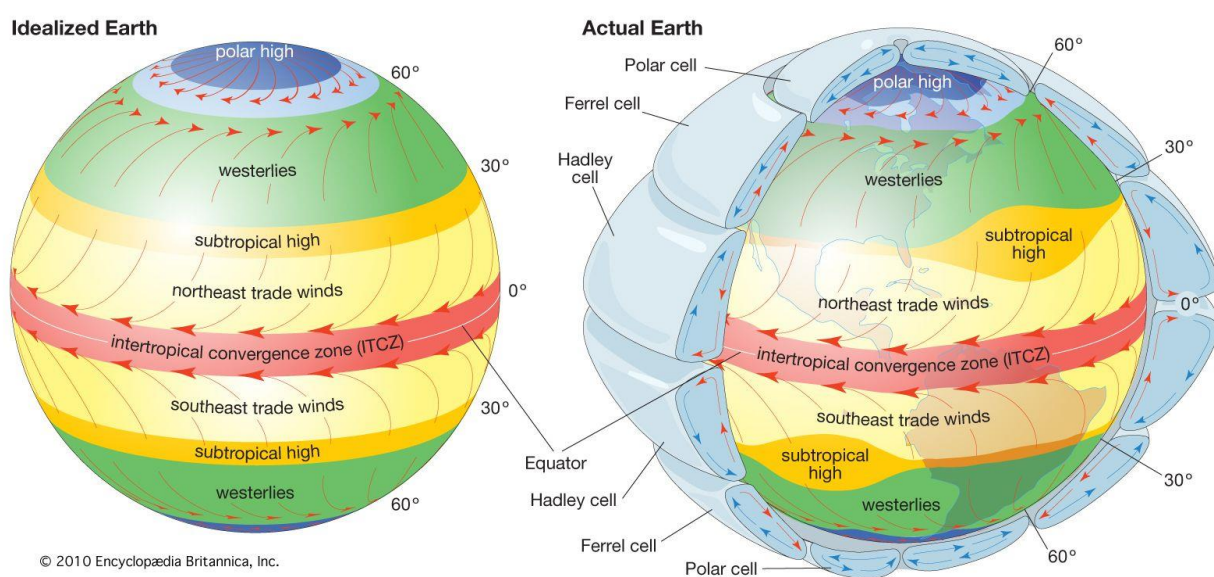
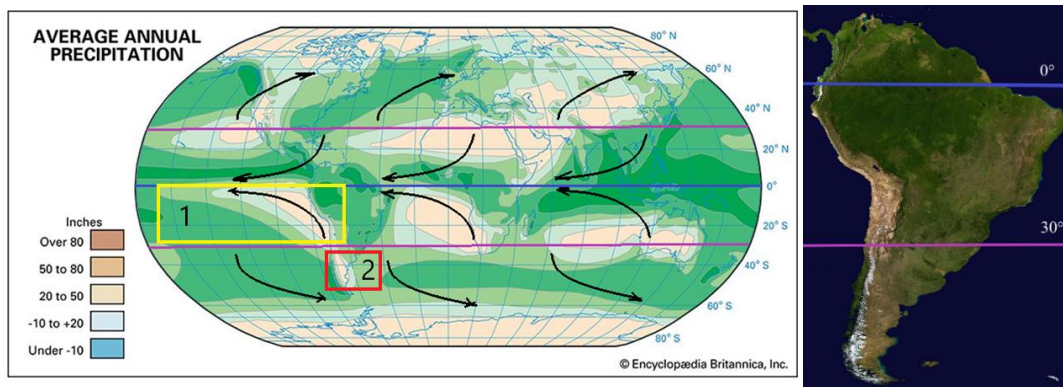


Рис. 1. Структура воздушных потоков в общей циркуляции атмосферы. Идеализированная структура показана слева, реальная структура показана справа.

Пассатные ветры расположены в области от экватора до 30° широты в обоих полушариях. Они отклоняются в западном направлении. Область умеренных широт от 35 до 65° заполнена западными ветрами умеренного пояса, которые отклоняются в восточном направлении. Карта распределения годового количества осадков показана на рисунке 2. Влияние меридиональной составляющей пассатов в области от экватора до 30° широты в обоих полушариях отчетливо проявляется как в формировании зон осадков с высокой интенсивностью, так и зон с уменьшенной интенсивностью осадков.



Фиолетовые линии соответствуют широтам 30° . Желтым и красным Прямоугольниками выделены области пассатных и западных ветров, соответственно. Спутниковая карта рельефа Южной Америки показана справа

Рис. 2. Карта распределения годового количества осадков (слева). Стрелки показывают направления воздушных потоков в ОЦА в соответствии с рис. 1.

Зональное распределение годового количества осадков имеет заметную неоднородность (см. рис. 2). В качестве примера выбраны ярко выраженные особенности в районе Южной Америки. В выделенной желтым прямоугольником области 1 зона минимальных осадков совпадает с направлением воздушных потоков в пассатных ветрах (рис. 1), а в области умеренных широт (выделено красным прямоугольником на рис. 2) зона минимальных осадков также совпадает с направлением воздушных потоков в западных ветрах умеренного пояса.

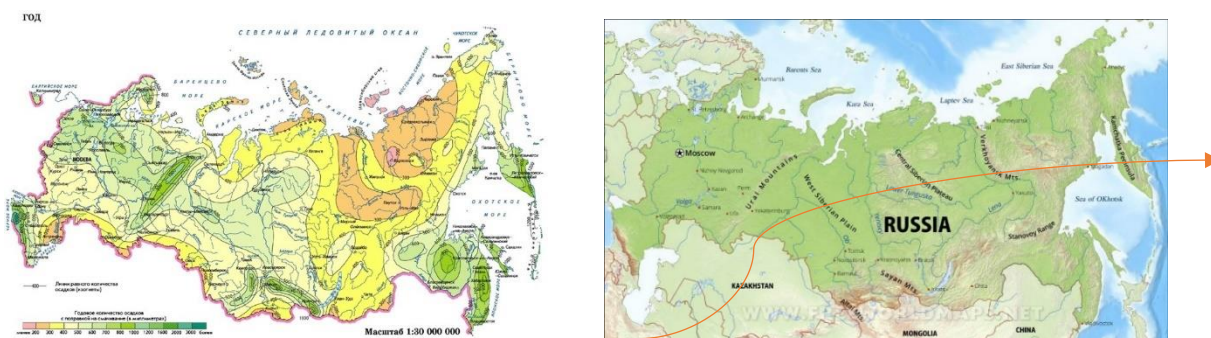


Рис. 3. Распределение годового количества осадков над территорией России (слева) и карта рельефа (справа), на которой красной линией показано примерное направление воздушных потоков в западных ветрах умеренного пояса [5].

Аналогичным образом влияние горного барьера проявляется в распределении годового количества осадков над Россией (рис. 3), что вызывает уменьшение осадков с подветренной стороны Уральских гор и Среднесибирского плоскогорья [3, 5] из-за влияния западных ветров.

Аналогичные особенности имеют также распределение облачности, снегового покрова и распределение скорости ветра (рис. 4). Везде общая картина сохраняется, особенно резко проявляется влияние Уральских гор.

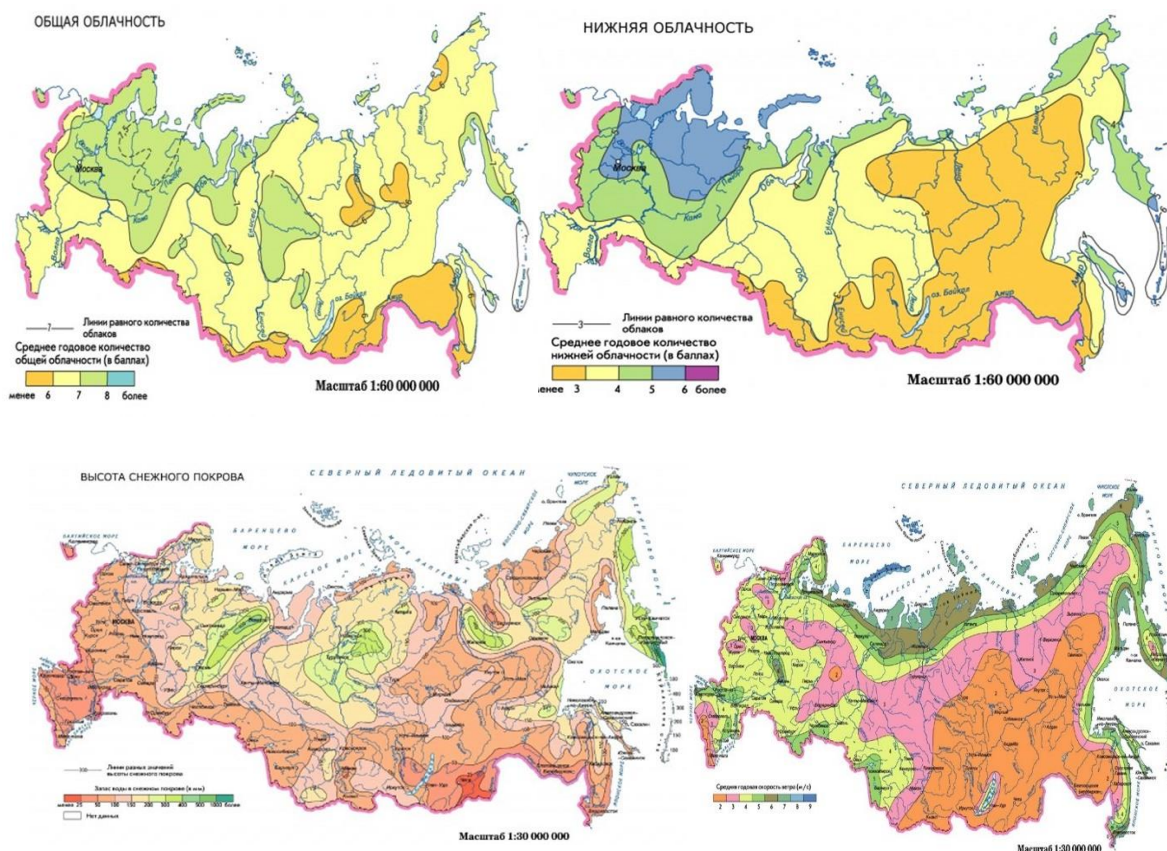


Рис. 4. Распределение облачности, снегового покрова и распределение скорости ветра.

Основной вклад в пространственную изменчивость вносит орографическая составляющая, ее общий вклад в среднем достигает 50-60 % от величины месячных сумм осадков. Влияние орографической составляющей необходимо учитывать для возобновляемых источников энергии, потому что она определяет, как наличие облачности (солнечные электростанции), так и интенсивность ветров (ветроэнергетика). Особенности процессов как по месяцам, так и в течении года, зависят от характера взаимодействия потоков с конкретным горным барьером и интенсивности потоков в ОЦА, что является предметом исследований в нашей стране [6]. За рубежом процесс взаимодействия воздушных потоков в атмосфере и конкретного горного барьера является предметом исследовательских программ под руководством ВМО [7, 8].

Распределения осадков и других параметров атмосферы, как следует из рисунков 2, 3 и 4, подвержены действию горного барьера на протяже-

нии несколько тысяч км. Такая дистанция восстановления параметров воздуха трудно объяснима даже над сушей, не говоря уже о водной поверхности. Объяснением может служить возникновение циркуляции в виде конвективной ячейки позади горного барьера. Масса воздуха не изменяется при прохождении горного массива, поэтому приземное давление остается неизменным. Плотность теплого воздуха и вертикальный градиент давления после барьера меньше, поэтому на некоторой высоте возникает зона повышенного давления, которая вызывает появление конвективной ячейки позади горного барьера (рис. 5). Над относительно холодной поверхностью суши и, особенно, океана, формируется температурная инверсия, которая блокирует взаимодействие с поверхностью и позволяет циркуляции существовать продолжительное время.

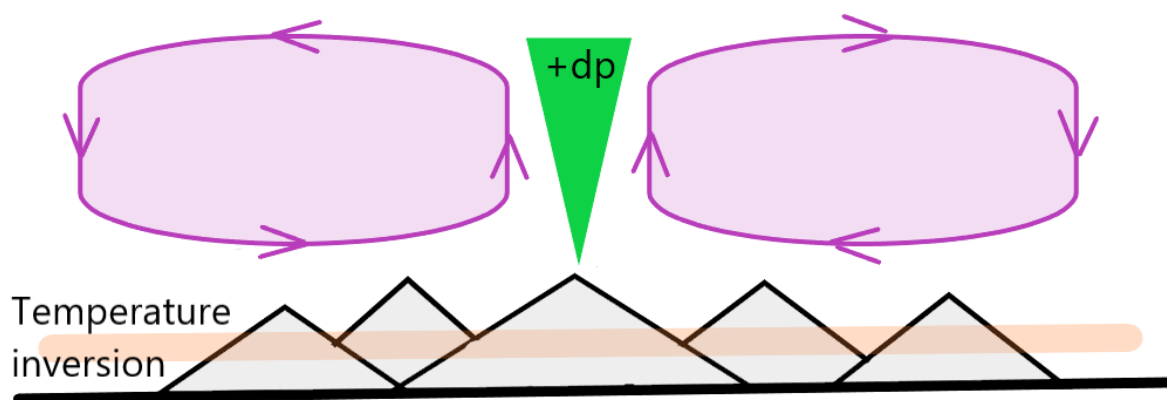


Рис. 5. Конвективная ячейка позади горного барьера. Фиолетовым показана циркуляционная ячейка, зеленым показана область повышенного давления, оранжевым выделена инверсия над поверхностью позади горного барьера.

Важнейшим фактором, определяющим среднюю интенсивность осадков для масштаба времени, больше синоптического, является интенсивность потоков в ОЦА. Однако именно измерению интенсивности потоков в ОЦА пока еще не уделяется достаточно внимания. Над поверхностью Земли располагается слой трения (планетарный пограничный слой) толщиной порядка 1,5 км, в котором скорость упорядоченного потока в ОЦА уменьшается от единиц м/с в свободной атмосфере над пограничным слоем до нуля на поверхности. Скорость воздушного потока измеряется на метеостанциях на высоте 10 метров над поверхностью. Следовательно скорость потока в ОЦА не может быть определена на основе наземных метеорологических наблюдений на поверхности Земли, потому что там она практически равна нулю. Аэрологическое зондирование не обеспечивает необходимой точности измерения направления ветра при скорости

потока менее 2 м/с. Дистанционные спутниковые методы оценивают скорость ветра по смещению неоднородностей (облаков и подобных неоднородностей). Эти неоднородности возникают из-за мезомасштабных процессов и также перемещаются вместе с ними. Мезомасштабные процессы имеют свою собственную скорость движения, которая на порядок величины больше скорости потока в ОЦА и имеет собственное (несимметричное в общем случае) распределение направления потоков. Таким образом непосредственное измерение скорости потока воздуха в ОЦА существующими приборами и методами встречает заметные трудности.

Аналогичная проблема возникает при исследовании близкого по смыслу к ОЦА процессу, а именно колебания Маддена-Джулиана [9], которое прослеживается в полях уходящей длинноволновой радиации, а также зональной составляющей ветра на уровне поверхностей 850 и 200 гПа в пределах тропиков, что используется для ее прогнозирования. Информация о состоянии КМД является частью оперативной продукции мировых метеорологических центров (например, Национального метеорологического агентства США, Токийского климатического центра, Бюро метеорологии Австралии). Таким образом для оценки интенсивности ОЦА можно использовать уже разработанный индекс RMM, использованный в [9], или разработать новый алгоритм на основе разницы зональных составляющих ветра под тропопаузой и над ней [10]. Отдельной задачей, которая еще не сформулирована, является прогноз средних сумм атмосферных осадков на базе оценки интенсивности ОЦА и характера взаимодействия потоков с конкретным горным барьером. Из качественных соображений можно ожидать роста отношения интенсивности осадков до барьера и после него (экранирующий эффект) с ростом скорости потоков в ОЦА. Прогноз изменения климата внутриконтинентальных районов возможен при учете как эпох циркуляции, так и условий орографического барьера.

Библиографические ссылки

1. *C. David Whiteman*. Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications. Oxford: Oxford University Press, 2000. DOI: 10.1093/oso/9780195132717.001.0001
2. *Joseph Galewsky*. Rain shadow development during the growth of mountain ranges: An atmospheric dynamics perspective. Journal of Geophysical Research Atmospheres/ 2009/ DOI: 10.1029/2008JF001085
3. *Хргиан А. Х.* О Влиянии Уральского хребта на облачность и осадки. // Метеорология и гидрология, 1961, № 3. С. 10-17
4. *Campbell D. Watson*. Sensitivities of Orographic Precipitation to Terrain Geometry and Upstream Conditions in Idealized Simulations. Journal of the Atmospheric Sciences. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0198.1>
5. [Electronic resource] <https://geographyofrussia.com/atmosfernye-osadki-v-rossii/>

6. Моделирование орографической составляющей осадков на примере Эльбруса © 2022 г. П. А. Торопов, А. А. Шестакова³, Ю. И. Ярынич¹, С. С. Кутузов² DOI: 10.31857/S2076673422040146 Лед и снег. 2022 № 4.
7. WMO (1986). Scientific results of the Alpine Experiment (ALPEX). Technical report, WMO/TD No. 108, GARP Publications Series No. 27, volume 1-2, 710 pp.
8. *Lena Pfister & all.* The TEAMx-PC22 Alpine field campaign – Objectives, instrumentation, and observed phenomena. 2024. <https://arxiv.org/abs/2401.06500>.
9. *Набокова Е.* Основные особенности и характеристики колебания Маддена-Джулиана по данным реанализа ERA5. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-6-19>. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022 № 4.
10. *Кочин А. В.* Оценка скорости потока в общей циркуляции атмосферы по разнице зональных скоростей на тропопаузе. Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ РАН ноябрь 2023. Москва DOI 10.21046/21DZZconf-2023a; ISBN 978-5-00015-065-8.

УДК 551.5+515.9(476) (043)

ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ

Е. В. Логинова

*Белорусский государственный университет пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, lenaminsk3@mail.ru*

Рассматривается технология гидроэкологической оценки территории, принципы выбора модельных водных объектов и характеристик качества воды. Приводится структура информационного обеспечения гидроэкологической диагностики, классификация водных объектов в целях оценивания качества воды и донных отложений.

Ключевые слова: качество воды; гидроэкологическая оценка; индекс загрязнения воды; использование водных объектов.

TECHNOLOGY OF HYDROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORY

E. V. Loginova

*Belorussian State University,
Minsk, Belarus, lenaminsk3@mail.ru*

The technology of hydroecological assessment of the territory, the principles of selection of model water bodies and water quality characteristics are considered. The structure of information support for hydroecological diagnostics and the classification of water reservoirs for the purpose of assessing the quality of water and bottom sediments are presented.

Keywords: water quality; hydroecological assessment; water pollution index; use of water reservoirs.

Любая гидроэкологическая оценка должна начинаться с выбора модельных водных объектов и показателей качества воды, причем ключевым понятием должно являться понятие экологического состояния водного объекта. В экодиагностике состояние объекта характеризуется переменной, которая может быть величиной одномерной и многомерной, непрерывной и дискретной, качественной и количественной, скалярной и векторной. Переменная состояния может быть определена посредством измерения конкретного свойства объекта или исчислена по непосредственным наблюдениям как среднее, предельное, относительное и т. п. значение этого свойства. К переменным второго типа часто применяют термин «показатель». «Показатель» выражается числом-характеристикой какого-

либо свойства водного объекта, процесса или решения. Переменная, используемая при решении задач классификации или шкалирования, называется признаком. Обычно признаки играют роль критериев при оценке и выборе состояния из некоторого ансамбля состояний.

Водный геокомпонент любой территории представляется в виде множества водных объектов трех типов. Следует существенное внимание уделить временно функционирующим объектам (ложбинам стока, ручейковой сети и т. д.). Водные объекты могут быть классифицированы по антропогенной нагруженности (квази-естественные, антропогенно трансформированные, искусственные), по функциональным признакам (водоемы, водотоки и объекты склонового или сезонного стока).

Тип 1 включает озера (часто в квази-естественном состоянии), водохранилища, пруды, затопленные карьеры, городские болота, временно заполняемые водой понижения в рельефе.

Тип 2 включает малые реки (в разной степени трансформированные), ручьи, каналы, канавы, водопроводы, водоводы.

Тип 3 включает естественные ложбины стока, временную ручейковую сеть и плоскостной сток на склонах, в разной степени покрытых растительным покровом, без него, с искусственным покрытием.

При выборе водных объектов для исследования необходимо опираться на несколько положений.

1) Объекты должны быть характерны для выбранной территории и относиться к нескольким типам водопользования:

- загрязненные водоемы, испытывающие сильное влияние сточных вод промышленного и бытового происхождения, используемых для технического водоснабжения или в качестве прудов-отстойников;
- рекреационные водоемы;
- водоемы-источники питьевого водоснабжения;
- водоемы, которые не используются в хозяйстве.

2) Водоемы, выбранные в качестве объектов исследования, должны быть доступными для многократных наблюдений в течение года, должны иметь удобные спуски к воде и не должны пересыхать.

3) Изучение выбранных объектов рассматривается как актуальная задача, т. е. состояние данных водных объектов является крайне важным для определения экологического состояния данной территории.

Выбор характеристик для оценки гидроэкологического состояния территории основывается на следующих принципах:

- важность показателей в экологическом и токсикологическом планах;
- возможность экспрессных методов оценок качества воды;
- информативность и долговременность наблюдения за необходимыми ингредиентами в выбранных водоемах.

Неформализованная система оценки должна опираться на имеющуюся нормативную базу ГОСТов и других регламентирующих документов, минимальный математический аппарат инженерных и инженерно-гидрологических моделей и широкое использование разноплановой общей и отраслевой природоохранной и природопользовательской информации из разных источников.

Структура информационного обеспечения гидроэкологической диагностики должна включать крупные блоки данных, перечисленные ниже.

1. Физико-географические условия и морфометрические особенности водного объекта. Используются материалы о геокомпонентах водосбора и водного объекта, его размерах, морфометрических показателях объекта, объеме (запасе) воды, структуре водного баланса и гидрологическом режиме.

2. Физические свойства и гидрологический режим среды обитания. Характеризуются такими показателями, как температура воды, цветность, прозрачность, скорость и направление течения, колебания уровня, толщина льда и продолжительность ледостава, наличие сезонной стратификации, мутность воды и электропроводность, особенности маловодной и многоводной фаз и др.

3. Химический состав и химические свойства. Включает содержание в воде главных ионов (гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, кальция, магния, натрия и калия), биогенов (фосфаты, аммонийный, нитратный и нитритный азот), органического вещества, растворенного кислорода, основных загрязняющих веществ, а также водородный показатель (рН). Список показателей химического состава воды должен быть особым для каждого водного объекта в зависимости от его характеристик водопользования на нем. Также необходимо оценивать возможность комплексообразования в толще воды, донных отложениях и поверхностной пленке воды, так как все эти части водоема имеют различные возможности для образования комплексов и образования более токсичных веществ из тех, которые поступают в водоем в результате антропогенной деятельности или из природных источников.

4. Гидробиологический и микробиологический режим. Характеризуется данными о видовом составе гидробионтов, численности, биомассе и продуктивности, параметрах сезонных сукцессий (даты и величина экстремальных значений численности и биомассы фито-, зоо-, бактериопланктона и др.), о характеристиках трофических цепей, деструкции органического вещества, индексах видового разнообразия.

5. Трофический статус водного объекта. Комплексный показатель кормности экосистемы, зависит от уровня первичной продукции. Определяется по разным критериям на основе различных показателей и их комплексов. Главной его задачей является оценка первичной продуктивности.

Известны интегральные показатели – индексы, позволяющие идентифицировать уровень трофности водоема. При усилении проточности водных экосистем первичная продуктивность не может быть мерой уровня трофности из-за высокой нагрузки аллохтонным органическим веществом. Для водотоков определяют трофосапробность или оценивают качество воды.

6. Качество воды. Оценивается посредством гидрофизических и гидрохимических показателей (жесткость, агрессивность и др.), методов биоиндикации и биотестирования (показатели острого и хронического токсического воздействия на организмы), класса качества воды, предельно допустимых концентраций (ПДК) и классов опасности загрязняющих веществ, обобщенных индексов качества воды, а также комплексных экспертных заключений на основе частотных оценок отдельных факторов и классов опасности веществ по их ПДК.

7. Антропогенное воздействие. Большая группа характеристик, среди которых основными являются уровень водопотребления и критические пределы изъятия воды из речной сети, характер водопотребления; сброс сточных вод, их загрязнение и очистка; экологически обоснованные нормативы сброса биогенных веществ; состояние подтопления территории (уровень грунтовых вод не глубже 1 м от поверхности земли) и угроза ее затопления (критические уровни воды в реках и водоемах).

УДК 551.588.7 551.525

ОСТРОВ ТЕПЛА МОСКВЫ И ЕГО КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М. А. Локощенко¹), Л. И. Алексеева¹), Е. А. Енукова²), И. А. Корнева³)

¹Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация, loko@geogr.msu.ru; ²Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Московская область, Российская Федерация; ³Институт географии РАН, г. Москва, Российская Федерация

По данным метеорологической сети и спутников системы MODIS исследован городской «остров тепла» Москвы: получены оценки его интенсивности в поле температуры воздуха, поверхности и верхних горизонтов почвы, рассмотрен ее годовой ход, а также многолетние изменения. Показано, что за последние 30 лет рост интенсивности «острова тепла» замедлился и, видимо, сошел на нет как на высоте 2 м, так и на поверхности, тогда как на глубине 160 см отмечено даже заметное ослабление этого явления.

Ключевые слова: городской «остров тепла»; температура воздуха, поверхности и почвы; спутники; радиометры MODIS.

URBAN HEAT ISLAND IN MOSCOW AND ITS CLIMATIC PARAMETERS

М. А. Lokoshchenko¹), L. I. Alekseeva¹), Ye. A. Erukova²), I. A. Korneva³)

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russian Federation, loko@geogr.msu.ru; ²Dubna' State University, Dubna, Moscow region, Russian Federation ³Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

According to the data of the meteorological network and satellites of the MODIS system, the 'urban heat island' of Moscow has been investigated: estimates of its intensity in the field of the air temperature, surface and in the upper soil, its annual course, as well as long-term changes have been obtained. It is shown that over the past 30 years, the growth of the 'urban heat island' intensity has slowed down and, apparently, has gone to nothing both at a height of 2 m and in the surface temperature field, whereas at a depth of 160 cm, even a noticeable weakening of this phenomenon has been noted.

Keywords: urban heat island; air, surface and soil temperature; satellites; MODIS radiometers.

Общая характеристика «острова тепла» Москвы. Физико-географическое явление «острова тепла» — результат изменений в радиационном, тепловом и водном балансах поверхности и приземного воздуха в городах.

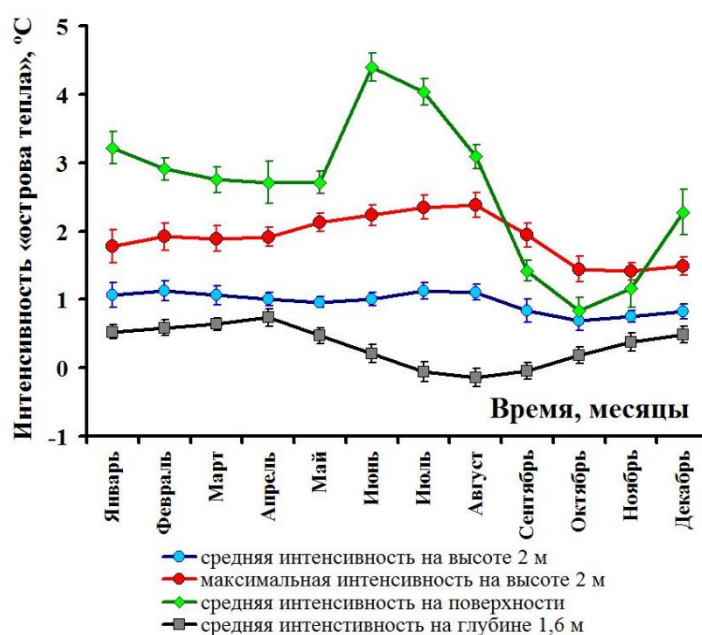
Он создается как прямыми антропогенными выбросами тепла, так и опосредованным влиянием человеческой деятельности: городской индустриальной дымкой, создающей дополнительное противоизлучение, уменьшением в городах затрат тепла на испарение осадков и транспирацию растениями и др. [1].

Москва служит удачным объектом исследований этого явления благодаря своей простой геометрической форме (близкой к эллипсу в ее традиционных границах), общему последовательному уменьшению плотности городской застройки от центра к периферии, а также ровному рельефу и отсутствию обширных водоемов. Исследованы данные метеорологической сети, а также радиометрических измерений с борта долгоживущих космических спутников системы MODIS (Terra и Aqua), находящихся на орбите с 1999 г. В Москве и Подмосковье работают соответственно 5 и 14 метеорологических станций, на которых регулярно измеряется температура воздуха T . Помимо этого, на двух московских и трех подмосковных станциях измеряется также температура почвы и грунта T_g на различных глубинах вплоть до 3,2 м. Измерения температуры поверхности T_p производятся радиометрами MODIS ежедневно при пролете обоих спутников над Московским регионом с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$ и пространственным разрешением 1 км [2].

Основной характеристикой «островов тепла» служит их интенсивность, то есть разность температуры в городе (или в центре города) и в окружающей сельской местности [1]. Соответственно, возможны два подхода к оценке этого показателя: расчет средней или максимальной по пространству интенсивности «острова тепла» при сравнении либо всей городской площади, либо только городского центра (точнее, наиболее теплой его части) с загородной местностью [3]. В первом случае интенсивность равна разности средних значений T по выборкам всех городских m и всех загородных метеорологических станций n . Как показано в [3,4], средняя интенсивность «острова тепла» Москвы в среднем за несколько последних лет при $m = 5$ и $n = 13$ составляет $\sim 1,0^\circ\text{C}$, а максимальная в пространстве интенсивность $\sim 2,0^\circ\text{C}$. Иначе говоря, на высоте 2 м весь город в среднем на один градус, а его центр на два градуса теплее сельской местности Подмосковья. Максимальная и в пространстве, и во времени интенсивность достигает в ярко выраженных антициклональных условиях при ясном небе и штиле $11-12^\circ\text{C}$ [4]. Оценка средней интенсивности «острова тепла» в поле температуры поверхности при анализе 1379 безоблачных или малооблачных дневных спутниковых снимков за 21 год составляет в среднем $2,6^\circ\text{C}$ с использованием $m = 1081$ и $n = 94\,851$ расчетных ячеек площадью 1 км^2 соответственно внутри традиционных границ столицы и

в описанном вокруг границ Московской области прямоугольнике, принятом в качестве зоны сравнения [2,5]. Средняя интенсивность «острова тепла» на глубине 160 см с использованием данных $m = 5$ и $n = 8$ городских и загородных станций составляла в 1960 г. $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальная $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]. К сожалению, позднее на многих из этих станций измерения температуры почвы и грунта прекратились, так что современные оценки интенсивности «подземного острова тепла» Москвы менее надежны. В среднем за период 1977-2021 гг. по данным двух городских и трех загородных станций ($m = 2$, $n = 3$) средняя интенсивность этого явления на глубине 160 см составляет $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в среднем за 2000-2020 гг. — лишь $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оценки максимальной интенсивности «острова тепла» на глубинах теперь недоступны, поскольку на станции Балчуг в центре Москвы измерений T_{Γ} больше нет.

Годовой ход «острова тепла» Москвы. На рисунке 1 представлен годовой ход интенсивности «острова тепла» Москвы в приземном слое воздуха, в поле температуры поверхности и на глубине 160 см.



Доверительные интервалы рассчитаны с уровнем значимости 5 %.

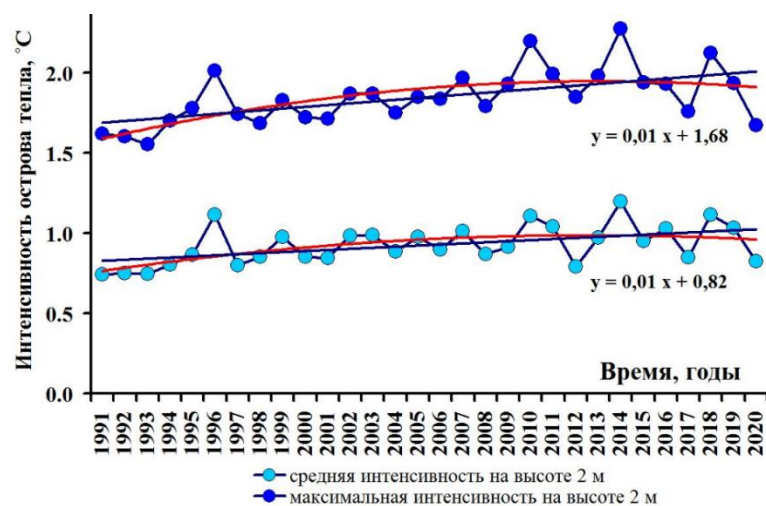
Рис. 1. Годовой ход интенсивности «острова тепла» Москвы в среднем за 2000-2020 гг.

Как видно, во всех трех случаях он различен. На стандартной стационарной высоте измерений 2 м годовой ход сглаженный, очевидно лишь ослабление «острова тепла» осенью и в предзимье (в октябре-декабре). Видимо, это связано с преобладанием в эти месяцы сплошной облачности нижнего яруса, в условиях которой различия между городом и загородной местностью наименьшие [4].

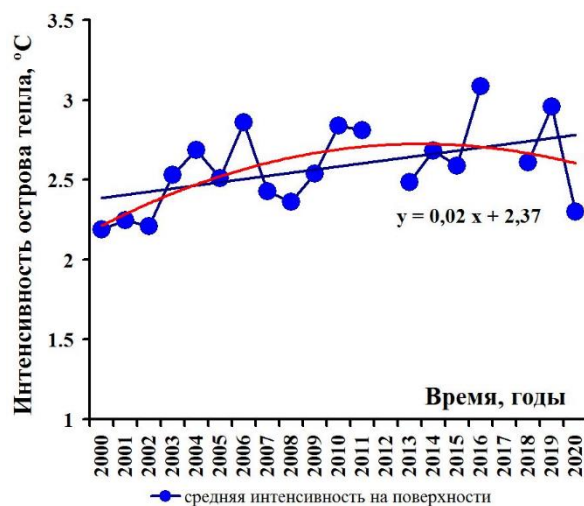
Наибольшая максимальная интенсивность «острова тепла» на 2 м отмечается летом, в июле и августе, вероятно, вследствие частых ясных и малооблачных ночей. На уровне поверхности по данным спутников годовой ход «острова тепла», напротив, выражен ярко: он отмечен максимумом в июне-июле, минимумом осенью и промежуточными значениями зимой и весной. Здесь большую роль играют затраты тепла на транспирацию растениями, которых в городе меньше. Поэтому и различия в температуре поверхности между Москвой и сельской местностью Подмосковья наибольшие летом при активной вегетации и наименьшие осенью после опадения листвы. Наконец, в термическом режиме деятельного слоя почвы велика роль наличия или отсутствия снежного покрова, а также влажности почвы. Видимо, более ранний в городе сход снежного покрова и начало прогрева открытой почвы весной служит причиной того, что «подземный остров тепла» сильнее всего выражен в апреле. Напротив, наименьшие различия между городом и фоновой местностью на глубине 160 см отмечаются в конце лета.

Многолетние изменения «острова тепла» Москвы. На рисунке 2 представлен ход среднегодовых значений интенсивности «острова тепла» с 1991 по 2020 гг. Как видно, в целом за 20-30 лет и в приземном воздухе, и на поверхности произошло небольшое усиление этого явления, что подтверждают положительные коэффициенты линейной регрессии. Впрочем, крайне малые по абсолютной величине: лишь 0,01 или 0,02 °C/год. Однако в последнее десятилетие рост интенсивности «острова тепла» и на высоте 2 м, и на поверхности замедлился и даже прекратился, что видно из параболических трендов. Вероятными причинами этого являются деиндустриализация Москвы (заккрытие или вывод из города крупных предприятий), замедление и прекращение роста населения и энергопотребления города вследствие общей стагнации российской экономики, а также экстенсивное развитие города — постепенное переселение жителей в новые районы Москвы [5].

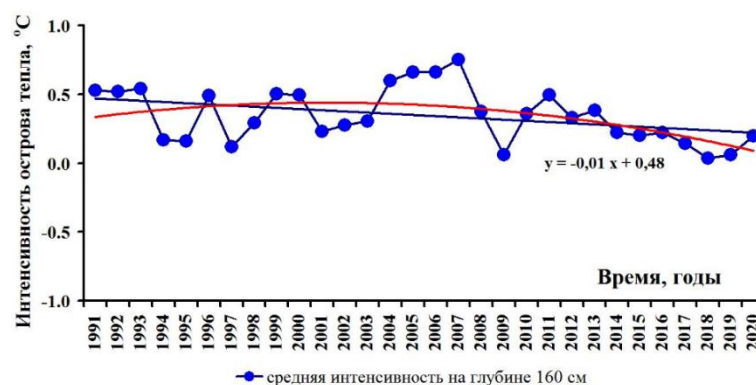
Вместе с тем на глубине 160 см по данным измерений на пяти метеостанциях отмечено, напротив, ослабление «подземного острова тепла», причем усиливающееся со временем, что подтверждается и линейным, и параболическим трендами (рис.2 в). К возможным причинам этого можно отнести как изменения в режиме увлажнения почвы в городе и за городом, так и неполную показательность условий измерений и неполную однородность рядов данных на этих станциях.



а) в приземном слое воздуха;



б) в поле температуры поверхности;



в) на глубине 160 см.

Примечание. Черные линии – линейные тренды; красные линии – параболические тренды

Рис. 2. Многолетние изменения интенсивности «острова тепла» Москвы

Выводы. 1. Интенсивность «острова тепла» Москвы составляет ныне ~1 и 2 °С при сравнении соответственно всей площади города и его центра с сельской местностью на высоте 2 м; 2,6 °С в поле температуры поверхности и 0,3 °С на глубине 1,6 м.

2. Годовой ход «острова тепла» сильнее выражен на поверхности по данным спутников, где он отмечен максимумом летом и минимумом поздней осенью.

3. За последние 30 лет усиление «острова тепла» и в приземном воздухе, и на поверхности замедлилось вследствие социально-экономических причин; в верхних горизонтах почвы отмечено ослабление явления.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 23-27-00279.

Библиографические ссылки

1. Oke T. R., Mills G., Christen A., Voogt J. A. Urban Climates. Cambridge, UK: University Press, 2017. 525 P.

2. Локощенко М. А., Енукова Е. А. Остров тепла в Московском регионе по спутниковым данным. Метеорология и гидрология. 2020. № 7. С. 50-63.

3. Lokoshchenko M. A. Urban heat island and urban dry island in Moscow and their centennial changes. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2017. Vol. 56. № 10. P. 2729-2745.

4. Lokoshchenko M. A.; Alekseeva, L. I. Influence of Meteorological Parameters on the Urban Heat Island in Moscow. Atmosphere. 2023. Vol. 14. Issue 3. 507.

5. Локощенко М. А., Енукова Е. А., Алексеева Л. И. О современных изменениях «острова тепла» Москвы. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2023, том 511, № 2. С. 243-253.

6. Lokoshchenko M. A., Korneva I. A. Underground urban heat island below Moscow city. Urban Climate. 2015. Vol. 13. P. 1-13.

УДК 551.48 (476)

**ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ
ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ
ЗАМЕДЛЕННОГО ВОДООБМЕНА (ПРИРОДНЫХ И
АНТРОПОГЕННЫХ ГИДРОЭКОСИСТЕМ)**

П. С. Лопух, Ю. А. Гледко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, lopuch49@mail.ru*

Рассмотрены особенности разнотипных водных экосистем и факторы, определяющие их поэтапное развитие. Намечены основные пути развития природных и искусственно созданных водоемов. Выявлены наиболее общие аспекты эволюционного развития гидроэкосистем. Сформулированы научные основы общей и частных теорий эволюционного развития малых водоемов замедленного водообмена, закономерности природной реализации их эквифинального природного развития.

Ключевые слова: гидроэкосистемы; лимносистемы; гомолимносистемы; микросистемы; псевдосистемы; развитие; эволюция; частные и общие схемы; эквифинальный принцип; итоговая стадия.

**PROBLEMS OF FORMATION OF A UNIFIED THEORY OF
EVOLUTIONARY DEVELOPMENT OF SMALL WATER BODIES OF
DELAYED WATER EXCHANGE (NATURAL AND
ANTHROPOGENIC HYDROECOSYSTEMS)**

P. Lopuch, Ju. Hledko

*Belarusian State University, Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk,
Belarus, lopuch49@mail.ru*

The features of different types of aquatic ecosystems and the factors that determine their stage-by-stage development are considered. The main ways of development of natural and artificially created reservoirs are outlined. The most general aspects of the evolutionary development of hydroecosystems are revealed. The scientific foundations of the general and specific theories of the evolutionary development of small reservoirs of slow water exchange, the regularities of the natural realization of their equifinal natural development are formulated.

Keywords: hydroecosystems; limnosystems; homolimnosystems; mixosystems; pseudosystems; development; evolution; particular and general schemes; equifinal principle; final stage.

Современные исследования водоемов замедленного водообмена привели к узкой их специализации и формированию частных научных направлений и школ. Этот аспект развития комплексных лимнологических исследований в принципе привел к формированию в озероведении и лимнологии предметной дифференциации и порой к недопониманию между исследователями. На этом этапе наиболее важным является сохранение комплексного характера исследований в лимнологии, развитие отдельных научных направлений в рамках классической схемы, дальнейшее развитие общей и частной (региональной) лимнологии, фактически заложенной Муравейским (1947), Б. Б. Богословским (1961), Д. Хатчинсоном (1969) [1-3].

В этой связи задача современной лимнологии заключается в осознании и обобщении выполненных результатов, комплексной их оценке для получения теоретических научных основ и практической реализации. Кроме того, научные исследования разнотипных водных объектов, например, озер и водохранилищ, т. е. природных и искусственно созданных водных объектов дополняют друг друга. Современные процессы на водохранилищах практически дают представления о развитии аналогичных явлений на раннем этапе развития озер. В то же время длительный эволюционный характер развития озер, приведший к современному состоянию и к определенному статусу, позволяет спрогнозировать развитие водохранилищ на ближайшую и более далекую перспективу, или даже на стадию окончания их эволюции. Таким образом, возникает возможность разработки единой теории развития водоемов замедленного водообмена и, как следствие, частных теорий эволюционного развития озер, водохранилищ, карьерных водоемов и других водных объектов.

Для обоснования и понимания необходимости разработки таких теорий рассмотрим некоторые понятия о водных объектах замедленного водообмена, их общие и отличительные черты. Общим понятием для водоемов замедленного водообмена является понятие «гидроэкосистема», под которой понимается любой водоем с точки зрения особенностей гидрологического режима, обусловленного абиотическими факторами (гидроэкосистемы озера, водохранилища, пруда и др.). С учетом биологических особенностей режима водоемов и гидрологического режима их динамического развития, гидроэкосистемы подразделены нами на лимносистемы, гомолимносистемы, псевдолимносистемы, металимносистемы, и миксолимносистемы, в основу обособления которых положена степень динамической устойчивости, формирующейся под влиянием природных и антропогенных факторов в процессе эволюционного развития [4].

Лимносистемы — озера естественные (природные), устойчивые природные образования, сформированные за длительный геологический период развития. Экологически устойчивая лимносистема сформировалась на протяжении 10 тыс. лет в процессе естественного процесса эвтрофирования. На современном этапе водоемы разного типа имеют определенный трофический уровень или статус.

Гомолимносистемы — речные водохранилища и пруды, созданные человеком, сформированные практически мгновенно, за от 1-3 до 12-13 лет (период заполнения). При заполнении водохранилища, резко снижается скорость воды в бытовых условиях реки, т. е. при образовании подпора возникает «эффект подпора». Последний характеризуется бурным развитием гидробионтов и ростом продуктивности при определенном виде осуществляемого регулирования. Пруды отличаются от водохранилищ меньшими проектными характеристиками (объемом до 1 млн м³) и наличием или отсутствием планового регулирования. Фактически разделение искусственных водоемов на водохранилища и пруды условно.

Псевдолимносистемы — карьерные водоемы, природно-антропогенные специфические образования, результат водной рекультивации карьерных выработок, с ограниченным водосбором, имеющие внешние черты природных озер, но созданные человеком. По внешнему виду напоминают озера и водохранилища, но отличаются отсутствием водосбора, литорали, преимущественно грунтовым питанием, разной степенью гидравлической связи с поверхностными водами. Экосистема формируется при отсутствии отложений в ложе, укрытостью котловины с крутыми берегами, отсутствием гидробионтов перед затоплением. Условная схожесть и специфика режима определяют черты псевдолимносистемы.

Металимносистемы — озерные водохранилища (зарегулированные озера), сочетающие элементы природных и искусственных водоемов. Занимают промежуточное положение между озерами и водохранилищами. Это зарегулированные озера и регулируемые озерные водохранилища на основе озер. Наличие озерной котловины и части речной долины или русла реки, регулирование объема и площади нового водоема определяют черты классического озера и речного водохранилища, сочетающие особенности гидрологического режима озер и водохранилищ.

Миксолимносистемы — старичные озера, относительно временные природные лимносистемы, результат русловых процессов (завершенного и незавершенного меандрирования), имеющие годовые эволюционные циклы генетических состояний. Гидрологический режим старичных озер напрямую зависит от гидрологического режима реки, от которого они отделились на завершающем этапе их формирования при завершеном или

незавершенном меандрировании. Гидрологический ежегодный цикл стариц характеризуется сезонной сменой трофического состояния, объясняя этим термин миксолимносистема.

Необходимость создания единой и частных теорий эволюционного развития гидроэкосистем обуславливает наличие общих и отличительных особенности гидроэкосистем.

Общие особенности гидроэкосистем:

- водные объекты относятся к водоемам замедленного водообмена;
- водоемы — результат замедления естественного стока;
- водоемы представляют природные или искусственные емкости, заполненные водой — накопители веществ аллохтонного и автохтонного генезиса;
- водоемы вместе со своим водосбором представляют единую экосистему и находятся под влиянием антропогенных факторов;
- все водоемы замедленного водообмена проходят поэтапные стадии эвтрофирования (генетический ряд: олиготрофии – мезотрофии – эвтрофии (различной степени) – дистрофии);
- в соответствии с эквифинальным принципом эволюции в конечном итоге водоемы завершают свое развитие формированием качественно нового водоема с еще более замедленным водообменом – формированием болот.

Отличительные особенности гидроэкосистем:

- водоемы отличаются различной устойчивостью к внешним воздействиям как со стороны водосбора, так и на уровне самого водоема (открытые экосистемы). Эти отличия обусловлены морфометрическими особенностями и гидрологическим режимом;

- озера (включая старичные) имеют уклоны ложа от периферии к центру, водохранилища и пруды — односторонний уклон от верховьев к плотине. В соответствии с этим в озерах преобладает концентрическая дифференциация гидродинамических процессов и дифференциация веществ и энергии. В водохранилищах и прудах в соответствии с односторонним уклоном и эффектом подпора — от верховьев к плотине. Промежуточное положение занимают карьерные водоемы;

- все водоемы отличаются степенью гидравлической связи с поверхностными водами. Озера отличаются степенью проточности (сточные, проточные, бессточные), или находятся в составе озерно-речных систем, образуя озерные группы.

Водоохранилища и пруды, как правило, результат подпора речных вод (прямая гидравлическая связь, образование кривой подпора бытового уровня рек).

Старичные озера регулярно испытывают ежегодную сезонную периодическую гидравлическую связь с основной рекой.

Карьерные водоемы могут развиваться при полном отсутствии гидравлической связи, т. е. автономно; могут иметь периодическую или сезонную и постоянную (годовую) связь.

Водоемы в настоящее время находятся на разной стадии эволюционного развития, имеют различный статус трофности.

На основании выполненных многолетних исследований водоемов замедленного водообмена установлены основные факторы эволюции разнотипных гидроэкосистем.

1). Генезис котловин и характер образующихся котловин. Особенности морфологии и морфометрии определяют характер и типы внутриводоемных процессов, интенсивность их проявления и дифференциацию в пределах ложа.

2). Поэтапное развитие береговых процессов, продолжительность их стадий, термины формирования равновесной береговой линии [6]. Гидроморфологическая теория развития берегов крупных водохранилищ [7] нашла дальнейшее развитие для малых водохранилищ Беларуси [5].

3). Стадиальное расселение водной растительности влияет на формирование ложа, формирование гидроэкосистем.

4). Постепенное формирование устойчивых растительных ассоциаций влияет на распределение, дифференциацию и накопление веществ по ложу, особенности формирования котловин по мере замедления стока к водосбросу.

5). Занесение и заиление ложа — основополагающий процесс эволюции котловин, фактор трансформации ложа в болотный массив разнотипных гидроэкосистем.

6). Формирование грунтовых комплексов и устойчивых биотопов.

7). Развитие гидробионтов и формирование устойчивых биоценозов.

В результате развития отдельных процессов в гомолимносистемах формируются устойчивые участки, как следствие дифференциации перечисленных выше отдельных процессов от верховьев к плотине. На конечной стадии эволюционного развития малых речных водохранилищ, в отличие от крупных, которые разделяются на отдельные водоемы [8], в малых формируется приплотинный озеровидный водоем, с болотным массивом в верхней части. На завершающей стадии трансформации или перерождения на месте водохранилища формируется болотный массив с развитым руслом реки. Аналогичные процессы происходят в прудах в уменьшенных масштабах [9].

В металимносистеме речная часть заболачивается, а озерная часть развивается по схеме развития лимносистем. В более ускоренном темпе развиваются пруды, как микрогомолимносистемы, завершая свою эволюцию формированием болота.

Карьерные водоемы, как псевдолимносистемы, начинают развитие с фитопланктонной стадии, реже с макрофитной (песчаные), затем проходят фитопланктонно-макрофитную и в итоге — макрофитную [10]. Макрофитная стадия имеет более длительный период развития по причине отсутствия мелководий, отложений и слабого развития растительности.

Миксолимносистемы, или старичные озера, перевоплощаются по схеме сезонных трансформаций, характеризующихся годичной сменой трофических состояний генетического эволюционного ряда: олиготрофии — эвтрофии — дистрофии, в зависимости от наличия гидродинамической связи с рекой. При отсутствии такой связи старица развивается автономно практически исключая фазу эвтрофии.

Классические лимносистемы, проходя все стадии эволюционного ряда естественного эвтрофирования завершат свое развитие формированием болотного массива, «задерживаясь» на отдельных этапах. Зарастание озерной котловины, в отличие от классических вариантов, характеризуется многообразием схем [11]. Исследования процессов лимногенеза на первых этапах развития лимносистем не всегда отражают реальные внутриводоемные процессы [12]. Современные методы позволяют косвенно оценить их вклад в эволюцию лимносистем в голоцене. Исследования искусственных водоемов дополняют представления о процессах на первых этапах развития эвтрофирования лимносистем.

Выполненные исследования, обобщения и анализ подтверждают высказывание Муравейского С. Д. [13] как о генетическом единстве водоемов замедленного водообмена, так и о эквифинальном эволюционном их развитии. Комплексные исследования водоемов разного типа позволяют синтезировать общелимнологические утверждения на уровне аксиом и теорий эволюционного их развития, создать прогнозные гипотетические заключения, которые имеют теоретическое и практическое значение.

Библиографические ссылки

1. Богословский Б. Б., Муравейский С. Д. Очерки по озероведению. Изд-во МГУ, М. 1955.
2. Богословский Б. Б. Озероведение. Изд-во МГУ, М. 1960. 335 с.
3. Хатчинсон Д. Лимнология. М., «Прогресс», 1969. 592 с.
4. Лопух П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана. Минск. БГУ. 2000. 332 с.

5. *Лопух П. С.* Гидролого-морфологическая теория берегового процесса // Современные геоморфологические процессы: Тез. докл. научн. конф. / ИГН НАН РБ. Минск, 1998. С. 55-56
6. *Лопух П. С.* Особенности равновесной береговой линии крупных водохранилищ на стадии разделения их котловин на самостоятельные водоемы. // Инженерно-геологические проблемы камских водохранилищ: Тез. докл. научн. конф. / Пермь, 1983. С. 30-32.
7. *Максимчук В. Л.* Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ. Киев, Будевільнік, 1981. 112 с.
8. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ. Л.: Энергия, 1975. 64 с.
9. *Широков В. М., Кирвель И. И.* Пруды Белоруссии. Минск: Ураджай, 1987. 120 с.
10. *Хомич С. А.* Геоэкологические аспекты водохозяйственной рекультивации нарушенных земель Беларуси. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. 123 с.
11. *Пидопличко А. П.* Озерные отложения Белорусской ССР. Минск: Наука и техника, 1975. 120 с.

УДК 551.48 (476)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОЗДАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ И ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

П. С. Лопух¹⁾, О. О. Ровдо²⁾, А. Ф. Лугом¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, lopuch49@mail.ru;

²⁾РУП «Белгипроводхоз», Машерова, 25, 220002, г. Минск, Беларусь,
rovdoosana@tut.by

Рассмотрены общие закономерности трансформации гидрографической сети Беларуси под влиянием водного обустройства малых (элементарных) речных водосборов. На примере проблемных регионов выполнена типизация водосборов по степени участия искусственных водоемов (прудов, водохранилищ), степени преобразования русловой сети, мелиорации водосборов, выполнено районирование крупных речных водосборов по степени их преобразованности.

Ключевые слова: русловая сеть; водохранилища; пруды; мелиорации; гидрографическая сеть; трансформация; оценка; критерии.

REGULARITIES OF TRANSFORMATION OF THE HYDROGRAPHIC NETWORK UNDER THE INFLUENCE OF THE CREATION OF RESERVOIRS AND WATER MILES

P. Lopuch¹⁾, O. Rovdo²⁾, A. Lugom¹⁾

¹⁾Belarusian State University, Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk,
Belarus, lopuch49@mail.ru;

²⁾RUE «Belgiprovodkhoz», Masherova ave., 25, 220002,
Minsk, Belarus, rovdoosana@tut.by

The general regularities of the transformation of the hydrographic network of Belarus under the influence of water arrangement of small (elementary) river catchments are considered. On the example of problem regions, the classification of catchments is carried out according to the degree of participation of artificial reservoirs (ponds, reservoirs), the degree of transformation of the channel network, reclamation of catchments, zoning of large river catchments according to the degree of their transformation.

Keywords: channel network; reservoirs; ponds; land reclamation; hydrographic network; transformation; assessment; criteria.

Водное обустройство территорий, связанное с гидротехническим строительством и мелиорациями заболоченных местностей, созданием дренажных систем, по В. М. Широкову, обуславливает изменение географического пространства, включая трансформацию гидрографической сети [1]. Наиболее общие причины изменения гидрографической сети территории Беларуси рассмотрены в работе [2]. Основными факторами изменения гидрографической сети является создание подпоров на реках и каналах, углубление и спрямление русел, строительство прудов и водохранилищ, создание каналов и канализированных русел. Эти изменения приводят к серьезным экологическим последствиям. Поэтому трансформация гидрографической сети, как правило, увязывается с экологическим влиянием на природную среду [3]. Количественным показателем изменения гидрографической сети является изменение густоты речной сети и показатель искусственной зарегулированности стока. Однако общая комплексная географическая оценка трансформации гидрографической сети на фоне изменения природной ландшафтной среды не проводилась.

Оценивая в целом изменение географического пространства, можно отметить, что качественным критерием является типизация естественных элементарных водосборов по степени преобразованности природных ландшафтов. Наиболее существенные изменения в гидрографической сети происходят при подпруживании речной сети гидротехническими сооружениями [4]. В отличие от количественных показателей, качественный критерий определяется визуальной оценкой характера изменения гидрографической сети и степенью участия гидрографических объектов. Такая попытка была сделана при выполнении оценки трансформации природных ландшафтов Беларуси [5]. Наиболее общие факторы трансформации речной сети нашли отражение в учебном пособии по гидрологии водных объектов территории Беларуси в виде специального учебного курса учреждения образования [6].

Изменение гидрографической сети территории Беларуси длительное время выполнялось отделом гидрографии Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов и охраны природы Республики Беларусь. К сожалению, такой отдел при оптимизации Белгидромета был упразднен, а контроль за некоторыми параметрами речной сети выполняется Центральным НИИ комплексного использования водных ресурсов. Такая ситуация не является оптимальной, так как

Белгидромет владеет более обширной информацией о наблюдениях за изменением сети и должен осуществлять мониторинг в соответствии со статусом государственной службы.

В проведенном исследовании выявлены основные закономерности преобразования гидрографической сети на территории Беларуси. В частности, проведена оценка условий формирования подтопления на прилегающей к водохранилищам территории, особенности преобразования природных ландшафтов при гидротехническом строительстве. Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на режим уровня грунтовых вод. Дана оценка изменения гидрографической сети под влиянием мелиорации, гидротехнических работах, строительстве прудов и водохранилищ.

Выполнено районирование территории Полесья по условиям формирования зон подтопления в зоне влияния водохранилищ. По условиям залегания уровня грунтовых вод и образования зон подтопления на территории Беларуси выделены три области и 20 районов. Природное положение уровня грунтовых вод и рельеф обуславливают зоны подтопления и прямого затопления, формируют новый ландшафт, влияют на особенности природно-технических систем.

Разработана системы таксономических единиц районирования водохозяйственной природно-антропогенной области — водохозяйственная природно-техническая система (ВПТС); тип водохозяйственной природно-технической системы (ТВПТС); тип водохозяйственной природно-технической местности (ВПТМ); вид водохозяйственной природно-технической местности (ВВПТМ). Выделены области влияния водохранилищ на трансформацию природных ландшафтов.

Предложен методический подход комплексной типизации водосборов по трансформации речной сети. Для проведения типологии рек определены три общих показателя — высота над уровнем моря, площадь водосбора и длина реки; четыре частных — типы мелиоративных водосборов, зарегулированность стока прудами, зарегулированность стока водохранилищами, вид регулирования, протяженность русловой сети, подтопление прилегающей территории.

Выделено пять типов водосборов по преобразованию гидрографической сети. Установлено, что реки, относящиеся к определенному типу, располагаются вблизи друг друга, что связано с постепенной сменой природных условий в бассейне, которые определяют характер хозяйственной деятельности и основные направления его трансформации. Предложена картосхема районирования территории Беларуси. На рисунке представлен вариант районирования Бассейна Припяти в пределах территории Беларуси.



Районирование бассейна реки Припяти по преобразованности гидрографической сети (Припятский проблемный регион).

Анализ трансформации природных ландшафтов в зоне воздействия гидротехнических сооружений (водохозяйственных комплексов) и гидрографической сети в целом свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения данного вопроса, уточнения схемы типизации водосборов, а также выделения единиц более низкого уровня для решения проблем рационального использования водных ресурсов и водосборов рек.

Трансформация природных ландшафтов в условиях Беларуси пропорциональна величине напора гидротехнических сооружений и обуславливается типом водохранилища. Степень трансформации природных ландшафтов при создании водохранилищ определяется величиной подъема уровня (подпора), что определяет их гидроморфологический тип, как природно-технического (водохозяйственного) комплекса и степень устойчивости гидроэкосистем. Наиболее экологически приемлемыми типами водохранилищ в Поозерье является озерный тип. По степени изменения озерных экосистем водохранилища подразделяются на зарегулированные озера, озера с нарушенным гидрологическим режимом, типичные водохранилища озерного типа. Речные водохранилища Поозерья создают слабо выраженную зону подтопления и отличаются более высоким значением показателя удельных затоплений, чем озерные. Более сложные условия и процессы происходят в Белорусском Полесье, что позволяет отнести

их к проблемному региону на территории Беларуси и предопределяет большую детализацию в изменяющихся ландшафтах не только вокруг акватории искусственных водоемов, но и проведение более глубоких исследований на трансформированных водосборах.

Современное состояние гидрографической сети требует систематических исследований. Проблема ее состояния усугубляется мелиоративными мероприятиями, понижением уровня грунтовых вод, а также глобальным изменением климата, в частности трансформацией поверхностного стока.

Библиографические ссылки

1. Sirokov V. M., Lopuch P. S. Specific features in the formation of antropogenic aqual landscapes in Buelorussia. // Methodology in landscape ecological research and planning. Theme IV. Methodology of evolutijn synthesis of data in landscape ecology. Roskilde Universitetsforlag. GeoRuc. 1984. P. 79-86.

2. Лопух П. С., Макаревич А. А. Современная гидрографическая сеть Беларуси и ее антропогенное преобразование // География. 2018. № 7. С. 3-9.

3. Лопух П. С., Макаревич А.А. Вилейско-Минская водная система реки Свислочь: водные ресурсы и экологические проблемы // География. 2018. №8. С. 54-60.

4. Лопух П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана. Минск, БГУ, 2000, 332 с.

5. Лопух П. С. Влияние обустройства территорий Полесья водохранилищами и проведения мелиораций на гидрографическую сеть и природную среду // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья // Сб. докладов Междунар. научн. конф. Минск, 14-17 сентября 2016 г. / Нац. Академия наук Беларуси [и др.]; ред. В. Г. Гусаковский (гл. ред). Минск: Беларуская навука, 2016. В 2 т. Том 1. С. 385-389.

6. Лопух П. С. Гидрография Беларуси. учебное пос. // Минск. БГУ. 2004. 204 с.

12. Жуховицкая А. Л. Озерный седиментогенез в голоцене Беларуси. Биохимические и биологические аспекты / А. Л. Жуховицкая, Б. П. Власов, Б. В. Курзо, В. А., Кузнецов. Минск: ООО «Диксэнд», 1998. 280 с.

13. Муравейский С. Д. Реки и озера. Гидробиология. Сток. М., 1960. 338 с.

УДК 551.509.51

ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА НА ТЕРРИТОРИИ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

М. В. Лукша

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, maril2020@mail.ru*

Исследована проблема развития опасных гидрометеорологических явлений: очень сильного ветра, очень сильных осадков в холодный период года. Выявлены основные аэросиноптические условия формирования очень сильного ветра и очень сильного снега с ноября по март на примере Минской области за период 1989-2022 гг., с целью определения их пространственно-временного распределения и разработки основных синоптических рекомендаций к прогнозу.

Ключевые слова: очень сильный ветер; очень сильный снег; приземные синоптические условия; высотные аэрологические условия; изменяющийся климат; Минская область.

HAZARDOUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA OF THE COLD SEASON IN THE TERRITORY OF THE MINSK REGION IN A CHANGING CLIMATE

M. V. Luksha

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, maril2020@mail.ru*

The article is devoted to the study of the problem of the development of hazardous hydrometeorological phenomena: very strong wind, very heavy precipitation in the cold season. The main aerosynoptic conditions of formation of very strong wind and very heavy snow from November to March have been identified on the example of the Minsk region for the period 1989-2022 in order to determine their spatial and temporal distribution and develop basic synoptic recommendations for the forecast.

Keywords: very strong wind; very heavy snow; surface synoptic conditions; high-altitude aerological conditions; changing climate; Minsk region.

Случаи выпадения очень сильного дождя/дождя со снегом (количество атмосферных осадков не менее 50 мм за период не более 12 ч) или очень сильного снега (количество атмосферных осадков не менее 20 мм за период не более 12 ч) и очень сильного ветра (мгновенная скорость ветра (порывы) более 25 м/с в течение не менее 1 мин) согласно ТКП 17.10-06-

2008 (02120) относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям (ОЯ) [1].

Повторяемость ОЯ холодного периода года определяется не только синоптической ситуацией, а также свойствами подстилающей поверхности. В связи с этим, целью данного исследования стал анализ повторяемости очень сильных осадков и очень сильного ветра с ноября по март на территории Минской области Республики Беларусь (РБ) за последние 34 года (1989-2022 гг.), а также определение их связей с приземными метеорологическими и высотными аэрологическими условиями, которые в дальнейшем могут рассматриваться в качестве основных синоптических рекомендаций по прогнозированию опасных гидрометеорологических явлений в холодный период года.

Отбор исходных данных производился на основе архивных данных Белгидромета [2] и данных реанализа ERA 5 с помощью бесплатной интернет-платформы thunder [3]. За начало выборки взят 1989 г., так как именно с этого года на территории Беларуси начался самый продолжительный период потепления за всю историю инструментальных наблюдений на протяжении последних 130 лет (среднегодовая температура в стране выросла на 1,2 °С за последние 30 лет) [4,5]. Стоит сказать, что отмечается особенно резкое повышение зимних температур. Так, согласно данным Белгидромета средняя температура воздуха в период декабрь 2021 г. – февраль 2022 г. составила -1,8 °С, что на 1,6 °С выше климатической нормы.

На основании анализа архивных данных метеорологических станций (МС) Минской области РБ за период с 1989 по 2022 гг. на территории области зафиксировано 10 случаев очень сильного ветра порывами 25-30 м/с (таблица). Как видно из данных таблицы, в последние годы наблюдается тенденция увеличения числа случаев данного ОЯ. При этом наибольшее число случаев приходится на январь, что связано с преобладанием северных, северо-западных воздушных потоков. Распределение очень сильного ветра по территории Минской области объясняется морфологическими особенностями рельефа (МС Воложин располагается в пределах Ошмянской возвышенности, а МС Слуцк на открытой незалесенной местности).

Возникновение очень сильного ветра определялось не только плотным барическим градиентом, но и развитием кучево-дождевой облачности, усилением динамического фактора при прохождении фронтальных разделов, а именно основного холодного фронта (5 случаев), холодного фронта с волнами (2 случая) и вторичных холодных фронтов (3 случая), которые были связаны с ложбинами активных и глубоких циклонов различных траекторий: северных (5 случаев), западных (3 случая), ныряющих (2 случая). Циклоны смещались, как правило, в стадии молодого циклона или максимального развития (давление в центре от 965 до 985 гПа).

**Случаи очень сильного ветра и очень сильных осадков, зафиксированные
МС Минской области с ноября по март 1989-2022 гг.**

МС	Очень сильный ветер	Очень сильный снег
Березино	-	15.03.2013 г. - 22 мм
Борисов	-	15.03.2013 г. - 20 мм, 12.01.2016 г. - 21,4 мм
Вилейка	-	11.12.2022 г. - 20,1 мм
Воложин	14.01, 15.01 и 22.01.1993 г. - 28 м/с, 14.01.2022 г. -25-26 м/с (в т. ч. шквал)	-
М. Горка	-	10.01.1996 г. - 21,1 мм
Минск	-	-
Нарочь	-	11.12.2022 г. - 20 мм
Слуцк	26.03.1994 г. - 29 м/с, 30.01.2002 г. - 25 м/с, 18.11.2004 г. - 30 м/с, 15.01.2007 г. - 26 м/с, 19.02.2022 г. - 26 м/с	10.01.1996 г. - 20,8 мм
Солигорск	19.02.2022 г. - 27 м/с	-
Столбцы	-	06.02.2003 г. - 26 мм, 15.03.2013 г. - 23 мм, 04.02.2021 г. - 22 мм

Кучево-дождевая облачность, с которой было связано усиление ветра порывами 25 м/с и более, имела нижнюю и верхнюю границу около 500 м и 3000 м соответственно. В связи с этим, в атмосфере отмечалась слабая неустойчивость, о чем также свидетельствуют показатели индексов CAPE (0-8 Дж/кг) и CIN (-33 – -5 Дж/кг) (за исключением значений индекса Li – 0-15, указывающих на стабильность атмосферы).

Вместе с тем, у земли температура воздуха до подхода холодных атмосферных фронтов составляла -0,6-+7,2 °С. На уровне изобарической поверхности АТ-850 значения температуры воздуха колебались от +1,4 °С до -7,2 °С, дефициты точки росы — от 0 °С до 6 °С. Наличие теплой и влажной воздушной массы приводило к тому, что практически все случаи очень сильного ветра сопровождались ливневыми осадками в виде дождя или дождя со снегом/снежной крупой.

При этом у земли и по высотам в основном наблюдались ветры западного и северо-западного направлений. На уровне АТ-700 преобладали ветры со скоростями 50-80 км/ч, на уровне АТ-500 — 80-120 км/ч, на уровне АТ-300 — 100-140 км/ч. Это свидетельствует о наличии струйных течений на уровнях АТ-500 и АТ-300, усиливающих конвективные процессы.

В период с ноября по март 1989-2022 гг. на территории Минской области также было зафиксировано 10 случаев очень сильных осадков. Осадки выпадали при отрицательных температурах воздуха в виде очень сильного снега (20-26 мм) и, как правило, сопровождались метелью. При этом видимость в осадках в основном составляла менее 1 км. Согласно

данным таблицы, наблюдается небольшое увеличение числа случаев ОЯ в последнее десятилетие и достаточно равномерное распределение по территории области, что объясняется широкой полосой фронтальной облачности и зоны осадков, которая может достигать 400 км.

Очень сильные осадки были связаны с близостью центров циклонов, где располагаются вершины теплых волн и точки окклюзии (6 случаев). 3 случая данного ОЯ отмечались в результате прохождения холодных фронтов и 1 случай — холодного фронта с волнами. При этом данное ОЯ фиксировались МС при выходе циклонов преимущественно южных (6 случаев) и западных (2 случая) траекторий, лишь 2 случая наблюдались на западной периферии обширного антициклона. Циклоны смещались в основном в стадии молодого циклона или максимального развития (давление в центре от 985 до 996 гПа), постепенно заполняясь на территории нашей страны.

Нижняя граница облачности (преимущественно слоисто-дождевые формы), с которой были связаны случаи выпадения очень сильного снега, располагалась, как правило, на высотах около 100–200 м, а верхняя граница — выше 3000 м. При этом атмосфера находилась преимущественно в устойчивом состоянии (CAPE — 0 Дж/кг, CIN — 0 Дж/кг и Li — 2–27).

У земли наблюдались температуры воздуха от $-8,9^{\circ}\text{C}$ до $-0,7^{\circ}\text{C}$ (исключение случай 04.02.2021, когда до прохождения фронта температура воздуха составила $+15,8^{\circ}\text{C}$). На уровне изобарической поверхности АТ-850 также отмечалось наличие теплой и влажной воздушной массы с температурами $-2,0$ – $-6,7^{\circ}\text{C}$ и дефицитами точки росы 0 – $0,7^{\circ}\text{C}$.

При очень сильном снеге у земли наблюдались слабые ветры восточного и северо-восточного направлений, а на высотах преобладали воздушные потоки юго-восточных, южных направлений со средними скоростями на уровне АТ-700 – 20–40 км/ч, на уровне АТ-500 – 50–70 км/ч, на уровне АТ-300 – 80–120 км/ч. Вместе с тем, в случае выпадения очень сильного снега наблюдались более медленное смещение циклонических образований и более продолжительное влияние на погоду Беларуси.

Таким образом, были определены следующие синоптические ситуации, благоприятные для прогноза в холодный период года:

1) очень сильного ветра: прохождение основных и вторичных холодных фронтов, холодных фронтов с волнами, связанных с выходом глубоких северных, западных и ныряющих циклонов в стадии молодого циклона или максимального развития; наличие теплой и влажной массы у земли и на уровне АТ-850; существование слоя конвективной неустойчивости в атмосфере; наличие струйных течений западного, северо-западного направления на уровнях АТ-500 и АТ-300;

2) для очень сильного снега: вершины теплых волн и точек окклюзии, а также прохождение холодных фронтов (с волнами), связанных с выходом циклонов преимущественно южных и западных траекторий в стадии молодого циклона, максимального развития или заполнения; наличие теплой и влажной массы у земли и на уровне АТ-850; наличие слабых воздушных потоков на АТ-700 и АТ-500 и струйного течения на уровне АТ-300.

Библиографические ссылки

1. ТКП 17.10-06-2008 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения» – Минск: Минприроды, 2008. 34 с.
2. Архив карт и ТМС Белгидромета за 1989-2022 гг. Ф.1 Оп.1 Д. Подлинник.
3. ThundeR - ERA5 sigma levels browser [Electronic resource] – Mode of access: http://www.rawinsonde.com/ERA5_Europe. Date of access: 29.08.2023.
4. Подгорная, Е. В. Особенности изменения климата Республики Беларусь за последние десятилетия / Е. В. Подгорная, В. И. Мельник, Е. В. Комаровская. Минск: Белгидромет, 2015. 120 с.
5. 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 / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий // Природопользование. 2013. № 24. С. 5-11.

УДК 556.55

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕР УШАЧСКОЙ ГРУППЫ

А. З. Макус¹⁾, А. А. Новик²⁾

¹⁾Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», ул. Славинского 1 корп. 2, 220086, г. Минск, Беларусь, maus214a@gmail.com; ²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, novika@bsu.by

Произведена оценка экологического состояния озерных систем Ушачской группы (озер Вечелье, Кривое, Черствятское, Отолово) на основе изучения показателей трофности. Индикаторными показателями уровня трофности послужили гидрохимические, гидробиологические показатели, прозрачность, содержание хлорофилла.

Ключевые слова: физико-географическая характеристика; уровень трофности; индикаторные показатели; гидрохимические и гидробиологические показатели.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF LAKES OF THE USHACHI GROUP

A. Z. Makus¹⁾, A. A. Novik²⁾

¹⁾Central Research Institute for Integrated Use of Water Resources, Slavinsky, 1-2, 220086, Minsk, Belarus, makus214a@gmail.com; ²⁾Belarusian State University, Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk, Belarus, novika@bsu.by

An assessment was made of the ecological state of the lake systems of the Ushachi group (lake Vechelye, Krivoye, Cherstvyatskoye, Otolovo) based on the study of trophicity indicators. Indicative indicators of the trophic level were hydrochemical, hydrobiological indicators, transparency, and chlorophyll-a content.

Keywords: physical-geographical characteristics; trophic level; indicator indicators; hydrochemical and hydrobiological indicators.

Ушачская группа озер включает в себя более 100 водоемов, которые принадлежат бассейнам двух левых притоков Западной Двины — рекам Ушача и Дива. Территориально распределена в 3 районах: Ушачском, Лепельском, Полоцком. Общая площадь озер составляет более 75 км². Объем водной массы — 350 млн. м³. Система озер в бассейне р. Дива вытянута с северо-запада на юго-восток на расстоянии 40-45 км. Территория отличается незначительной лесистостью (не более 20 % площади водосбора озер) и относительно высокой заболоченностью — более 20 % [1].

В эпоху поозерского оледенения на территории располагался мощный ледниковый язык. По мере неравномерного отступления на северо-запад здесь образовался сложный холмисто-моренный рельеф и формировались разнообразные озерные котловины. Характерной особенностью территории является относительная равнинность водораздельных участков [2].

Исследования, выполненные РУП «ЦНИИКИВР» в 2018-2022 гг. на озерах Ушачской группы выявили изменение суммарной площади большинства озер в сторону уменьшения, за последние 6 лет снижение от 86,1 до 81,2 км² (на 4,88 км² или 5 %) [3].

Более детальные исследования проводились на 4 озерах Ушачской группы (озера Вечелье, Кривое, Черствятское, Отолово) с целью оценки их экологического состояния (рис. 1).

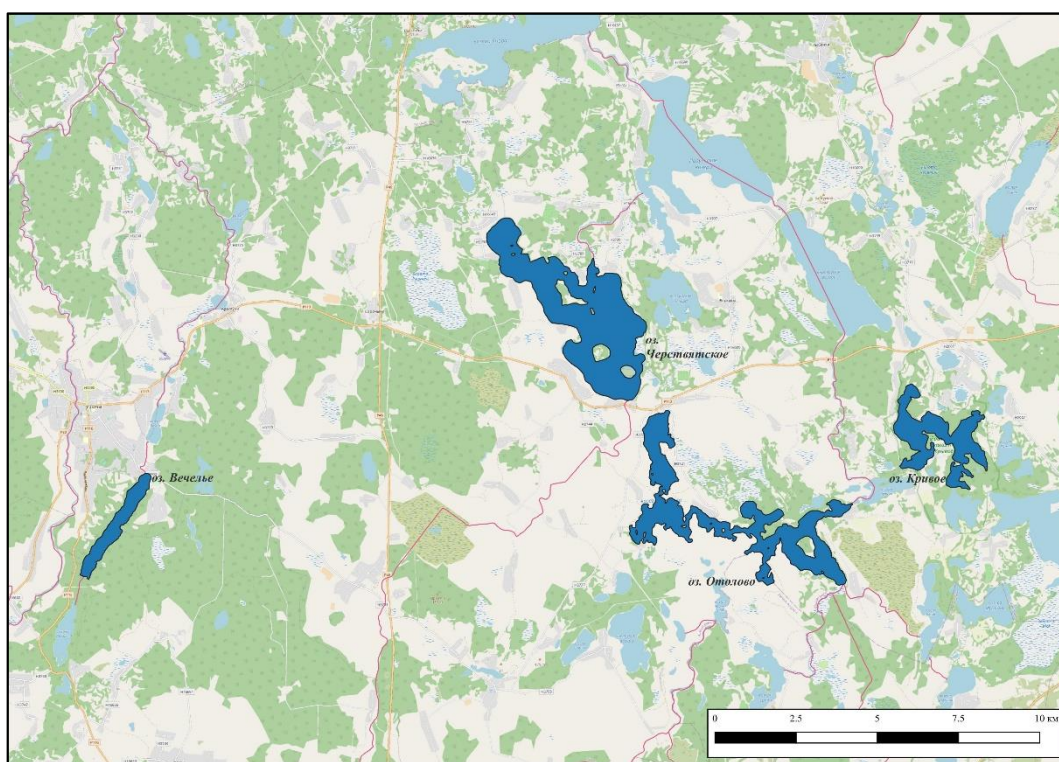


Рис. 1. Карта исследуемых озер Ушачской группы

Площадь озер Черствятское и Вечелье в исследуемый период увеличилась соответственно от 9,35 до 10,21 км² (на 0,86 км² или 9,2%) и от 1,36 до 1,37 км² (на 0,01 км² или 0,7 %). Озера Отолово и Кривое претерпели изменения в сторону снижения площадей, соответственно от 8,20 до 7,18 км² (на 1,02 км² или 12,4 %) и от 4,50 до 3,99 км² (на 0,51 км² или 11,3 %). За исследуемый период произошло снижение площади поверхности водного зеркала на 0,66 км² или 2,8 % (рис. 2) [3, 4].

Водосборы озер Ушачской группы значительно преобразованы антропогенной деятельностью. Ушачский район специализируется на производстве сельскохозяйственной продукции, что определяет высокую долю распаханности водосборов (до 70 %) и большое количество сельскохозяйственных объектов на берегах озер. Это приводит к нарушению почвенного и растительного покрова на водосборах, оказывает негативное влияние на формирование водного стока и повышает интенсивный снос веществ в озера. При этом поступление в водоемы соединений азота и фосфора вызывает увеличение биомассы фитопланктона, ухудшает качество воды, приводящее к повышению зарастаемости водоема. Наиболее уязвимыми являются водосборы озер, имеющих высокую долю распаханности и наличие в прошлом точечных источников поступления биогенных элементов — животноводческих ферм [5]. Все это ведет к ухудшению экологического состояния озер Ушачской группы. Наиболее подверженными воздействию оказались озера Вечелье, Черствятское, Отолово.

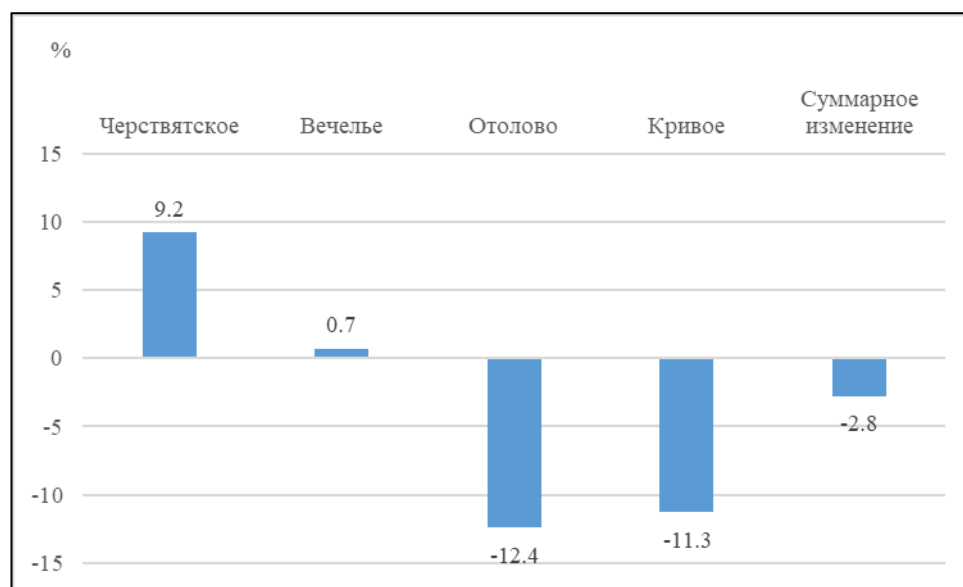


Рис. 2. Изменение среднеарифметической площади поверхности воды исследуемых озер Ушачской группы в период 2018-2022 гг. по сравнению с 2017 г. (в %) [4]

Для определения экологического состояния представленной группы озер был изучен показатель трофности — характеристика местообитания водоема по его биологической продуктивности, обусловленная содержанием биогенных элементов. Индикаторными показателями уровня трофности послужили гидрохимические, гидробиологические, а также такие показатели как прозрачность, содержание хлорофилла А.

Водосбор Ушачской группы отличается одним из наиболее высоких показателей озерности в республике. Здесь не протекает больших и средних рек, а существующие водотоки в основном представлены небольшими

ручьями и межозерными протоками. Это говорит о низкой степени проточности и замедленном водообмене. В приходной части водного баланса исследуемых озер преобладает грунтовое питание, из-за глубокого вреза котловин в пересеченном возвышенном рельефе, что обуславливает незначительные годовые колебания уровней воды.

В результате экспедиционных обследований было проведено определение индикаторных показателей трофности озер Вечелье, Кривое, Черствятское и Отолово в осенний период; проведен сравнительный анализ данных индикаторных показателей трофности в сопоставлении с весенним и летним периодами; получены среднесезонные значения показателей, определен трофический уровень озер на основании имеющихся классификаций трофности по индикаторным показателям и по индексам трофности.

Водородный показатель в исследуемых озерах в осенний период изменялся от 7,0 до 7,7, что не превышает допустимых значений и характеризует среду озер как слабощелочную. Содержание общего фосфора осенью не превышало предельно допустимых концентраций, его наибольшие значения (0,064 и 0,022 мг/дм³) отмечались на озерах Черствятское и Отолово, наименьший (0,011 мг/дм³) на озере Кривое. Осеннее содержание фосфат-ионов, также, как и в предыдущих периодах исследований, отличается крайне низкое во всех озерах и составляет менее 0,07 мгР/дм³, что может свидетельствовать о полном потреблении его в пищевой цепи фитопланктоном для формирования биомассы. Содержание нитрат-ионов в исследуемых озерах значительно различалось, хотя и не превышало ПДК ни в одном из них. Наибольшее содержание нитрат-ионов в осенний период зафиксировано в озере Вечелье — 0,36 мгN/дм³, что в 4-12 раз выше, чем в озерах Кривое, Отолово и Черствятское, где содержание нитрат-ионов составило соответственно 0,003, 0,054 и 0,089 мгN/дм³. В осенний период наблюдается снижение содержания аммоний-ионов, по сравнению с летним периодом, в озерах Вечелье и Отолово. Наибольшее содержание аммоний-ионов в осенний период наблюдается в озере Кривое — 0,048 мгN/дм³, наименьшее — в озере Отолово, 0,016 мгN/дм³. При этом, содержание аммоний-ионов во всех озерах не превышает норматив для поверхностных вод.

При анализе изменения концентрации аммоний-ионов в озерах в весенний, летний и осенний периоды не отмечается общей тенденции ее изменения по озерам. В озере Вечелье и Отолово произошло повышение аммоний-ионов в летний период и снижение в осенний период, по сравнению с весенним, в озере Черствятское наблюдается значительное снижение в летний и осенний периоды по сравнению с весенним, в озере Кривое содержание аммоний-ионов практически не претерпело изменений в весенний и летний периоды и возросло практически в 5 раз в

осенний период. Концентрация аммоний-ионов в озере Черствятское в весенний период на порядок превышала таковую в остальных озерах, что может свидетельствовать о поступлении аммонийных соединений извне, либо об интенсивном разложении органических веществ и вторичном загрязнении.

Содержание нитрат-ионов в осенний период в озерах Кривое, Черствятское и Отолово снизилось по сравнению с летним периодом, в озере Вечелье наблюдалось повышение их содержания по сравнению с летним периодом. Наиболее высокие концентрации нитрат-ионов, как в весенний и летний периоды, так и в осенний период наблюдались в озерах Вечелье и Черствятское, низкие — в озерах Отолово и Кривое (табл. 2).

Таблица 1

**Концентрация химических веществ в озерах Ушачской группы
в осенний период [4]**

Гидрохимический показатель	Вечелье	Кривое	Черствятское	Отолово	ПДК
рН	7,0	7,3	7,7	7,5	
Фосфор общий, мг/дм ³	0,013	0,011	0,064	0,022	0,20
Азот по Кьельдалю, мг/дм ³	30,5	30,5	0,735	30,5	5,00
Аммоний-ион, мгN/дм ³	0,027	0,048	0,021	0,016	0,39
Нитрат-ион, мгN/дм ³	0,36	0,03	0,089	0,054	9,03
Нитрит-ион, мгN/дм ³	30,0025	30,0025	30,0025	30,0025	0,024
Фосфат-ион, мгP/дм ³	0,005	0,005	0,007	0,006	0,066

Проведен анализ индикаторных показателей на оценку уровня трофности за вегетационный период (табл. 3, 4).

Таблица 2

**Средняя концентрация биогенных элементов в озерах Ушачской группы
за вегетационный период [4]**

Гидрохимический показатель	Вечелье	Кривое	Черствятское	Отолово
Азот общий, мг/дм ³	1,669	0,653	1,400	1,472
Фосфор общий, мг/дм ³	0,049	0,012	0,057	0,027
Аммоний-ион, мгN/дм ³	0,037	0,023	0,063	0,023
Нитрат-ион, мгN/дм ³	0,260	0,033	0,156	0,065
Фосфат-ион, мгP/дм ³	0,014	0,005	0,007	0,005

По содержанию общего азота все озера, за исключением озера Вечелье, относятся к эвтрофному типу, Вечелье — к гиперэвтрофному. По содержанию общего фосфора озера Вечелье и Черствятское относятся к эвтрофному типу, Кривое — мезотрофное, Отолово — переходное от мезотрофного к эвтрофному.

Таблица 3

Трофический статус озер Ушачской группы за вегетационный период [4]

Трофический индекс	Вечелье	Кривое	Черствятское	Отолово
Vollenweider (1979)	эвтрофный	мезотрофный	эвтрофный	мезотрофный
Романенко (1985)	мезотрофный	олиготрофный	эвтрофный	мезотрофный
Forsberg, Ryding (1999)	эвтрофный	олиготрофный	эвтрофный	эвтрофный
OECD (1988)	эвтрофный	мезотрофный	эвтрофный	мезотрофный
Tropliiik Level Index	гипер-эвтрофный	мезотрофный	гипер-эвтрофный	эвтрофный
Индекс Карлсона (TSI)	эвтрофный	мезотрофный	гипер-эвтрофный	эвтрофный

Таблица 4

Изменение величины прозрачности воды в течение исследуемого периода [4]

Месяц / озеро	Вечелье	Кривое	Отолово	Черствятское
Май	1,5	5,0	3,0	0,7
Июль	2,2	5,5	3,0	0,7
Август	3,4	2,0	5,0	0,7

Таблица 5

Данные по содержанию хлорофилла А в исследуемых озерах, мкг/л [4]

Месяц / озеро	Вечелье	Кривое	Отолово	Черствятское
Май	1,43	2,45	4,40	2,65
Июль	9,45	9,85	9,10	8,75
Август	1,63	1,10	4,90	19,10

Исходя из полученных данных, по величинам прозрачности, содержанию хлорофилла А, численности и биомассе фито- и зоопланктона за исследуемый период (табл. 5, 6), сделаны выводы по уровням трофности: озеро Кривое по большинству показателей — озеро мезотрофного типа, озеро Вечелье — эвтрофный водоем, озеро Отолово — занимает пограничное положение между мезотрофным и эвтрофным типом, озеро Черствятское — гиперэвтрофный водоем.

Библиографические ссылки

1. Якушко О. Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер северной Беларуси. Мн., 1971. 336 с.
2. Россолимо Л. Л. Основы типизации озер и лимнологического районирования. Накопление веществ в озерах. М. 1964. С. 5-46.

3. Оценка динамики изменения площади связанных с водой экосистем и разработка научно-обоснованных мероприятий для их охраны и восстановления. Установление причин и последствий изменения структуры и состояния связанных с водой экосистем РБ: отчет о НИР / рук. О. М. Таврыкина; исполн. Е. А. Ивашко [и др.]. Мн., 2023. 86 с.

4. Проведение экспериментальных работ по определению индикаторных показателей трофности на 4 озерах в осенний период: отчет о НИР /рук. О. М. Таврыкина; исполн. А. З. Макусь [и др.]. Мн., 2023. 77 с.

5. *Грищенко Н. Д.* Особенности антропогенной трансформации ландшафтов и озерных геосистем Белорусского Поозерья / Н. Д.Грищенко [и др.]. Международная научная конференция «Ландшафтная география в XXI веке», Мн., 2018. С. 26-29.

УДК: 551.435.122(571.6)

НАВОДНЕНИЯ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕК АМУР И УССУРИ

А. Н. Махинов, А. Ф. Махинова

*Институт водных и экологических проблем ХФИЦ ДВО РАН,
Хабаровск, Россия, amakhinov@mail.ru; mahinova@ivep.as.khb.ru*

Наводнения на крупных реках Дальнего Востока России являются наиболее частыми и опасными природными процессами, которые наносят значительный ущерб хозяйственной деятельности. Крупные паводки оказывают существенное влияние на активизацию процессов перераспределения стока воды между рукавами, преобразование русел, размыв берегов, особенно интенсивно проявляющиеся в пределах пойменно-русловых разветвлений. Бассейн р. Амур является одним из наиболее крупных в мире трансграничных речных систем, что обуславливает сложность решения ряда водохозяйственных проблем, имеющих разные приоритеты для России и Китая.

Ключевые слова: Амур; Уссури; наводнения; переформирование русла; размыв берегов.

FLOODS AND THEIR CONSEQUENCES IN TRANSBOUNDARY SECTIONS OF THE AMUR AND USSURI RIVERS

A. N. Makhinov, A. F. Makhinova

*Institute of Water and Ecology Problems KHFIC FEB RAS, 680000
Khabarovsk, Russia, amakhinov@mail.ru; mahinova@ivep.as.khb.ru*

Floods on large rivers in the Russian Far East are the most frequent and dangerous natural processes that cause significant damage to economic activity. Large floods have a significant impact on the activation of processes of redistribution of water flow between branches, transformation of channels, erosion of banks, which are especially intense within floodplain-channel branches. Pool river The Amur is one of the world's largest transboundary river systems, which makes it difficult to solve a number of water management problems that have different priorities for Russia and China.

Keywords: Amur, Ussuri, floods, channel reformation, bank erosion

С середины 1990-х гг. на территории России наблюдается увеличение числа опасных природных явлений, приносящих значительный ущерб экономике и населению страны. В среднем в год происходит около 200 опасных природных явлений [1]. При этом они становятся все более интенсивными и разрушительными, и нередко влекут за собой чрезвычай-

ные техногенные ситуации. Ежегодный ущерб от их воздействия на территории России составляет не менее 30-60 млрд рублей в год [2]. Значительно растет, особенно в последние годы, материальный ущерб от больших наводнений, переработки берегов, подтопления, заболачивания и водной эрозии [3]. С начала 2000-х гг. число и масштабность природных катастроф возросли примерно в 5 раз, а их опасность — в 9 раз [4].

Цель исследования заключалась в выявлении особенностей русловых процессов на наиболее проблемных участках пограничных рек Амур и Уссури, подверженных активному перераспределению стока воды по рукавам и роли крупных наводнений в их динамике.

Географическое положение бассейна Амура способствует активному проявлению на его территории различных опасных природных процессов, среди которых особое место занимают крупные наводнения, нередко носящие характер катастрофических. Умеренно-континентальный с отчетливо выраженными муссонными чертами климат, обуславливает большую сезонную и многолетнюю неравномерность стока воды и наносов [5] и способствует формированию крупных наводнений, группирующихся в отчетливо выраженные периоды [6].

В период последней высокой водности на Амуре (2009-2022 гг.) произошли четыре очень больших паводка, из которых наводнение в 2013 г. носило катастрофический характер и было наиболее мощным за весь период наблюдений. Паводки охватили огромные территории в пределах России и Китая. Крупные наводнения обусловили активизацию русловых процессов, резкое увеличение стока наносов и химическое загрязнение реки на значительном протяжении. Учитывая трансграничное положение бассейна Амура, его экологические проблемы приобретают межгосударственное значение [7].

Высокая интенсивность преобразований русла и размыва берегов наиболее ярко проявляется на участках широких пойменно-русловых разветвлений рек Амур и Уссури, характерных для их пограничных участков в пределах Хабаровского края и Еврейской автономной области. Русловые деформации представляют большую опасность для хозяйственной деятельности и условий жизни населения, а также для устойчивости гидротехнических сооружений, дорог, трубопроводов и других объектов.

На основе данных экспедиционных исследований и анализа космических снимков высокого разрешения, проводилась оценка последствий катастрофических паводков в перераспределении стока воды на многорукавных участках русел рек. Установлена негативная направленность перераспределения стока воды по рукавам р. Амур выше г. Хабаровска в пределах нескольких крупных русловых и пойменно-русловых разветвлений, на которых проведенными ранее исследованиями [8, 9] были выявлены

потенциально опасные тенденции в развитии русла. Наиболее проблемными являются пойменно-русловые разветвления на пограничных участках Амура, на которых современное распределение стока воды по рукавам в относительных величинах указывает на явно выраженную направленность в их развитии, в частности, на увеличение доли стока в некоторых левобережных (российских) рукавах реки (таблица).

Проблемные участки в пределах среднего течения Амура (Еврейская АО)

Участок	Доля стока левых рукавов	Направленность русловых преобразований после наводнения 2013 г.
Нагибовский	11 %	Интенсивная аккумуляция наносов выше оголовка острова Максимкин и в районе острова Большого сопровождается перераспределением расходов воды в основной рукав и снижением водности в Нагибовской протоке.
Венцелевский	29 %	Развитие Венцелевской протоки сопровождается увеличением ее водоносности, размывом берегов и дна. Перемещение руслового стока в протоку сдерживается ее небольшой шириной в истоке.
Сунгарийский	50 %	Интенсивные эрозионно-аккумулятивные процессы в паводок 2013 г. способствовали развитию левосторонних рукавов и снижению пропускной способности главного русла Амура перед слиянием с руслом реки Сунгари.
Сахалинский	36 %	Направленный характер русловых деформаций способствует увеличению ширины, глубины и водности Сахалинской протоки, а также аккумуляции наносов в главном русле Амура ниже истока (в устье острова Винный).

Высокая динамичность русловых переформирований сопровождается увеличением скорости размыва берегов, что обеспечивает существенное увеличение стока веществ во взвешенном состоянии (рис. 1). В составе твердого стока органические коллоиды и минеральные тонкодисперсные фракции составляют 85-95 %. Отмечается слабо выраженная неравномерность концентраций взвесей в поперечном сечении потока (рис. 2).

Особенно опасное развитие русловых процессов на Амуре происходит в районе г. Хабаровска, где в результате развития второстепенного рукава с увеличением водности на 40 % в течение 10 лет и заносимости главного русла, усилились угрозы для устойчивой работы городского водозабора и безопасных условий судоходства [10]. Опасность также представляют продолжительное затопление обширных пойм, подтопление и суффозионные процессы на приречных территориях [11].



Рис. 1. Размыв берега р. Амур

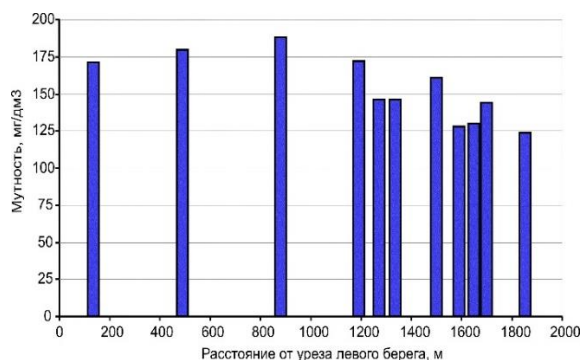


Рис. 2. Распределение взвешенных веществ в поперечном сечении русла ниже г. Хабаровска (паводок 2021 г.)

Анализ полученных материалов свидетельствует о сложных условиях формирования русла реки в паводки и разнообразии факторов, его преобразующих. В пределах пойменно-русловых разветвлений такими факторами являются:

- неустойчивый водный режим со значительными колебаниями стока воды и частыми летне-осенними паводками;
- активное перераспределение стока воды между рукавами на разветвленных участках русла;
- большая продолжительность затопления поймы во время паводков и слабая противозрозионная устойчивость берегов, обуславливающие их интенсивный размыв.

Особенно активно эти процессы проявляются во время катастрофических паводков, приводя к быстрому изменению размеров рукавов. Природная тенденция перераспределения стока воды в правобережные рукава р. Уссури и левобережные рукава р. Амур создают угрозу более интенсивного размыва российского берега по сравнению с китайским и изменению положения фарватера рек, особенно ярко выраженной на устьевом участке р. Сунгари (рис. 3). Размыв берегов на протяженных участках реки достигал 15-20 м только за один паводок.

Бассейн р. Амур является одним из наиболее крупных в мире трансграничных речных систем, что обуславливает сложность решения водохозяйственных проблем, имеющих разные приоритеты для России и Китая. Ситуация осложняется тем, что хозяйственная деятельность одной стороны нередко оказывает влияние на другую, приводя к ухудшению качества воды, сложностям для судоходства, снижению устойчивости береговых объектов и различных водохозяйственных сооружений.

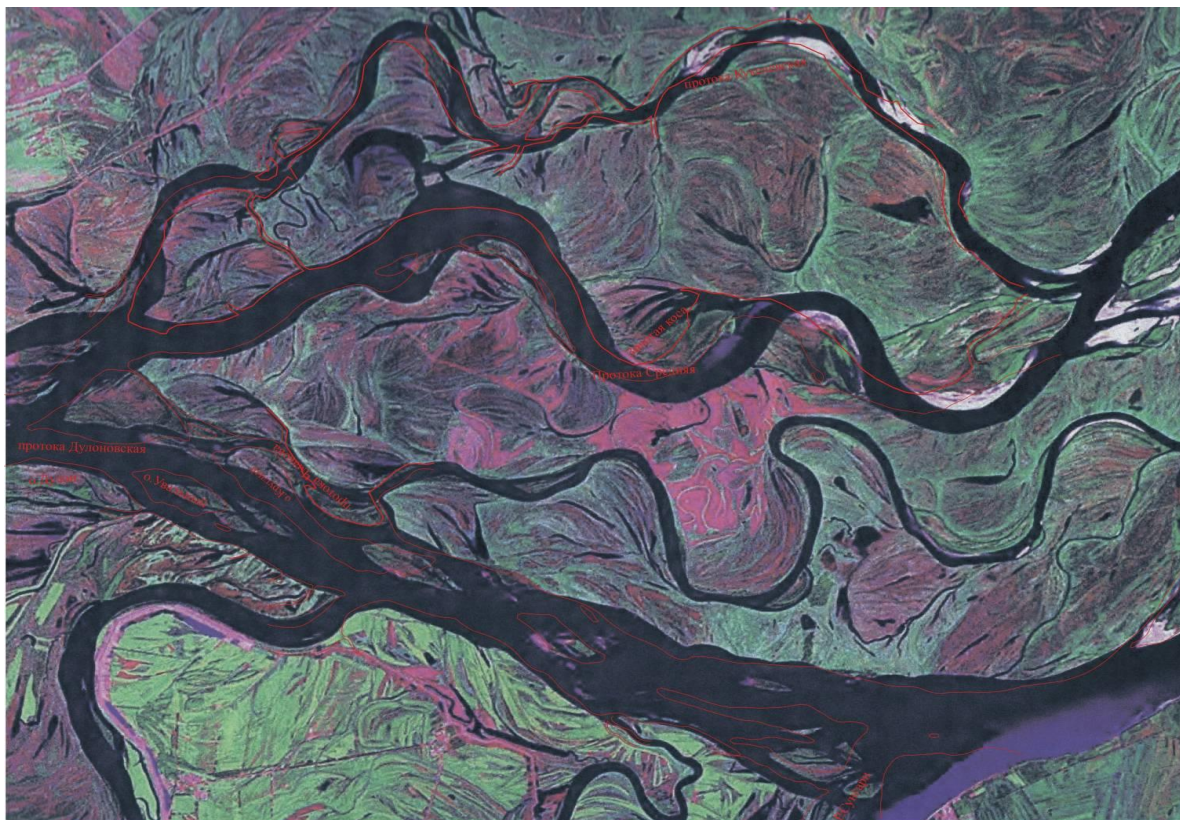


Рис. 3. Сложная пойменно-русовая многорукавность р. Амур в районе устья реки Сунгари [12].

Таким образом, большие наводнения на Амуре обусловили повышенную активизацию русловых деформаций, особенно в пределах пойменно-русовых разветвлений. Катастрофические паводки последнего периода высокой водности произвели значительную эрозионно-аккумулятивную деятельность в русле и пойме. Особенно интенсивно проявился размыв дна и берегов в основном русле и в наиболее крупных рукавах Амура, испытывающих развитие в результате перераспределения стока воды в их пользу. Становится актуальной согласованная с китайской стороной разработка программы возведения берегозащитных сооружений и проведении иных руслостабилизирующих мероприятий на пограничных участках рек, подверженных интенсивным русловым деформациям.

Библиографические ссылки

1. Badina S., Porfiriev B. Natural Hazards Governance in Russia. Oxford University Press, United Kingdom. 2019. 26 p. DOI: 10.1093/acrefore/9780199389407.013.244
2. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). – Санкт-Петербург; Саратов: Амирит, 2020. – 120 с.

3. Данилов-Данильян В. И. Глобальные климатические изменения и водные проблемы России и мира // Век глобализации. 2020. №. 4. С. 65-78.
4. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М. Научный мир, 2009. 692 с.
5. Гарцман Б. И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 241 с.
6. Махинов А. Н., Лю Шугуан, Ким В. И., Махинова А. Ф. Особенности больших наводнений на реке Амур в период высокой водности 2009-2021 гг. // Тихоокеанская география. 2023. № 1. С. 66-74.
7. Ганзей С. С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и северо-востока КНР // Владивосток: Дальнаука, 2004. 229 с.
8. Завадский А. С. Пограничные проблемы на реках бассейна Амура, обусловленные русловыми процессами, и пути их решения // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 74-79.
9. Иванов В. В., Завадский А. С. Русловые процессы на пограничном участке Амур // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. № 3. С. 48-56.
10. Махинов А. Н., Завадский А. С., Ким В. И., Чернов А. В., Губарева Е. К. Изменение русла реки Амур после наводнения 2013 года // Известия РГО, 2016. Т. 148, вып.3. С. 46-61.
11. Махинова А. Ф., Махинов А. Н. Деградация почв под влиянием наводнений и их роль в формировании химического стока реки Амур // Эволюция и деградация почвенного покрова: сборник научных статей по материалам VI Международной научной конференции (г. Ставрополь, 19-22 сентября 2022 года). Ставрополь: СЕКВОЙЯ, 2022. С. 33-35.
12. Google Maps. URL: <https://www.google.ru/maps/@47.7467009,132.5115315,23514m/data=!3m1!1e3> (дата обращения: 22.01.2024).

УДК: 549.28:551.326.83 (282.257.5)

МЕХАНИЗМЫ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И УСЛОВИЯ МИГРАЦИИ ЗАГРЯНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РЕКЕ АМУР

А. Ф. Махинова, А. Н. Махинов

*Институт водных и экологических проблем ХФИЦ ДВО РАН,
Хабаровск, Россия, amakhinov@mail.ru; mahinova@ivep.as.khb.ru*

Концентрирование загрязняющих веществ рассматривается как функция содержания растворимых и взвешенных форм химических соединений в Амуре. Миграция Fe, Mn, Zn, Cu, Pb происходит в составе органических коллоидов и растворимых комплексных солей. Их концентрации в русле обусловлены активностью русловых процессов, составом болотных вод и промышленных стоков. Вынос загрязняющих веществ весной в составе льда способствует стабилизации качества воды в Амуре.

Ключевые слова: река Амур; наводнения; русловые процессы, тяжелые металлы; миграция элементов; химическое загрязнение

MECHANISMS OF CONCENTRATION AND CONDITIONS OF MIGRATION OF POLLUTANTS IN THE AMUR RIVER

Aleksandra F. Makhinova, Aleksei N. Makhinov

*Institute of Water and Ecology Problems KHFIC FEB RAS, 680000
Khabarovsk, Russia, amakhinov@mail.ru; mahinova@ivep.as.khb.ru*

The concentration of pollutants is considered as a function of the content of soluble and suspended forms of chemical compounds in the Amur. Migration of Fe, Mn, Zn, Cu, Pb occurs in the composition of organic colloids and soluble complex salts. Their concentrations in the riverbed are determined by the activity of riverbed processes, the composition of swamp waters and industrial wastewater. The removal of pollutants in the spring as part of the ice helps stabilize the water quality in the Amur.

Keywords: Amur river; floods; channel processes, heavy metals; migration of elements; chemical pollution.

Река Амур подвержена рискам экологических угроз, которые обусловлены природно-техногенными процессами и ее трансграничным положением. В последнее десятилетие Амур вступил в период высокой водности и испытывает сильное антропогенное давление [1]. Угрозой загрязнению реки являются расположенная в ее бассейне развитая химическая промышленность, сельское хозяйство, машиностроение. Сброс в русло производственных сточных вод приводит к поступлению широкого спек-

тра техногенных поллютантов, среди которых ключевую роль играют тяжелые металлы. Наводнения усугубляют процессы загрязнения реки. Негативные последствия наводнений обусловлены интенсификацией русловых процессов, переносом терригенного материала и химических соединений. Риски загрязнения воды, как питьевого ресурса, опасны для населения трансграничных стран. Исследование изменений природной среды в направлении долгосрочных прогнозов будут способствовать разработке мер по обеспечению качества воды.

Цель работы — анализ пространственных вариаций гидрохимических показателей качества воды в реке Амур в период паводков и выявление механизмов концентрирования и миграции химических элементов в русловом потоке и ледовом покрове.

Исследования проводились во время высоких летне-осенних паводков на реке Амур в 2019-2021 гг. в двух створах — в 10 км и в 7 км ниже г. Хабаровска.

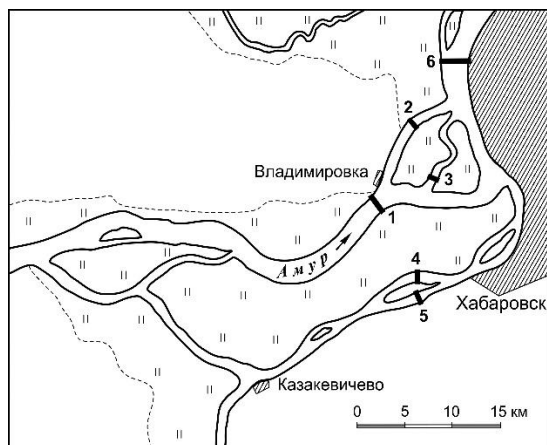


Рис. 1. Река Амур около г. Хабаровска (1-6) — створы наблюдений



Рис. 2. Точки отбора проб ниже г. Хабаровска

Ежегодно Амур выносит в море более 1 млрд. м³ промышленных и коммунальных сточных вод, где более 400 млн. м³ загрязненных и около 15 % — неочищенных [2]. Разнообразные природные условия и изменчивость стока воды определяют ее геохимический фон. В период наводнений активизация русловых процессов увеличивает размыв берегов и сток веществ во взвешенном состоянии. Органические и минеральные коллоиды в составе твердого стока составляют 85-90 %. Распределение высоких концентраций терригенного материала и содержание крупных коллоидов (0,45-1 мкм) органического вещества в составе взвеси при высоких паводках чаще всего сохраняются до начала ледостава [3].

Для определения переноса массы твердого вещества (G) через поперечное сечение турбулентного потока использовали формулу [3]:

$$G = kQV_1L[C/hg - (1-f)10^3I]/dt,$$

где k – коэффициент пересчета массы твердого вещества в пробе воды к его истинной массе; Q – расход воды, м³/с; V_1 – скорость потока в поверхностном слое, м/с; L – расстояние между створами, м; C – скорость седиментации в потоке, кг/(м·с²); h – глубина потока, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент трения в придонном слое; I – уклон дна; 10^3 – плотность воды, кг/м³; t – время, сек.

Расчеты средней массы взвешенных наносов (ВВ, мг/дм³) в потоке при прохождении паводка 2021 г. на реке Амур приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика стока реки Амур в поперечном сечении русла ниже г. Хабаровска (ширина русла 1920 м), наводнение 2021 гг.

№ р р	Поток в русле		Сток в поперечном русле, мг/дм ³			G _{ср} (G _f +G _{fp}) мг/дм ³	G _m / G _{ср}	УЭП, μs/cm
	V(м/с) max/min	L, м	G _m ВВ>1 мкм	G _f (max/min 0,45-1 мкм	G _{fp} <0,45мкм			
1	2,6/2,5	135	166,3	4,7/0,9	12,1	16,8	9,72	78,3
2	3,4/3,0	445	176,2	3,8/0,4	12,0	15,8	11,2	101,2
3	3,6/3,1	880	185,1	2,9/0,5	11,8	14,7	12,6	112,1
4	3,7/3,1	1190	70,2	1,8/0,4	9,8	11,6	6,05	103,9
5	3,9/3,1	1500	159,1	1,9/0,8	7,0	8,9	17,9	103,8

Примечание. G_m – терригенный сток; G_f – сток растворенных коллоидных форм ОБ; G_{fp} – сток растворенного ОБ; G_{ср} – истинно растворенное ОБ; L – расстояние от уреза левого берега, м. Определение ОБ выполнила Левшина С. И. (ИВЭП ДВО РАН)

Главной особенностью изменчивости концентраций железа во времени, является прямая зависимость от содержания органических коллоидов в воде [4]. Показатели концентраций химических элементов в поперечном сечении русла Амура находятся в соотношении Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Pb. Высокая мутность в паводки контролирует это соотношение. Природные воды бассейна Амура железистые, фоновое содержание растворимых форм Fe в реке более 100 мкг/дм³ [3]. Высокие концентрации соединений железа поддерживают буферность раствора, повышая интенсификацию растворения соединений меди, цинка, свинца с образованием катионов Cu⁺², Zn⁺², Pb⁺². Поэтому в процессах миграции многих химических элементов важную роль играет их сродство к Fe. Увеличение содержания органических веществ (ОБ) в паводки приводит к концентрированию мало подвижных элементов (Al, Cd, Zn, Cu, Pb) в составе органических коллоидов (0,45-1,0 мкм) и загрязнению Амура [5]. При высокой мутности органические коллоиды осаждаются на минеральной взвеси с образованием

органоминеральных комплексов, повышая загрязненность реки [7]. Фульвокислоты способны к химическому взаимодействию с металлами, образуя растворимые органоминеральные соединения [4, 7].

Река Амур с середины ноября до конца апреля покрыта льдом. Концентрирование тяжелых металлов в ледовом покрове связано с содержанием их в подледной воде. Однако в зоне техногенного влияния концентрации химических соединений в ледовой толще слабо согласуются с их содержанием в подледной воде (табл. 2). Послойное исследование кернов льда позволило проанализировать динамику качества воды в период ледостава и степень загрязненности ледового покрова токсичными веществами.

В ледовом покрове выявлены высокие показатели содержания тяжелых металлов [8]. Концентрации Ni, Cu, Zn и Pb во льдах на порядок выше их показателей в подледной воде. Загрязняющие вещества влияют на цветовую гамму керна, которая отражает разновременную избирательность кристаллизации химических соединений [9] (рис. 3; табл. 2).

Таблица 2

Содержание металлов в слоях льда и подледной воде

Слой льда, см	Среднее содержание элементов, мкг/дм ³					
	Ni	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn
0-20	2,52	22,50	27,66	5,49	47,62	18,6
20-40	2,29	21,02	35,60	2,77	102,77	4,15
40-60	7,02	22,74	80,15	7,91	156,81	2,58
60-80	0,79	20,56	23,59	1,45	24,50	1,17
80-100	5,45	35,98	31,85	3,68	12,59	1,57
Вода	1,34	6,22	18,52	0,22	580,14	43,4



Рис.3. Слоистый керн льда

В слое 0-28 см лед с поверхности имеет зеленовато-синий оттенок, что обусловлено повышенным содержанием цинка и меди. В темном слое буровато-грязно-серого цвета выявлены высокие концентрации Fe, Pb, а также терригенные включения с повышенным содержанием Ni [10, 11]. Концентрирование тяжелых металлов (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb) в нижних слоях льда (80-100 см) резко снижаются.

Ледовая толща реки Амур, мощностью более 80 см, является критической, при которой на границе раздела фаз выравнивание температуры кристаллизации химических соединений с точкой их температурной эвтектики приводит к равновесию концентраций в твердой и жидкой фазах [12]. Скорость намерзания льда снижается почти в 2 раза, а образование криогидратной смеси и ее содержание во льдах зависит только от концентраций в подледной воде. Таким образом, в ледяном покрове реки концентрируется

большая масса загрязняющих веществ, которые во время весеннего ледохода мигрируют в море.

Мониторинг гидрохимических показателей Амура свидетельствует о наименьшей его загрязненности в период после весеннего ледохода. Особенно ярко это проявилось в 2022 г., когда высокие паводки 2019-2021 гг. поддерживали высокие концентрации загрязняющих веществ в реке, а миграция их в составе льда способствовала ее очищению.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-80020/2022.

Библиографические ссылки

1. Махинов А. Н., Махинова А. Ф., Ким В. И. Динамика русловых процессов реки Амур и миграция тяжелых металлов в период наводнений // Экология и промышленность России, 2022. Т. 26, № 2. С. 58-63.
2. Чудаева В. А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 2002. 392 с.
3. Махинов А. Н., Махинова А. Ф. Влияние паводков на процессы концентрирования и миграцию химических соединений в реке Амур // Региональные проблемы, 2022. Т. 25, № 3. С. 37-41.
4. Linnik P. N., Zhezherya V. A., Linnik R. P., Ivanechko Ya.S. Influence of the component composition of organic substances on the ratio of dissolved forms of metals in surface waters // J. Hydrobiological journal, 2012. V. 48, №. 5. P. 97-114.
5. Шулькин В. М. Роль крупных коллоидов в химическом составе речных вод (на примере рек юга Дальнего Востока РФ) // Материалы XII Совещания географов Сибири и Дальнего Востока, 28 сентября - 1 октября 2021. С. 105-108.
6. Tipping E. Cation binding by humic substances. Cambridge Univer, 2004. 434 p.
7. Голдовская Л. Ф. Химия окружающей среды. М.: Мир, 2005. 296 с.
8. Махинов А. Н., Ким В. И., Махинова А. Ф., Матвеев Д. В. Содержание тяжелых металлов во льду нижнего течения реки Амур // Лед и снег, 2022, 62(2). С. 251-260.
9. Fukuta N. A study of the mechanism of contact ice nucleation. J. Atmos. Sci. 32(8), 1975. P. 1597–1603.
10. Махинова А. Ф., Махинов А. Н., Лю Шугуан. Механизмы кристаллизации химических соединений во льдах р. Амур и роль тяжелых металлов в ее загрязнении // Экология и промышленность России, 2023. Т. 27, № 3. С. 54-59.
11. Matoba S., Sasaki H., Shiraiwa T. Iron flux over the subarctic pacific estimated by an ice-core record from Mount Wrangell, Alaska. In Editor T. Shiraiwa. Repot of Amur-Okhotsk Projekt. Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, 2008, (5). P. 189-198.
12. Makhinova A.F., Makhinov A.N. Heavy Metals Concentration Mechanisms in the Ice of Amur River // Springer proceedings in Earth and Environmental Sciences. Book Chapter. 2023. P. 124-132.

УДК 551.582.2

МОГЛА ЛИ ПОЯВИТЬСЯ НОВАЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОБЛАСТЬ В БЕЛАРУСИ В 1930-х гг.

В. И. Мельник¹⁾, Е. В. Комаровская²⁾, И. В. Буяков¹⁾

¹⁾Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10, Минск, Беларусь, v.melnik2016@mail.ru; ²⁾Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, Минск, Kevl@hmc.by

Дана оценка сравнения средних температур воздуха по длиннорядным станциям за наиболее теплый период потепления Арктики (1929-1939 гг.) и период начала современного потепления климата (1989-1999), в который на территории Беларуси появилась Новая агроклиматическая область. Выполнено районирование территории Беларуси по суммам температур выше 10 °С за период 1929-1939 гг., которое показало наличие только двух агроклиматических областей.

Ключевые слова: агроклиматическое районирование; изменение климата; агроклиматические области.

COULD A NEW APPEAR AGROCLIMATIC REGION IN BELARUS IN THE 30S

V. I. Melnik¹⁾, E. V. Komarovskaya²⁾, I. V. Buyakov¹⁾

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, st. F. Skaryny, 10, Minsk, Republic of Belarus, v.melnik2016@mail.ru; ²⁾Republican Center of Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring, Independence Ave., 110, Minsk, Belarus, Kevl@hmc.by

An assessment is made of the comparison of average air temperatures at long-row stations for the warmest period of Arctic warming (1929-1939) and the period of the beginning of modern climate warming (1989-1999), in which a New agroclimatic region appeared on the territory of Belarus. A zoning of the territory of Belarus was carried out based on the sums of temperatures above 10 °C degrees for the period 1929 - 1939, which showed the presence of only two agroclimatic regions.

Keywords: agroclimatic zoning; climate change; agroclimatic regions.

Общее агроклиматическое районирование характеризует распределение по территории основных климатических признаков, количественно выражающих степень благоприятности климата по различным агроклиматическим показателям для сельского хозяйства в целом. Начиная с 50-х гг.

прошлого столетия и по настоящее время границы агроклиматических областей проводят по изолиниям сумм температур выше 10 °С различных градаций, определяющих ресурсы тепла. Как правило, всегда выделялись 3 агроклиматические области — Северная, Центральная и Южная. Впервые появление 4-й Новой агроклиматической области в результате современных изменений климата было отмечено за первое десятилетие потепления 1989-1999 гг. [1]. Впоследствии вопросы изменения границ агроклиматических областей на территории Беларуси отмечались в ряде работ Белгидромета НАН Беларуси и других [2-5].

Как известно, начиная с 1989 г., средняя годовая температура была выше климатической нормы (исключение составляет 1996 г.), (рис.1).

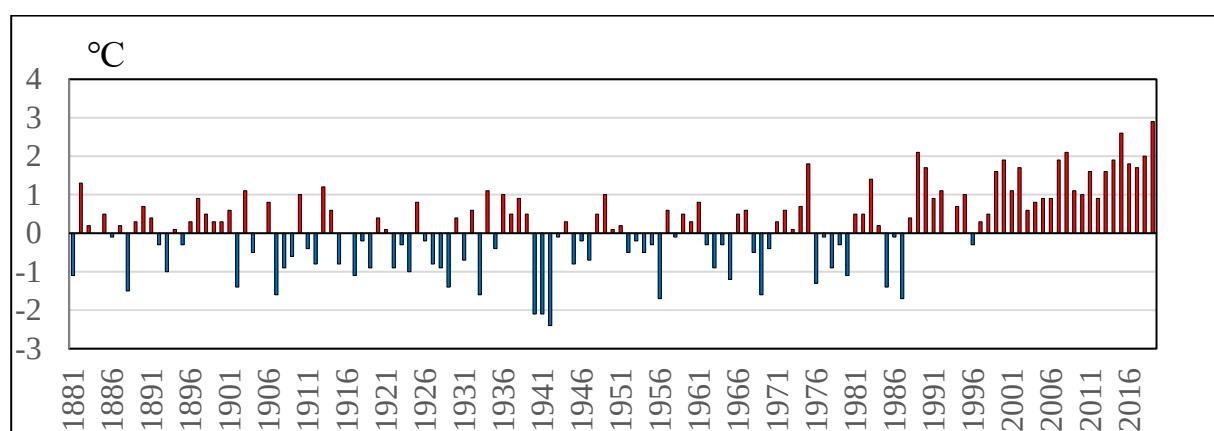


Рис.1. Отклонение средней годовой температуры воздуха от климатической нормы 1961-90 гг. (+5,9 °С)

Первое десятилетие 1989-1999 гг. характеризовалось преимущественно зимним и весенним (март, апрель) характером потепления. Потепление 30-х годов XX столетия (известное, как потепление Арктики), если судить по изменению среднегодовых отклонений температуры, выражено более слабо и было потеплением преимущественно теплого периода года, а пятилетний период в Беларуси 1935-1939 гг. был наиболее теплым до начала потепления с 1989 г. [6]. Возникает вопрос, могла ли появиться Новая агроклиматическая область в 30-е годы прошлого столетия, которые отличались потеплением в более теплый период года? С этой целью проведено сравнение температур воздуха по наиболее длиннорядным станциям за периоды 1929-1939 гг. и 1989-1999 гг. (рис. 2).

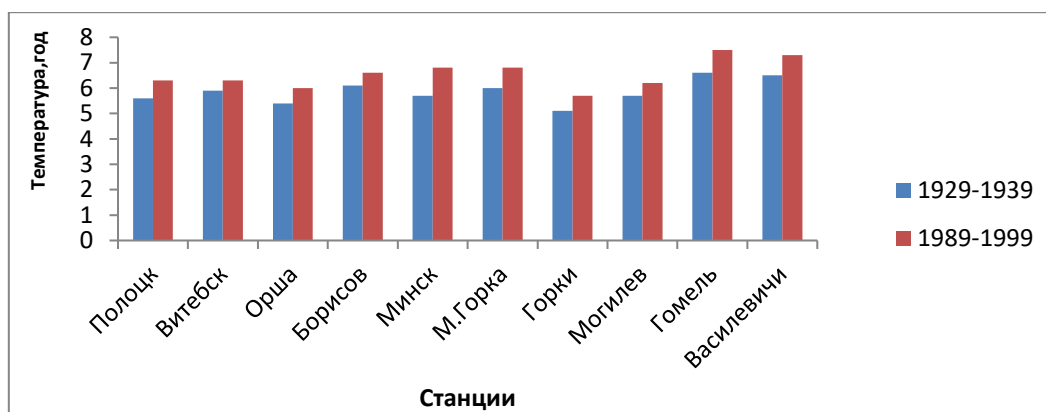


Рис.2. Сравнительные данные средней годовой температуры воздуха за периоды 1929-1939 гг. и 1989-1999 гг.

Ожидаемо среднегодовая температура периода 1989-1999 гг. по всем станциям оказалась выше, чем в 1929-1939 гг. Сравнение средних температур воздуха за май-сентябрь (период активной вегетации, когда на большинстве территории происходит начало и окончание перехода температуры воздуха через 10 °С) показало в подавляющем большинстве пунктов наблюдений превышение температуры периода 1929-1939 гг. по сравнению с периодом 1989-1999 гг. (рис. 3).

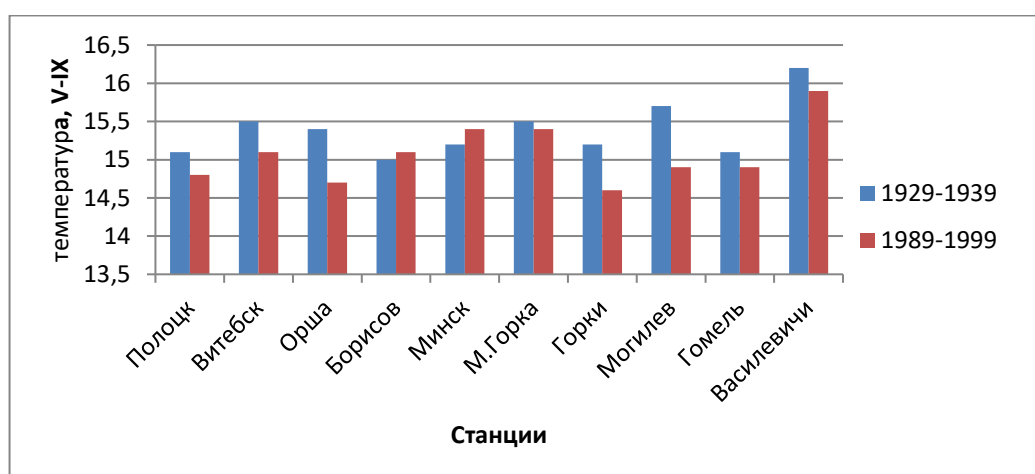


Рис.3. Сравнительные данные средней температуры воздуха в мае-августе за периоды 1929-1939 гг. и 1989-1999 гг.

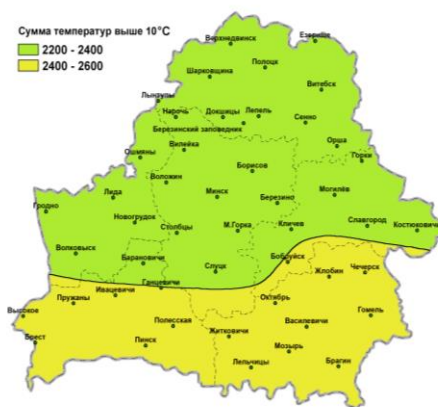
Следует ожидать, что в 1929-1939 гг. на территории Беларуси могла быть отмечена Новая агроклиматическая область, впервые за период инструментальных наблюдений. Для проверки этой гипотезы за указанный период выполнено районирование территории Беларуси по суммам температур выше 10 °С. Предварительно, методом разностей по данным длиннорядных станций восстановлены среднемесячные температуры

пунктов наблюдений Брест, Пинск, Лида, Гродно, по которым в этот период частично отсутствовали данные. По полученным среднемесячным температурам воздуха методом кубического сплайна рассчитаны даты перехода температуры воздуха через 10 °С, а затем и суммы температур выше 10 °С. Районирование территории Беларуси по суммам температур выше 10 °С периода 1929-1939 гг. и периода 1989-1999 гг. приведено на рис.4. Несмотря на ограниченное количество пунктов наблюдений проведена изолиния сумм температур 2400 °С, которая разделила территорию Беларуси на две агроклиматические области: с суммами температур 2172-2400 °С и 2401-2577 °С. Необходимо отметить, что граница в 2400 °С в 30 -е гг. проходит несколько южнее, чем в 1989-1999 гг., но в целом соответствует Южной агроклиматической области.

а)



б)



Условные обозначения: I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая. Суммы температур выше 10 °С: [blue box] менее 2200, [green box] 2200-2400, [yellow box] 2400-2600, [orange box] более 2600.

Рис.4. Изменение границ агроклиматических областей Беларуси:
а) - за период 1989-1999 гг., б) за период 1929-1939 гг.

Суммы температур выше 10 °С периода 30-х гг., несмотря на летний характер потепления, оказались меньше сумм периода 1989-1999 гг. и для выделения Новой агроклиматической области не хватило буквально 30-50 °С сумм температур. Причиной стал более теплый апрель 1989-1999 гг., за счет которого начало активной вегетации пришлось на конец апреля, на 4-7 дней раньше, чем в 30-е гг. Окончание периода активной вегетации в 30-е гг. проходило позже, чем в 90-е гг. из-за более теплого сентября, но разница оказалась менее значимой чем в апреле: в среднем 2 дня. Поэтому, период 90-х гг. с суммами температур выше 10 °С оказался в среднем на 5 дней длиннее аналогичного периода 30-х гг. за счет чего и оказался теплее.

Второй особенностью результатов исследований стало наличие только двух агроклиматических областей в 30-е гг. Объясняется это тем, что потепление Арктики в 30-е гг. вызвало на территории Беларуси большее повышение температуры в северной и центральной ее частях по сравнению с южной [6,7]. Это подтверждается и сравнительными разностями температур за указанные периоды между пунктами северной и южной частей территории. Полученные данные подчеркивают актуальность изучения агроклиматических ресурсов территории при различных сценариях изменения климата.

Библиографические ссылки

1. Мельник В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: автореф. дис. канд. геогр. наук: 25.00.23. Бел.гос. ун-т. Мн., 2004. 21 с.
2. Мельник, В. И. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989-2015 гг. / Мельник В. И., Данилович И. С., Кулешова И. Ю. // Природные ресурсы Минск. 2018. вып. 2. С. 88-101.
3. Логинов В. Ф., Табальчук Т. Г. Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси. Природопользование, 2014, вып. 25. С. 47-52.
4. Давыденко О. В. Агроклиматическое районирование в Беларуси в условиях изменения климата. Вестник Белорусского госуниверситета. Сер. 2, Химия, Биология, География. 2009. № 1. С. 106-111.
5. Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата – (утверждена Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь 30 августа 2019 г. и согласована с НАН Беларуси 11 сентября 2019 г). 56 с.
6. Климат Беларуси/ под ред. В. Ф. Логинова – Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 1996. С. 194-196.
7. Киселев В. Н., Матюшевская Е. В. Климатические условия периода мелиоративного освоения Белорусского Полесья. Мелиорация № 1(73), 2015. С.154-155.

УДК 57.045

АНАЛИЗ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕТРОВОЙ АКТИВНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «КРАСНОЯРСК ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

А. О. Мирцевич

*Сибирский федеральный университет, 660041, пр. Свободный, д. 79, г. Красноярск,
Российская Федерация, alekseko@yandex.ru*

Рассмотрена проблема ветровой активности. Для изучения климатических изменений и прогнозирования погоды в регионе проведено разделение показателей ветра на штиль и шквал. На основе анализа данных за 1966-2019 гг. выявлено, что изменение ветровых показателей является естественным циклическим природным событием.

Ключевые слова: ветровая активность; штиль; шквал; скорость ветра.

ANALYSIS OF LONG-TERM INDICATORS OF WIND ACTIVITY WEATHER STATION «KRASNOYARSK EXPERIMENTAL FIELD»

A. O. Mirtsevich

*Siberian Federal University, 660041, Svobodny avenue, 79, Krasnoyarsk,
Russian Federation, alekseko@yandex.ru*

The problem of wind activity has been studied. Where, for further study of climate change and weather forecasting in the region, wind indicators were divided into calm and squall. Based on the analysis of data from 1966-2019, it was revealed that changes in wind indicators are the natural cyclical natural event.

Keywords: wind activity; calm; squall; wind speed.

Знание характеристик ветровых показателей [1, с. 12] имеет важное значение для народного хозяйства. Поэтому, краткосрочный прогноз метеорологических условий загрязнения (МУЗ) требует привлечения критических значений метеорологических величин, которые характеризуют условия вертикального перемешивания и горизонтального переноса в момент накопления вредных примесей, а также типов синоптических ситуаций, при которых наблюдается высокий уровень загрязнения, который на прямую связан с показателями ветровой активности [2, с. 83; 3, с. 70; 4, с. 10]. Специфика ветровой активности у поверхности земли формируется путем циркуляции воздушных масс и взаимодействия с местными физико-географическими и климатическими условиями района, а так как Красноярск находится в горной котловине, то это приводит к формированию особого

принципа ветрообразования — горно-долинная циркуляция. Поэтому при оценке и прогнозировании параметров загрязнения атмосферы, в частности в больших городах, необходимо знание характеристик ветра. К тому же прослеживается связь критических экологических ситуаций с реальными метеорологическими условиями.

В связи этим, целью данного исследования было проанализировать долгосрочные показатели ветровой активности в пределах города Красноярска в период с 1966 по 2019 гг. В качестве материалов использовались дневники погоды метеостанции «Красноярск Опытное Поле».

На основе имеющихся данных, для выявления закономерности и прогнозирования событий, была использована линия тренда, в данном случае линейный тренд, где выделялись показатели ветра (штиль и шквал).

Станция «Красноярск Опытное Поле» находится на окраине города вдали от городской застройки в лесостепной зоне, в крупнохолмистой сильно пересеченной местности. Местность покрыта смешанным лесом, чередующимся с возделанными полями и лугами. Также стоит отметить, что Красноярск входит в число первых 40 городов РФ по показателю загрязнения атмосферного воздуха [5, с. 265]. При этом, многие выдвигают гипотезы о взаимосвязи ветровой активности с изменением градостроительного плана, в частности с неравномерным увеличением количества строительства высотных зданий.

При анализе данных выявлено снижение скоростей ветра с 1977 г., сопровождающееся общей перестройкой циркуляции воздушных масс: в десятилетие 1970-1979 гг. (десятилетие с самыми высокими скоростями) годовые пики приходились на апрель-май, а в 2007-2016 гг. (десятилетие с самыми низкими скоростями) — на март-апрель, заметно уменьшились скорости в ноябре-декабре (второй пик) по отношению к остальным месяцам, средняя скорость в году уменьшилась с 2,59 до 1,94 м/с. Амплитуда скоростей ветра между годами с максимальной (1977 г.) и минимальной (2016 г.) среднегодовыми скоростями ветра составила 1,78 м/с (снизилась на 47 %).

На рисунке 1 можно увидеть, что средняя скорость ветра за 52 года составила 2,29 м/с, с преобладанием юго-западного направления. Второе место — у южного направления, третье — у западного (причем на долю последнего приходится самое большое количество шквальных ветров).

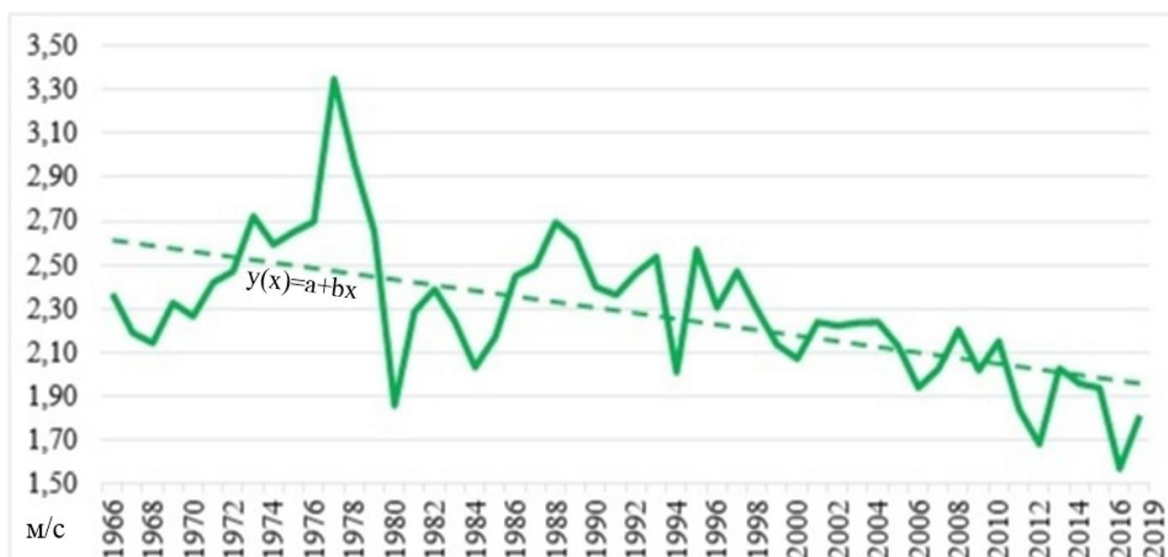


Рис. 1. Средние скорости ветра по годам на станции «Красноярск Опытное поле» в 1966-2019 гг.

Рисунок 2 показывает, что процент штилей от общего количества ветров (максимален при установлении устойчивых антициклонов в январе и июле-августе) на станции, обратно пропорционален графику средних скоростей, причем их количество в году имеет тенденцию к возрастанию с 2002 г. При этом снижается количество ветров со скоростью от 4 м/с (достаточной для полного продуваемости территории города). Количество шквальных ветров, преимущественно приходящихся на декабрь-январь, также снижается с 2005 г. (рис. 3).

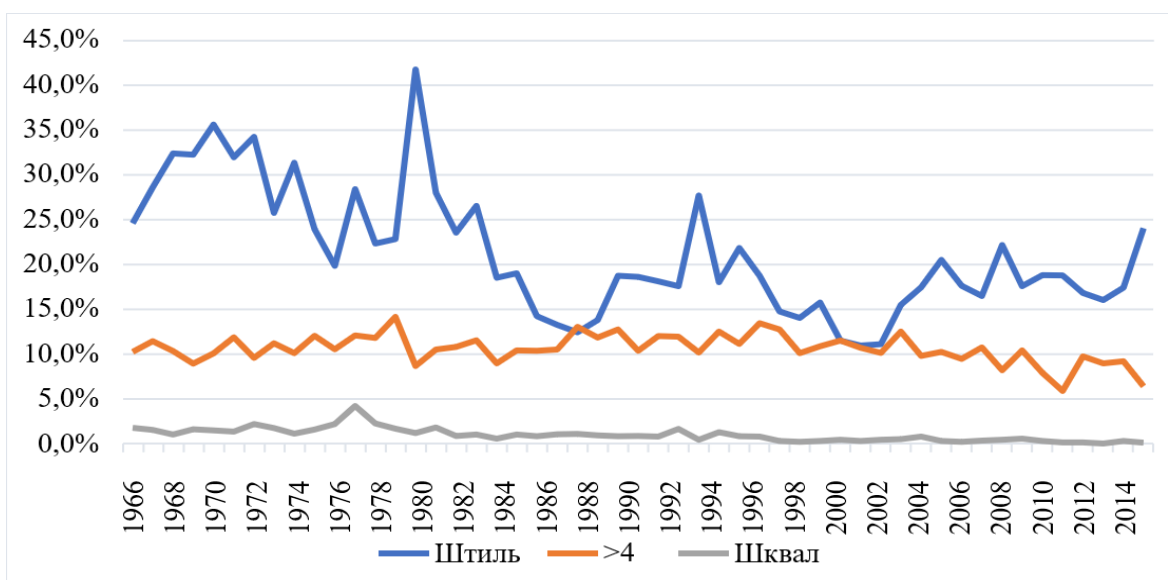


Рис. 2. Процент различных ветров по годам на станции «Красноярск Опытное поле» в 1966-2019 гг.

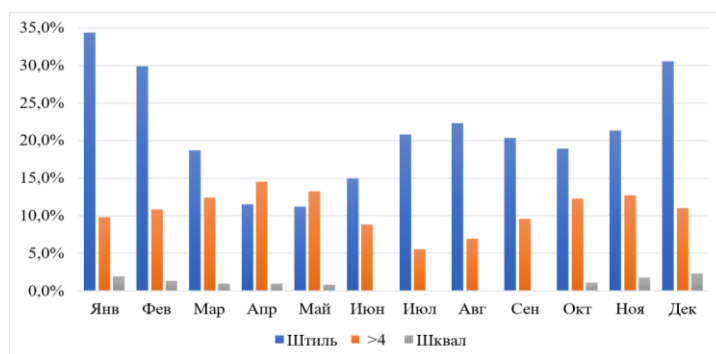


Рис. 3. Процент различных ветров по месяцам на станции «Красноярск Опытное поле» в 1966-2019 гг.

Таким образом можно говорить о том, что изменение ветровых показателей является естественным природным событием. Эти данные также важны для опровержения теории о том, что в Красноярске количество штилей возрастает только лишь из-за хаотично появляющихся высотных зданий, препятствующих рассеиванию загрязняющих веществ.

При этом можно увидеть цикличность периодов падения скоростей, которая будет сменяться с падения на период нового роста. Такая цикличность заметна при анализе скоростей ветра с 1936 г. — минимум скоростей приходился на 2016 г., а максимум — на 1977 г., что повышает актуальность исследований ветропотенциала долины.

К тому же, станция находится достаточно далеко от русла реки и склонов внутри дачного массива, что обуславливает низкий ветропотенциал участка. По имеющимся данным можно сделать вывод, что в течение исследованных 52 лет только один год характеризовался средней скоростью ветра более 3 м/с (1977 г.), что ниже показателя 4 м/с, необходимого для полной продуваемости территории города.

Библиографические ссылки

1. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки // Метеорология и гидрология, 1978. №. 7. С. 11-17.
2. Шалыгина И. Ю. О связях загрязнения воздуха в Москве и метеорологических параметров по данным реанализа // Труды ГМЦ РФ, 2008. №. 342. С. 79-87.
3. Горошко В. В. Некоторые особенности распространения вредных примесей от высоких источников в зависимости от синоптико - метеорологических факторов // Труды ГГО, 1968. №. 207. С. 69-75.
4. Zubkovich S. A. Meteorological conditions of atmospheric pollution air m. Kharkov // Modern interdisciplinary research: history, present, future. VIII Int. correspondence conf. November 14, 2014. Kiev. P. 10-12.
5. Каюков А. Н. Современное состояние окружающей среды города Красноярска // Экологические чтения-2021: XII Национальная научно-практическая конференция с международным участием, Омск, 04-05 июня 2021 года. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2021. С. 265-270. DN LDHSTE.

УДК 551.506.8

АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ

А. О. Нестерова¹⁾, О. В. Волобуева¹⁾, А. П. Соколина²⁾

¹⁾Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ),
Малоохтинский пр., д. 98, г. Санкт-Петербург, Россия,
lina01nesterova@mail.ru, ovvolobueva@rshu.ru

²⁾Северо-Западный филиал ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», Пулковское
шоссе, 20 А, г. Санкт-Петербург, Россия, nst.palna@yandex.ru

Происшествия с птицами тесно связаны с состоянием атмосферы, так как она является их средой обитания. Основная цель данной работы — анализ влияния метеорологических условий и синоптических ситуаций на перелеты птиц в районе аэропорта Пулково с 2014 по 2023 гг. Данный аэропорт актуален для анализа, поскольку находится в зоне миграции птиц, рядом проходит южная ветвь Беломоро-Балтийского пролетного пути.

Ключевые слова: метеорологические условия; авиация; авиационная метеорология; орнитологическое обеспечение; аэродром Пулково.

ANALYSIS OF METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR ORNITHOLOGICAL SUPPORT OF AVIATION

A. O. Nesterova¹⁾, O. V. Volobueva¹⁾, A. P. Sokolina²⁾

¹⁾ Russian State Hydrometeorological University (RSHU),
98 Malookhtinsky Prospekt, St. Petersburg, Russia, lina01nesterova@mail.ru,
ovvolobueva@rshu.ru ²⁾North-Western branch of the Federal State Budgetary
Institution Aviamettelecom of Roshydromet, Pulkovskoe highway, 20A,
St. Petersburg, Russia nst.palna@yandex.ru

Incidents with birds are closely related to the state of the atmosphere, as it is their habitat. The main purpose of this work is to analyze the influence of meteorological conditions and synoptic situations on bird flights in the area of Pulkovo airport from 2014 to 2023. This airport is relevant for analysis, since it is located in the bird migration zone, the southern branch of the White Sea-Baltic flyway passes nearby.

Keywords: meteorological conditions; aviation; aviation meteorology; ornithological support; Pulkovo airfield.

Орнитологическое обеспечение полетов — комплекс мероприятий, направленный на предотвращение столкновений воздушных судов (ВС) с птицами [1, с. 3].

В данный комплекс для предотвращения скопления птиц входит [1, с. 3]:

- окращение или ликвидация деревьев, кустарников и других растений, а также скашивание травяного покрова на летном поле;
- применение методов отпугивания и обнаружения птиц с периодическим чередованием этих методов;
- ликвидация увлажненных и заболоченных участков на территории аэродрома;
- устранение городских свалок промышленных и продуктовых отходов;
- оперативное оповещение экипажей ВС о скоплении и массовых перелетах птиц, обнаруженных на пути движения ВС и т. д.



Рис. 1. Пример последствий столкновения самолета Airbus A320neo с чайкой в аэропорту Анадырь («Угольный») имени Ю. С. Рытхэу

Способы отпугивания птиц [2, с. 64-64; 3, с. 25].

1. *Биоакустическое отпугивание.* Включает в себя крики хищников, тревоги. При применении данного способа нужно учитывать погодные условия, поскольку встречный и боковой ветер, осадки уменьшают дальность звучания сигнала.

2. *С помощью пиротехнических акустических средств* (ружья, специальные пугачи, в которых автоматически взрывается газ (применяют редко из-за низкой эффективности));

3. *Визуальные отпугивания* (пугала, флажки, ленты, огни, воздушные змеи в виде ястребов);

4. *Радиоэлектронное и электромагнитное отпугивание и объединенные автоматизированные системы управления птицами.* Используется для уменьшения привыкания и повышения эффективности других методов отпугивания.

5. *Использование обученных соколов и патрульных собак.*



Рис. 2. Дisko-шар и гром-пушка для отпугивания птиц

Для анализа орнитологической обстановки по метеорологическим характеристикам и синоптическим ситуациям в районе аэродрома, были использованы данные по зафиксированным случаям происшествий, составленные орнитологом из аэропорта Пулково, данные с РП5 и выписки погоды в Пулково.

На рисунке 4 представлена повторяемость перемещения птиц по сезонам в аэропорту Пулково за 2014-2023 гг.

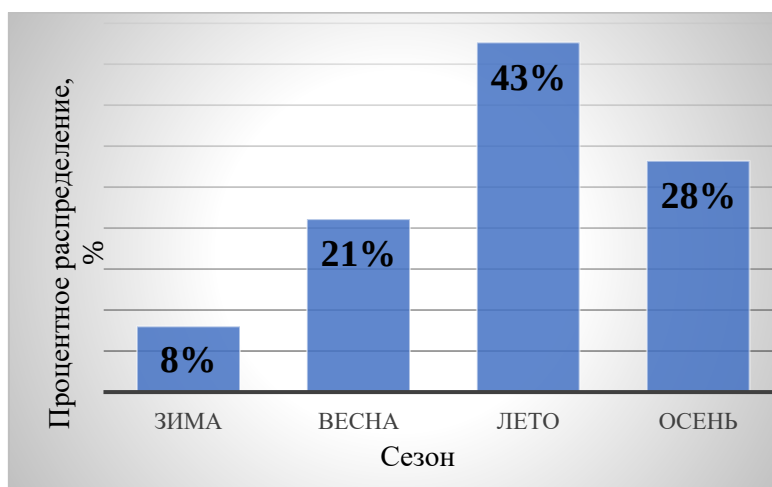


Рис. 4. Повторяемость перемещения птиц по сезонам за 2014-2023 гг.

На рисунке 4 видно, что наибольшее количество зафиксированных случаев наблюдалось летом (43 %) и меньше всего зимой (8 %). Наибольшее количество случаев летом обуславливается хорошей погодой, преимущественно перифериями циклонов и антициклонов, центрами антициклонов и малоградиентными полями повышенного давления, что способствует активным кочевкам. Также летом массово появляется молодняк, что увеличивает вероятность столкновений.

Влияние метеорологических характеристик на перелеты птиц.

Анализ проводился по следующим метеорологическим характеристикам:

- *видимость*. Чаще столкновения самолетов с птицами происходили при видимости 10 км и более [89 %], реже — при плохой видимости, т. е. менее 3 км [2 %].

- *относительная влажность*. Были выделены следующие диапазоны: низкая (менее 40 %), оптимальная (40-60 %) и высокая (60-100 %). Миграции птиц происходила чаще при высокой влажности (77 % случаев), реже — при низкой (7 %).

- *скорость ветра*. Скорость ветра была разделена на следующие градации: штиль, легкий ветер (1-2 м/с), слабый (3-5 м/с), умеренный (6-7 м/с) и сильный (8-15 м/с). Большая часть столкновений регистрировались при слабом ветре (51 %), меньше всего — при штиле (4 %). Также следует учитывать влияние встречного и попутного ветра на перемещение птиц.

- *направление ветра*. По направлению ветра были созданы следующие градации: ССЗ-ССВ (337°-22°), ССВ-ВВС (22°-67°), ВВС-ВЮВ (67°-112°), ВЮВ-ЮЮВ (112°-157°), ЮЮВ-ЮЮЗ (157°-202°), ЮЮЗ-ЗЮЗ (202°-247°), ЗЮЗ-ЗСЗ (247°-292°), ЗСЗ-ССЗ (292°-337°) и была выделена отдельная группа «Штиль». Столкновения в 19 % происходили, когда ветер был в диапазоне от западно-юго-западное до западно-северо-западного (247-292°), в 4 % случаи регистрировались при штиле.

- *температура*. Градации температуры были выбраны через 10 °С. Чаще столкновения происходили в диапазоне температур от +10 °С до +20 °С (47 %), реже всего при превышении температуры более 30 °С или же, когда она опускалась ниже -20 °С (по 1 %).

- *атмосферное давление*. Большая часть перемещений птиц происходило при пониженном давлении (ниже 760 мм рт. ст.) — 55 %, при повышенном (выше 760 мм рт.ст.) составляло 45 %.

- *осадки*. Очевидно, что отсутствие осадков будет являться благоприятным фактором для полетов пернатых, а дождь и снег — неблагоприятными.

Влияние синоптических процессов на перелёты птиц.

Л. Ф. Назаренко и Л. А. Амонским были введены такие понятия синоптических процессов как «стимулирующие» и «блокирующие». Массовые перемещения птиц стимулирует теплая зима, ранняя весна и простые метеорологические условия. Перемещение птиц блокируют циклоны и атмосферные фронты, характеризующиеся порывами ветра, зонами турбулентности, туманами, низкой облачностью [4, с. 4]

На рисунке 5 представлен пример типовых синоптических ситуаций в дни, когда были зафиксированы происшествя птиц с 2014 по 2023 гг. в аэропорту Пулково.

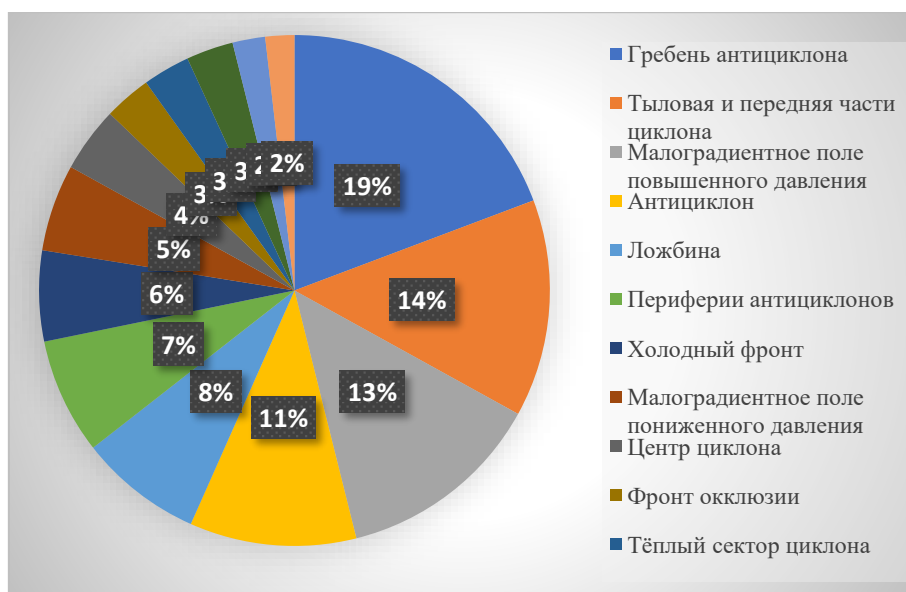


Рис. 5. Повторяемость типовых синоптических ситуаций при столкновениях самолетов с птицами за 2014-2023 гг.

По рис. 5 можно увидеть, что активная миграция наблюдалась в дни с простыми метеорологическими условиями, которые чаще всего формировались под воздействием гребней антициклонов (19 %), малогradientных полей повышенного давления (13 %) и центров антициклонов (11 %). Также 14 % случаев были зафиксированы, когда аэропорт находился под влиянием тыловой и передней частей циклонов.

В тыловой части погода определяется характеристиками холодного фронта, а в передней – теплового фронта. Тогда в первом случае стоит ожидать падение температуры, рост давления, увеличение скорости ветра, в летнее время возможно образование кучево-дождевой облачности с градом и со шквалистым ветром, что будет «блокировать» перемещение птиц. Во втором случае: распространение зоны слоисто-дождевых облаков, после прохождения фронта осадки прекращаются, уменьшается скорость ветра с поворотом на южное направление.

Заключение. 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 полетам. С помощью данной информации можно прогнозировать орнитологическую обстановку с целью обеспечения безопасности полетов самолетов.

Библиографические ссылки

1. Федеральные авиационные правила «Правила эксплуатации аэродромов гражданской авиации». Ч. 1. «Борьба с опасностью, создаваемой живой природой».
2. Ушкалова Е. А., Левшина Д. В., Лукашевич О. А. Оптимизация работы авиационной орнитологии АО «Аэропорт «Пулково».
3. Семенова Ю. С., Писарев С. Г. К вопросу о необходимости орнитологического обеспечения полетов воздушных судов. Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20 марта 2020 г.
4. Назаренко Л. Ф., Амонский Л. А. Влияние синоптических процессов и погоды на миграцию птиц в Причерноморье. Киев-Одесса: Вища школа, 1986. 183 с.

УДК 551.501.8

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

А. О. Нестерова¹⁾, О. В. Волобуева¹⁾, А. П. Соколина²⁾

¹⁾Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Малоохтинский пр., д. 98, г. Санкт-Петербург, Россия, lina01nesterova@mail.ru, ovvolobueva@rshu.ru ²⁾Северо-Западный филиал ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», Пулковское шоссе, 20 А, г. Санкт-Петербург, Россия nst.palna@yandex.ru

Лес играет важную роль в жизни нашей планеты, поскольку, наряду с лесами Южной Америки, выделяет основную массу кислорода, а также является средой обитания животных и растений. Наибольшие потери лесов связаны с вырубкой и пожарами. В данной работе представлен пример распознавания лесного пожара по спутниковым изображениям за 27 июля 2021 г. на территории Якутии, а также определение изменения растительного покрова по рассчитанному нормализованному вегетационному индексу NDVI.

Ключевые слова: лесные пожары; дымовой шлейф; прибор MODIS; спутниковые наблюдения; республика Саха (Якутия).

RECOGNITION OF FOREST FIRES USING SATELLITE IMAGES

A. O. Nesterova¹⁾, O. V. Volobueva¹⁾, A. P. Sokolina²⁾

¹⁾Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 98 Malookhtinsky Prospekt, St. Petersburg, Russia, lina01nesterova@mail.ru, ovvolobueva@rshu.ru; ²⁾North-Western branch of the Federal State Budgetary Institution Aviamettelecom of Roshydromet, Pulkovskoe highway, 20 A, St. Petersburg, Russia, nst.palna@yandex.ru

The forest plays an important role in the life of our planet, because, along with the forests of South America, it emits the bulk of oxygen, and is also a habitat for animals and plants. The greatest losses of forests are associated with deforestation and forest fires. This article provides an example of recognizing a forest fire from satellite images for July 27, 2021 on the territory of Yakutia, as well as determining changes in vegetation cover in accordance with the calculated normalized vegetation index NDVI.

Keywords: forest fires; smoke plume; MODIS device; satellite observations; The Republic of Sakha (Yakutia).

Лесной пожар — неконтролируемый процесс горения, распространяющийся по лесной территории. Выделяют две группы причин возникновения лесных пожаров: природные и антропогенные. К природным относятся молнии, самовозгорание торфа, каменного угля и лесной подстилки; к антропогенным: непотушенные костры, сжигание мусора, брошенные окурки, оставленные на солнце стеклянные бутылки и осколки, а также преднамеренный поджог.

Типы лесных пожаров делятся на три вида: низовые (беглые и устойчивые), верховые (беглые и устойчивые) и торфяные.

Лесные пожары в Якутии в 2021 году. Самый масштабный пожар в мире в 2021 г. произошел на территории России в республике Саха (Якутия). Пожары были зафиксированы в 17 районах, кроме того, огонь распространился и на две важные охраняемые территории: «Ленские столбы» и Олекминский заповедник. Огнем было захвачено 8 миллионов гектаров леса, что повлекло за собой большие экологические, экономические и социальные последствия [1, с. 1-2].

Анализ пожарной обстановки в Якутии за 27.07.2021 г. с помощью данных спектрорадиометра MODIS. При решении метеорологических задач используется информация, которую получают с низкоорбитальных спутниковых систем, как, например, NOAA (прибор AVHRR), Terra, Aqua (прибор MODIS), Suomi NPP (прибор VIIRS).

В представленной работе данные спектрорадиометров MODIS спутников Terra и Aqua были получены из архива LAADS DAAC (The Level-1 and 6 Atmosphere Archive & Distribution System (LAADS) Distributed Active Archive Center (DAAC)) [2]. Обработка изображений производилась в специальном программном обеспечении SNAP.

На рис. 1 представлен снимок лесных пожаров на территории Якутии 27 июля 2021 г., полученный с сайта WorldView.

Точки оранжевого цвета — местоположение очагов возгорания, которые можно подключить на сайте WorldView, добавив слой «Fires and Thermal Anomalies». Нажав на точку, можно получить информацию по координатам, яркостной температуре (канал 21/22 и 31), дату сбора данных и другое.

Далее была использована программа SNAP для обработки спутникового изображения. На рис. 2 представлено изображение в видимом диапазоне на длине волны 0,645 мкм. Дымовые шлейфы имеют сероватый оттенок по сравнению с земной поверхностью черного цвета и облачностью — белого.

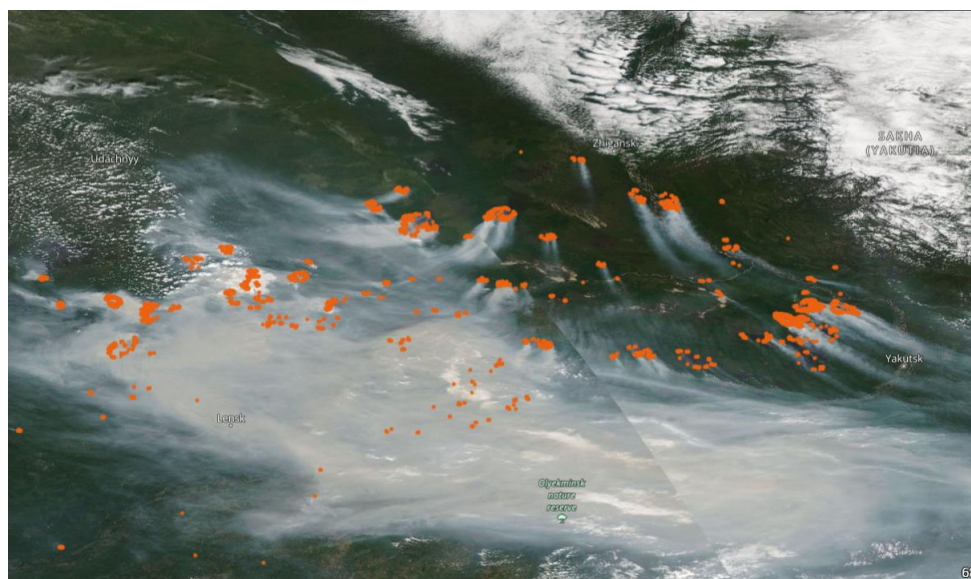


Рис. 1. Исследуемый участок лесных пожаров в Якутии 27.07.2021 г.

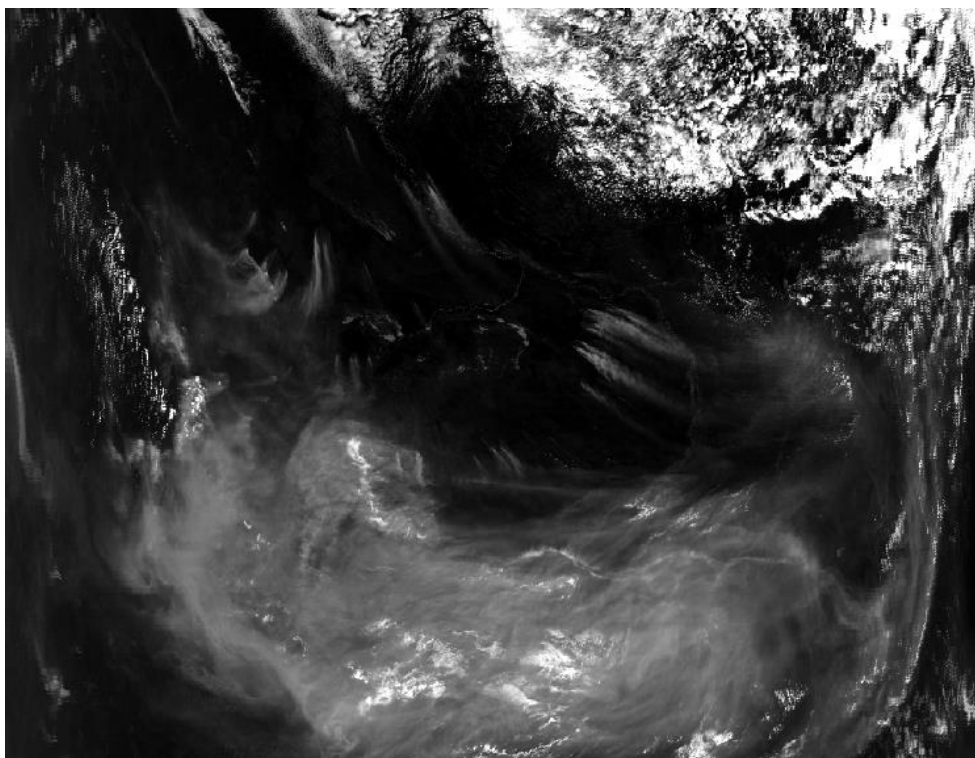


Рис. 2. Изображение в видимом диапазоне, 1 канал (0.645 мкм)

На рис. 3 представлен обработанный снимок в RGB, синтезированный в ближнем и среднем ИК каналах. Хорошо дешифрируются дымовые шлейфы от лесных пожаров, а также гарь темно-серого оттенка, покрывающая территорию от города Чернышевский до Якутска.

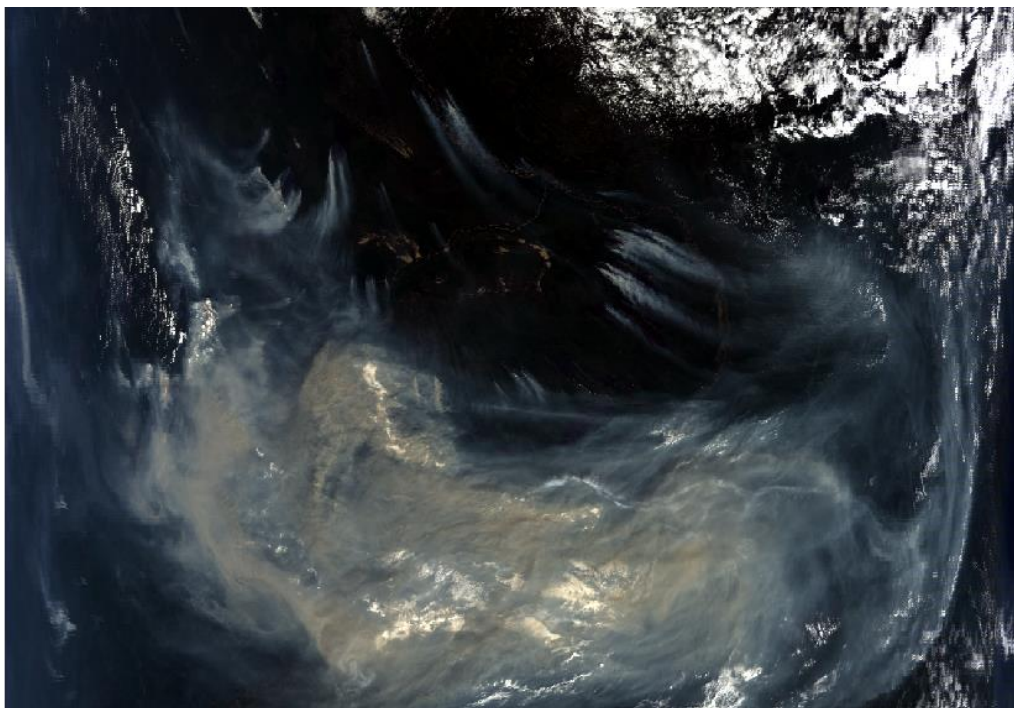


Рис. 3. RGB синтез каналов 4 (1.230-1.250 мкм), 2 (0.841-0.876 мкм), 5 (0.545-0.565) мкм

Также с помощью космических снимков можно проанализировать изменения растительного покрова, для этого применяются вегетационные индексы. Один из часто используемых — это нормализованный вегетационный индекс – *NDVI* (*Normalized difference vegetation index*) [3; 4, с. 2-3; 5, с. 2-3]. Рассчитывается как разность значений отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS},$$

где NIR (Near IR) – отражение в ближней инфракрасной области спектра; VIS – отражение в видимой области спектра.

На рис. 4 представлен рассчитанный по выше представленной формуле и обработанный снимок в программе SNAP.

Для окрашивания рисунка была выбрана специальная палитра для вегетационных индексов «meris_veg_index». Серым цветом показана часть выжженной огнем территории, салатovým цветом — дымовые шлейфы.

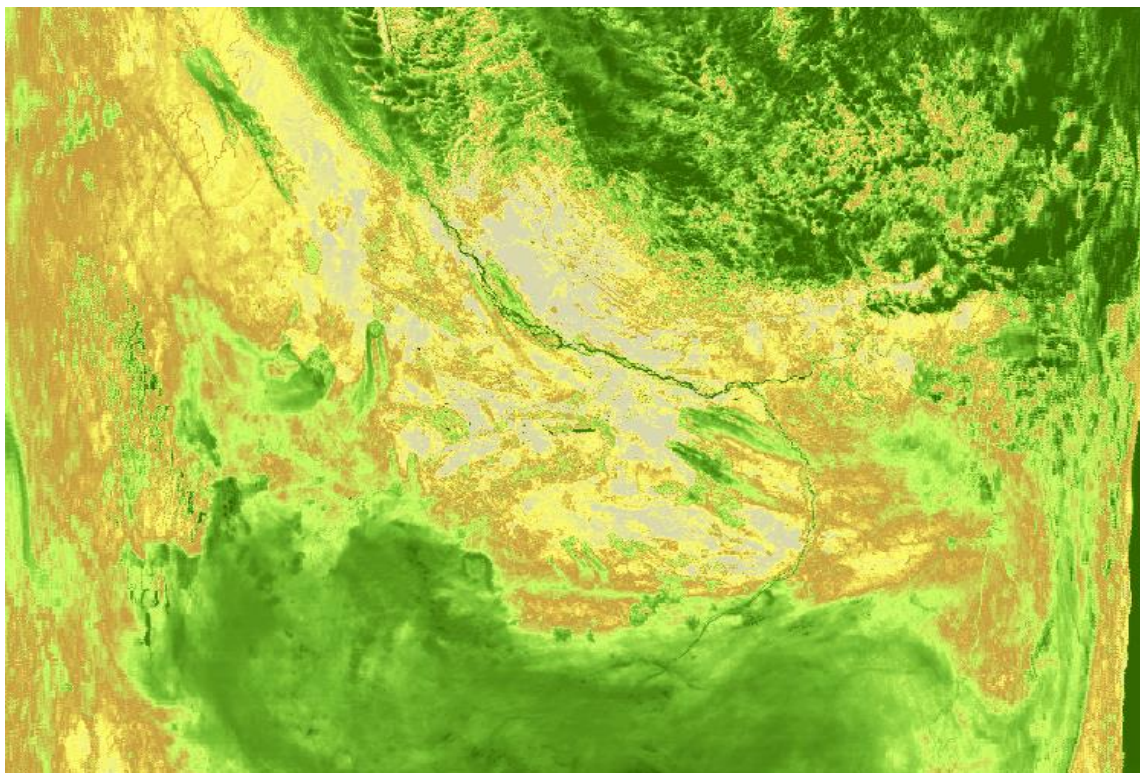


Рис. 4. Изменение растительного покрова при расчете вегетационного индекса NDVI

На рис. 5 представлен пример синоптической ситуации на приземной карте погоды за 27 июля 2021 г. за 12 UTC. Якутия находилась под влиянием гребня антициклона, который характеризуется высоким давлением, малооблачной погодой и высокими температурами, что будет способствовать возникновению новых очагов возгорания.



Рис. 5. Приземная синоптическая карта за 27.07.2021 г., 12 UTC

Заключение. Обработка и анализ изображений лесных пожаров по данным дистанционного зондирования дает возможность оценить масштабы возгорания, распространения и оценку растительного покрова. Также, зная метеорологическую информацию (температура, влажность, направление и скорость ветра и осадки), можно создать вероятностный прогноз на возникновение и распространение лесных пожаров.

Библиографические ссылки

1. *Андреев Д. В., Данилова С. С.* Проблема пожаров в Якутии // Евразийское Научное Объединение. 2021. № 10-5(80). С. 355-357.
2. Архив LAADS DAAC (The Level-1 and 6 Atmosphere Archive & Distribution System (LAADS) Distributed Active Archive Center (DAAC)). [Электронный ресурс]: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>
3. *Баширова Ч. Ф.* Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности / Ч. Ф. Баширова. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2019. — № 31 (269). С. 30-31. URL: <https://moluch.ru/archive/269/61895/>
4. *Курганович К. А., Макаров В. П.* Использование вегетационных индексов NDVI для оценки влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора // Вестник Забайкальского гос. ун-та. 2015. № 2 (117). С 27-36.
5. *Какорин В. А.* // СТУДЕНТ года 2019: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 28 декабря 2019 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2019. С. 76-81.

УДК 556.55

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ ПЕРИФЕРИИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

А. А. Новик

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, novika@bsu.by*

Дана геолого-геоморфологическая характеристика западной периферии Восточно-Европейской равнины. Рассмотрены особенности распространения озер ледникового происхождения в пределах краевых ледниковых стадий различного периода в границах последнего покровного оледенения. Проанализирован озерный фонд для разных регионов.

Ключевые слова: озера; оледенение; краевые ледниковые гряды; равнина; стадия.

PATTERNS OF DISTRIBUTION OF LAKES IN THE WESTERN PERIPHERY OF THE EAST EUROPEAN PLAIN

A. Novik

*Belarusian State University, Nezavisimosti ave., 4, 220030,
Minsk, Belarus, novika@bsu.by*

The geological and geomorphological characteristics of the western periphery of the East European Plain are given. The features of the distribution of lakes of glacial origin within the marginal glacial stages of various periods within the boundaries of the last cover glaciation are considered. The lake fund for different regions is analyzed.

Keywords: lakes; glaciation; marginal glacial ridges; plain; stage.

Восточно-Европейская равнина — одна из крупнейших равнин земного шара, расположенная в большей, восточной части Европы. Западная периферия охватывает территорию, которая покрывалась последним вюрмским (поозерским, валдайским) покровным оледенением. На севере ограничена 60° с. ш., на юге доходит до 53° с. ш., на западе проходит по 19° в. д., на востоке доходит до 35° в. д. и включает территории Беларуси, Польши, Литвы, Латвии, Эстонии, России (Калининградскую, Псковскую, Новгородскую, части Смоленской, Тверской и Ленинградской областей) (рисунки). В геоструктурном отношении данная территория соответствует Восточно-Европейской платформе. На большей части платформы кристаллические породы скрыты под толщей пологозалегающих осадочных пород, слагающих Русскую плиту [1].



Территория западной периферии Восточно-Европейской равнины
в границах последнего оледенения

В морфоструктурном отношении западная периферия Восточно-Европейской равнины представляет собой равнину с пластовым эрозионно-денудационным и аккумулятивным рельефом. Здесь мощный чехол платформенных отложений залегает почти горизонтально, слагая аккумулятивные и пластово-денудационные низменности и возвышенности, отвечающим понижениям и повышениям складчатого основания доантропогенного возраста [2]. На них наложены формы рельефа аккумулятивно-ледникового и водно-ледникового происхождения. области последнего оледенения. Здесь протягиваются холмистые гряды и возвышенности: Балтийская, Валдайская, Вепсовская. Это области Поозерий с характерным для них обилием озер.

К югу простирается область, покрывавшаяся более древними оледенениями, где первоначальный ледниково-аккумулятивный рельеф переработан эрозионно-денудационными процессами. Ледниковые возвышенности и гряды (Белорусская, Смоленская и др.) чередуются с обширными моренными, зандровыми, озерно-ледниковыми и аллювиальными низменными равнинами.

Отличительной особенностью западной периферии Восточно-Европейской равнины является обилие озер ледникового происхождения. В сочетании с положительными формами, озерные котловины создают своеобразный холмисто-моренно-озерный ландшафт. Внешний вид и морфология большинства озерных котловин отличаются признаками молодости, которая выражается в сохранении ледниковой деятельности, значительной глубине вреза в моренные отложения, четком выражении бровки, склонов, подводного рельефа, отсутствии эрозионного расчленения и др. [3]. Отмечается несоответствие морфологии котловин и возраста заполняющих их озер. Если первые созданы ледником и его водами и имеют значительный абсолютный возраст, то период существования самих озер не превышает 10-12 тыс. лет. Каждый генетический тип озерных котловин занимает определенное положение в ледниковом комплексе имея подпрудное, ложбинное, гляциокарстовое, эвразийское, остаточное и сложное происхождения.

Озера преимущественно приурочены к цепям краевых образований соответствующим стадиям отступления вюрмского (поозерского, валдайского) ледников: бренденбургская (груда, оршанская, осташковская или усвячская); франкфуртская (лепельская или витебская, бологовская); померанская (поморская, браславская, едровская); мекленбургская (вепсовская); южно-литовская (себежская, или крестецкая); средне-литовская; северо-литовская (ханья, лужская); отепа (талабская фаза лужской стадии); сакала (лужско-невская); пандивере, (невская); паливере; салпаусселькя (финская) [4, 5].

На территории Латвии насчитывается более 3000 озер площадью более 1 га, основная часть из которых имеет ледниковое происхождение. Озера занимают около 1,5 % площади страны [6]. Большая часть озерно-болотных угодий приходится на восточную часть страны — Латгалию. Крупнейшими ледниковыми озерами Латвии являются Лубанс (80,7 км²), Разна, Буртниекас, Усмас, Лиепаяс, Сесавас, Слокас, Лиздолес, Алуксне, Звиргзденес. Самым глубоким является озеро Дридзис (66,2 м).

На территории Литвы насчитывается около 6000 озер, площадью крупнее 1 га. Общая их площадь составляет 950 км². Все озера занимают около 1,5 % всей площади территории Литвы [6]. Озера распределены неравномерно; большинство из них расположено в пределах Балтийской гряды, которое начинается у границы с Польшей на юго-востоке и простирается на север вдоль границы с Беларусью до Латвии. Крупнейшими озерами страны являются Друкшяй (44,5 км²), Диснай, Платяляй, Виштитис, Дуся, Метелис, Обелию, Кретуонас, Друсконис, Асвея, Таурагнас, Сартай, Айсетас, Даугай, Гальве. Самое глубокое озеро страны Таурагнас (62,5 м).

В Эстонии насчитывается примерно 1560 озер площадью свыше 1 га. Озера вместе с другими водоемами покрывают примерно 5 % территории Эстонии [6]. Чудское озеро и озеро Выртсъярв относятся к числу крупнейших озер Европы. Озера расположены крайне неравномерно. Большинство озер находятся на юго-востоке и юге страны, где распространены крупнейшие краевые цепи ледниковых гряд. Напротив, на обширных пространствах западной и центральной Эстонии вообще нет озер. Крупнейшие озера Чудское (2613 км²), Выртсъярв (269,19 км²), Нохипалу, Мустьярв, Нохипалу Валгъярв, Пюхаярв, Рыуге-Сууръярв, Ульясте, Вийтна, Пиккярв, Эхиярв, Муллуту, Суурлахт. Наибольшую глубину имеет озеро Рыуге-Сууръярв (38 м).

Мазурское, Илавское и Сувальское Поозерья — крупнейший озерный регион на северо-востоке Польши насчитывающий до 4000 озер. Здесь преобладает ледниково-аккумулятивный рельеф с большим количеством моренных холмов высотами выше 300 м и межморенных котловин, часто занятых ледниковыми озерами. Великие Мазурские озера расположились на территории около 1700 км² и занимают четвертую часть водных ресурсов Польши [6]. Крупнейшими являются озера Снярдвы (113 км²), Мамры (105 км²), Нидзское, Негоцин, Езерак, Рось, Даргин, Галадуш, Нарье, Сиде, Роспуда. Самые глубокие озера региона Ханьча (108,5 м), Вельки Став (79,3 м), Вигры (73 м.).

В Псковской области России насчитывается около 3500 водоемов общей площадью 1138 км² [7]. По территории области озера распределяются неравномерно. Наиболее крупные Чудское и Псковское (709 км²) озера, расположены на северо-западе области. Однако, основное количество озер сосредоточено в более возвышенной южной части — Себежское и Псковское Поозерья, где распространен зандровый и холмисто-моренный рельеф. Здесь многочисленные озера протянулись полосой в широтном направлении. В пределах озерно-ледниковых равнин численность озер невелика. К числу крупнейших относятся озера Жижицкое, Двинье-Велинское, Полисто, Иван (Большой и Малый), Себежское, Невельское, Але, Свибло, Нечерица, Урицкое, Дубец. Самым глубоким является озеро Глубокое (36 м).

В пределах, северо-западной и северной частей Тверской области России насчитывается около 1500 водоемов, с площадью, превышающую 1 га [7]. Это район так называемого Валдайского Поозерья, находящийся у границы максимального продвижения валдайского ледника. Самым крупным озером области является озеро Селигер (212 км²). Среди других крупных озер — Волго, Вселуг, Стерж, Пено, Великое, Сиг, Пирос, Верстово, Шлино, Серема, Лучанское, Щучье, Удомля. Самым глубоким в области является озеро Бросно (41,5 м).

На территории Новгородской области расположено около 1600 озер с площадью более 1 га [7]. Наибольшая величина озёрности характерна для восточной части области, где распространение имеет зандровый, холмисто-моренный рельеф, тогда как на западе озёр значительно меньше, но здесь расположено самое крупное озеро — Ильмень (982 км²) и частично расположенных в области озера Селигер и Шлино. Крупнейшими озерами области также являются Велье, Меглино, Валдайское, Великое, Городно. Самым глубоким является озеро Валдайское (52 м).

Ленинградская область, в период последнего оледенения полностью покрывалась ледником и отличается большим количеством озёр ледникового происхождения. На территории западной части Ленинградской области характерно чередование районов распространения озёр и обширных заболоченных пространств фактически без озёр. Количество озёр с площадью более 1 га составляет около 3000 [7]. Большинство озёр концентрируется вдоль основных речных русел. В бассейне р. Луги, в краевом поясе Лужской стадии оледенения, расположены озера Самро, Вялье-Стречно, Врево, Черемнецкое, Сяберское с площадью зеркала, превышающей 10 км². Самым глубоким является озеро Верхнее Врево (42 м).

На территории Смоленской области, затронутой последним оледенением, находится около 500 озёр с площадями зеркала более 1 га [7]. Большинство озёр (около 90 % от суммарной площади) лежат среди моренных холмов, ледниковых равнин и озовых гряд, это так называемое Смоленское Поозерье на северо-западе области. Расположены они группами и в большинстве приурочены к краевым образованиям ледника. Почти все озера имеют небольшие площади, самое крупное — Акатовское (6,5 км²). Озера располагаются в нескольких обособленных группах и включают в себя водоемы: Витрино, Диво, Букинское, Бол. и Мал. Рутовечь, Каспля, Чепли, Рытое, Велисто, Глыбай, Мутное, Чистик. Самым глубоким является озеро Баклановское (29 м).

Калининградская область, находившаяся в период последнего оледенения на периферии ледника, отличается большим количеством озёр ледниково происхождения. На территории области насчитывается около 300 озёр с площадью, превышающей 1 га [7]. Многие озера образовались во время южно-литовской фазы. Такие озера наиболее типичны для юго-востока области располагаясь в понижениях между моренными грядами. Здесь самым крупным и глубоким озером области является озеро Виштынецкое (17,8 км², 54 м). Другими наиболее крупными озерами юго-востока являются Красное, Мариново, Дорожное, Чистое, Плавни.

Озёрные водоемы Беларуси, сформированные в результате деятельности последнего ледника, концентрируются на севере республики в Белорусском Поозерье в бассейне рек Западной Двины и Немана. Здесь их

количество достигает 3500. В отдельных районах их общая площадь достигает 12 % площади водосбора [3]. Расположены озерные котловины преимущественно в пределах моренных возвышенностей и равнин. В пределах заболоченных низин распространены плоские остаточные котловины. Озера концентрируются преимущественно на севере (браславская цепь краевых образований) и юге региона (оршанская и витебская цепи краевых образований). Озера чаще всего образуют отдельные группы: Нарочанская, Браславская, Ушачская и др. Крупнейшими озерами региона является озеро Нарочь (79,6 км²), Освейское, Лукомльское, Нещердо, Дрисвяты, Дрисвяты, Снуды, Лисно, Свирь. Самым глубоким является озеро Долгое (53,7 м).

Многочисленные и разнообразные озера западной периферии Восточно-Европейской равнины, располагаются преимущественно в пределах ледниковых возвышенностей и понижениях между ними. Сочетание высоких гряд и холмов с глубокими озерными котловинами, окруженными лесами и болотами, создает неповторимые ландшафты Поозерий этого региона. Являясь неотъемлемой частью природного комплекса, озерные водоемы в большей или меньшей степени отражают его особенности, одновременно оказывая влияние на характер и направление природных процессов.

Библиографические ссылки

1. Спиридонов А. И., Геоморфологическое районирование Восточно-Европейской равнины, «Землеведение», 1969, т. 8. С. 76-110.
2. Исаченко А. Г. Экологическая география Северо-Запада России. СПб., Ч. 1, 1995. 208 с.
3. Якушко О. Ф. Озероведение: География озер Белоруссии / Мн., Выш. шк., 1981. 223 с.
4. Kalm V. Ice-flow pattern and extent of the last Scandinavian Ice Sheet southeast of the Baltic Sea. *Quaternary Science Review*. 2012. № 44. P. 51-59.
5. Mangerud J., Jakobsson M., Alexanderson H. et al. Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation // *Quatern. Sci. Rev.* 2004. V. 23. P. 1313-1332.
6. Weyhenmeyer G. A., Psenner R. and Tranvik L. J. Lakes of Europe. *Encyclopedia of Inland Waters*. V. 2, 2009. P. 567-576.
7. Румянцев В. А., Драбкова В. Г., Измайлова А. В. Озера европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015. 392 с.

УДК 551.583 + 504.54

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА

Т. Н. Осипова, Н. А. Нехуженко

*Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб., 7-9, 199034, Санкт-Петербург, Россия,
t.osipova@spbu.ru*

В статье рассматриваются проблемы влияния климатических изменений на условия функционирования биоценозов Соловецких островов. Проведен анализ межгодовых изменений и изменчивости основных климатических характеристик и индексов за период с 1996 по 2021 гг. Показано, что несмотря на слабо выраженные тенденции, в изменении показателей, их значительная межгодовая изменчивость и их определенные сочетания, могут создавать неблагоприятные условия для растительных сообществ.

Ключевые слова: Соловецкий архипелаг; изменения климата; микроклимат; лесные насаждения; культурный ландшафт.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON PLANT COMMUNITIES OF THE SOLOVETSKY ARCHIPELAGO

T. N. Osipova, N. A. Nekhuzhenko

*St. Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Embankment,
St. Petersburg, Russia, t.osipova@spbu.ru*

The article is devoted to the study of the climate change impact on the plant populations and communities of the Solovetsky archipelago. An analysis of interannual changes and variability of the main climatic characteristics and indices for the period from 1996 to 2021 was carried out. It was shown that despite weak trends in changes in indicators their significant interannual variability and combinations can create unfavorable conditions for plant communities.

Keywords: Solovetsky archipelago; climate change; microclimate; forest stands; cultural landscape.

Современные направления ландшафтных исследований все более активно переходят в плоскость комплексного изучения взаимодействия природы и человека. Чрезвычайно важен в данном ключе исторический многовековой опыт освоения Соловецких островов, где традиционная монастырская культура заложила основы сбалансированного природопользования в суровых климатических условиях Русского Севера.

Соловецкий архипелаг расположен на 65° с. ш. в акватории Белого моря на входе в Онежскую губу. Несмотря на однотипный характер арктических ландшафтов в пределах Архангельской области, территориальные различия архипелагов и отдельных островов четко просматриваются [1, с. 19]. Соловецкий архипелаг располагается в пределах северотаежной подзоны, на стыке сосновых и еловых кустарничковых и лишайниково-моховых лесов [2] и характеризуется весьма мозаичным растительным покровом на довольно бедных почвах. Здесь на нескольких десятках квадратных километров можно увидеть растительные сообщества нескольких природных зон, включая таежную, тундровую и лесотундровую [3, с. 102]. В условиях недостаточной теплообеспеченности, функционирование островных биоценозов во многом зависит как от мезоклимата, так и от микроклиматических особенностей местности. Уникальность местной природы состоит в сочетании естественных и культурных ландшафтов, растительность которых подвергается постоянному влиянию климатических факторов. В свою очередь состав и структура растительных сообществ определяет особенности микроклимата биоценозов. Ключевым средообразующим компонентом островов являются лесные насаждения, занимающие 67,1 % территории Соловецкого архипелага [4, с. 93]. Сосновые насаждения занимают на Соловецких островах более 1/3 лесной территории. На 94,4 % площади сосняки представлены черничными, брусничными, мохово-лишайниковыми и сфагновыми типами леса [5, с. 68]. Вследствие относительно суровых условий произрастания, а также отсутствия сплошных рубок растительные сообщества архипелага имеют ряд особенностей. Исследованный в 2015 г. сосняк сфагновый характеризуется невысокой сомкнутостью полога, крайне низкой продуктивностью древостоя (Va класс бонитета), невысокими темпами роста, высоким возрастом и значительной растянутостью возрастного ряда (до 119-351 лет) [6, с. 18]. Брусничные сосняки относятся также к разновозрастным древостоям, которые, вероятней всего, сформировались в результате длительного (скорее, тысячелетнего) развития без активного антропогенного воздействия. Наличие разновозрастных насаждений в брусничных типах леса нехарактерно для Европейского Севера, где в таких условиях обычно доминируют одновозрастные сосняки [7, с. 15]. Отметим такие лесные насаждения, как криволесье из березы извилистой с примесью других пород. Они формируются при интенсивном ветровом воздействии, доминируют вдоль морского побережья и играют важную защитную роль [8, с. 245]. Микроклиматические исследования, проведенные в сосновых и еловых насаждениях Соловецкого архипелага, показали значительные различия в освещенности и температуре поверхностей сосняков и ельников, а скорости ветра на разном расстоянии от берега могут уменьшаться более чем в

3 раза [8, с. 252]. Природное богатство Соловецких островов монахи не только сохраняли, но и обдуманно и осторожно трансформировали в культурные ландшафты. Культурный ландшафт Соловков образован в результате длительной эволюции территориального комплекса под воздействием ряда сменявших друг друга в течение нескольких тысячелетий культур, в первую очередь — монастырской культуры, преобразовывавшей архипелаг на протяжении пяти столетий [3, с. 101]. Изначально растительность не выходила за рамки зональной: лиственные породы представлены осиной, березой, ольхой, рябиной и различными видами ивы, а хвойные — елью и сосной. Была существенно обогащена флора сначала Большого Соловецкого острова, а затем и других. Для интродуцированных древесно-кустарниковых пород были созданы наиболее благоприятные условия, и до сих пор здесь встречаются в составе насаждений сибирские пихта, лиственница и кедр, а также черемуха виргинская и обыкновенная, калина обыкновенная, яблоня ягодная и сливолистная, ирга круглолистная, барбарис обыкновенный, сирень венгерская. В конце XIX в. был заложен монастырский ботанический сад, в котором произрастали лекарственные и декоративные растения, не характерные для высоких широт, такие как шиповник морщинистый, тимьян ползучий, чабрец, бадан толстолистный, зверобой продырявленный, валериана лекарственная, львиный зев, душистый табак, астра китайская, душистый горошек, резеда, настурция и др. [9, с. 507].

Целью работы является исследование изменений и изменчивости основных климатических показателей, влияющих на растительные сообщества Соловецкого архипелага. В качестве исходных данных использованы средние многолетние климатические показатели и их статистические характеристики, рассчитанные по данным наблюдений на метеостанции Соловки [10], а также средние месячные значения основных метеорологических элементов.

Климат Соловецкого архипелага характеризуется продолжительным холодным периодом и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха $+1,4^{\circ}\text{C}$, среднемесячная температура февраля $-9,6^{\circ}\text{C}$, июля $+13,3^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум за период 1928-2022 гг. достигал $+31,2^{\circ}\text{C}$ в июле 1972 г., абсолютный минимум за период 1890-2022 гг. $-36,5^{\circ}\text{C}$ наблюдался в декабре и феврале 1893 г. Среднемноголетние суммы активных температур за периоды с температурой выше 0°C составляют 1589,1, выше 5°C 1286,9, выше 10°C 777,1. Последний показатель является важной характеристикой теплообеспеченности растений в вегетационный сезон, его изменчивость может быть значительной и зависит от продолжительности вегетационного периода. Так за период с 1902 по 1943 гг. самая короткая продолжительность вегетационного периода составила 101 день,

а самый длинный вегетационный период продолжался 170 дней [11, с.18]. Годовая сумма осадков 568 мм, в октябре выпадает 70 мм, в феврале и в марте — 29 мм. Для летнего сезона характерны большие коэффициенты вариации месячного количества осадков: от 0,54 до 0,61. Изменчивость основных климатических характеристик приводит к тому, что гидротермические условия на островах архипелага могут значительно отличаться год от года, что подтвердил анализ межгодового хода элементов за период 1996-2021 гг. Выявлено, что среднегодовая температура воздуха повышается на 0,09 °C /год (тренд значим на 5 % уровне). Годовая сумма осадков и суточный максимум осадков увеличиваются, тренды незначимы (на 5 % уровне). Практически не изменяются средние и максимальные скорости ветра и число дней со снежным покровом. Максимальный запас воды в снеге уменьшается на 3,4 мм /год (тренд значим на 5 % уровне). Для оценки степени интенсивности засухи или избыточного увлажнения рассчитаны индексы Д. А. Педя для каждого месяца с апреля по октябрь. В период с 1996 по 2021 гг. во все месяцы теплого периода года условия изменялись от средних и сильных засух, до сильного избыточного увлажнения, значения индекса изменялись от -3,5 до 3,7. В многолетнем ходе индекса в апреле, августе и октябре наблюдается слабая тенденция к увеличению влажности, а в мае, июне, июле и сентябре — к увеличению засушливости. В летние месяцы при соответствующих метеорологических условиях индекс горимости леса может достигать III класса, что соответствует высокой горимости, так в июне и июле повторяемость индекса данного класса достигает 17,2-18,2 %. Поэтому дополнительно рассмотрен межгодовой ход средних значений и абсолютных максимумов дефицита насыщения, так как их сумма соответствует индексам климатической пожароопасности [12, с. 9]. С 1996 по 2021 гг. в мае, июне и июле наблюдается слабая тенденция к повышению дефицита влажности, а в августе и сентябре — к понижению.

Можно сделать выводы, что на фоне постепенного повышения среднегодовой температуры воздуха, изменение остальных климатических показателей выражено слабо. Исключением является максимальный запас воды в снеге, который уменьшается, что может повлечь изменение влагозапаса почв и негативно сказаться на растительном покрове. Однако значительная межгодовая изменчивость температуры воздуха и количества осадков могут вызвать как избыточное увлажнение, так и засуху в отдельные годы. Также сочетание тенденций изменения различных климатических характеристик могут создать неблагоприятные условия для биоценозов. Так в мае постепенное увеличение абсолютных максимумов дефицита

насыщения в сочетании с повышением температуры и уменьшением количества дней с осадками может привести к повышению класса пожароопасности.

Библиографические ссылки

1. Бызова Н. М. Ландшафтная структура Архангельской области и проблемы природопользования // Вест. Северного (Арктического) федерального ун-та. Сер. Естественные науки. 2012. № 1. С. 19-24.
2. Национальный атлас России. Т.1 Общая характеристика территории. М. : Астрель, 2008. Т.1.
3. Кулешова М. Е. Соловецкий архипелаг как монастырский культурный ландшафт и объект всемирного наследия // Известия РАН. Сер. Географическая. 2013. № 4. С. 97-214.
4. Феклистов П. А., Соболев А. Н. Световой режим в древостоях разного породного состава на Соловецких островах // Вест. Северного (Арктического) федерального ун-та. Сер. Естественные науки. 2013. №3. С. 93-100.
5. Соболев А. Н., Феклистов П. А. Видовой состав растений напочвенного покрова сосновых насаждений Соловецких островов // Вест. Северного (Арктического) федерального ун-та. Сер. Естественные науки. 2015. № 3. С. 68-79.
6. Сводный отчет о реализации Программы мониторинга природной среды Соловецкого архипелага в 2015 году. Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник». Соловки. 2016.
7. Сводный отчет о реализации Программы мониторинга природной среды Соловецкого архипелага в 2014 году. Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник». Соловки. 2015.
8. Соболев А. Н., Феклистов П. А. Изменчивость микроклимата в лесных насаждениях Соловецкого архипелага // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17. № 3. С. 245-254.
9. Вергунов А. П., Горохов В. А. Монастыри. Природа и люди. М. : «Москва». 2006. 624 с.
10. Разуваев В. Н. Булыгина О. Н., Коришунова Н. Н., Клещенко Л. К., Кузнецова В. Н., Трофименко Л. Т., Шерстюков А. Б., Швець Н. В., Давлетишин С. Г., Зверева Г. Н. Научно-прикладной справочник «Климат России». <http://meteo.ru/climate/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii>.
11. Грищенко И. В., Водовозова Т. Е. Климатические аномалии на Соловецком архипелаге // Проблемы мониторинга природной среды Соловецкого архипелага: материалы IV Всероссийской науч.-конф., Архангельск, 8-11 декабря 2009 г. С.17-18.
12. Вершинин А. П., Кулангиева Н. О. Методы оценки и прогноза условий пожароопасности лесопокрытых территорий на примере Ленинградской области. СПб. : СПбГУ. 2006. 63 с.

УДК 551.524 (47) (045)

ОЦЕНКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСОВ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ

Ю. П. Переведенцев, Н. А. Мирсаева, В. В. Гурьянов

*Казанский федеральный университет, 420008, ул. Кремлевская, 18
г. Казань Россия, ypereved@kpfu.ru*

Представлен краткий обзор работ, посвященных опасным гидрометеорологическим явлениям и последствиям от них для социально-экономической сферы. С использованием рассчитанных индексов экстремальности дана оценка пространственно-временного распределения экстремальных климатических условий на территории Европейской части России (ЕЧР) в период 1980-2022 гг. Выявлены тенденции изменения экстремальных температурно-влажностных характеристики в условиях глобального потепления.

Ключевые слова: климатические изменения; индексы экстремальности; опасные явления; неблагоприятные метеорологические условия; тенденции.

ASSESSMENT OF UNFAVOURABLE METEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA USING EXTREMITY INDICES

Y. P. Perevedentsev, N. A. Mirsaeva, V. V. Guryanov

*Kazan Federal University, Kremlevskaya str., 18
420008, Russia, Kazan, ypereved@kpfu.ru*

A brief review of works devoted to dangerous hydrometeorological phenomena and their consequences for socio-economic sphere is presented. Using the calculated extremality indices the spatial and temporal distribution of extreme climatic conditions on the territory of the European part of Russia (ECR) in the period 1980-2022 is assessed. Trends of changes in extreme temperature and humidity characteristics under conditions of global warming are revealed.

Keywords: climatic changes, extremity indices, hazardous phenomena, adverse meteorological conditions, trends.

В последние годы в различных странах мира усиливается внимание к изучению неблагоприятных и опасных условий погоды, оказывающих негативное влияние на мировую экономику и социальную сферу. Так, в работе [4] отмечено, что повышение глобальной приповерхностной температуры сопровождается быстрым ростом числа природных катастроф, в

первую очередь вследствие гидрологических и метеорологических аномалий.

По данным [10] за период с 1980 по 2016 гг. в мире наблюдалось 16 584 опасных явлений (ОЯ) природного характера, причем 80 % из них относились к числу метеорологических или гидрологических явлений. Совокупный ущерб от указанных явлений составил около 4,3 трлн. долларов США.

Число ОЯ в РФ, по данным Росгидромета, ежегодно возрастает в среднем на 6-7 %. В летний период все чаще возникают опасные явления конвективного происхождения — смерчи, шквалы, выпадение града и т. д., зимой — сильные снегопады, метели [1].

Наибольшее число случаев с ОЯ приходится на территории России на май–август. Происходит увеличение числа случаев ущерба от следующих ОЯ (ветер, дождь, наводнения, агрометеорологические явления, экстремальная температуры) [3].

В отмеченных работах рассматриваются вопросы гидрометеорологической уязвимости России, дается оценка ущерба от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений. Анализу опасных гидрометеорологических явлений на территории Приволжского федерального округа посвящена статья [8].

В [6] отмечено, что влияние неблагоприятных условий погоды и изменений климата на мировую экономику, в том числе на социально-экономическую системы России, все более усиливается.

В Росгидромете ведутся наблюдения более чем за 30-ю метеорологическими, агрометеорологическими, гидрологическими, морскими и геологофизическими опасными явлениями. Типовой перечень опасных природных явлений приведен в [9].

В [5] предложены подходы и методы оценки ущерба от ОЯ.

Для оценки экстремальных проявлений в изменениях современного климата на территории ЕЧР в работе использовались индексы экстремальности (http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml), предложенные в 1999 г. объединенной рабочей группой ВМО по обнаружению изменений климата (ККл/КЛИВАР). Расчеты проводились с использованием ежечасных данных о температуре воздуха и количестве осадков в узлах сетки $0,25 \times 0,25^\circ$ широты и долготы реанализа ERA5 для периода 1980-2022 гг. Были получены средние многолетние значения индексов экстремальности и линейные тренды (ед./10 лет). При расчете процентилей использовался базовый период 1981-2010 гг. В более ранних авторских работах [2, 7] представлен анализ пространственно-временной изменчивости температурных и влажностных индексов экстремальности климата на Европейской части России для 1980-2019 гг.

Ввиду ограниченного объема статьи в выводах приводятся результаты анализа пространственно-временного распределения лишь нескольких индексов экстремальности.

1. Распределение индексов экстремальности климата, рассчитанных по реанализу ERA5, по территории ЕЧР в указанный период зависит от широтной инсоляции, западно-восточного переноса, удаленности от Атлантического океана (континентальность климата) и орографических особенностей.

2. Тенденции изменения термических индексов экстремальности хорошо иллюстрируют современное потепление климата:

- число морозных дней (fd) и дней с обледенением (id) уменьшается на всей рассматриваемой территории, но с большей скоростью в северных и южных районах;

- число летних дней (SU) возрастает, особенно на юге и в Причерноморье;

- практически на всей территории наблюдается рост как максимальной (TXx), так и минимальной (TNn) температуры, при этом минимальная температура растет быстрее в высоких широтах (до 1,6 °C/10 лет), а максимальная — на юге ЕЧР (до 1,0 °C/10 лет);

- количество холодных дней (индекс TX10p) уменьшается, а количество теплых дней (индекс TX90p) возрастает.

3. Рассчитанные влажностные индексы экстремальности климата в целом также соответствуют общим тенденциям изменения современного климата: осадки в средней полосе ЕЧР демонстрируют некоторое уменьшение. При этом в структуре изменения общего количества осадков средней полосы (PRCPTOT) выделяются две полосы значимого уменьшения осадков, вытянутых с юго-запада на северо-восток, разделенных областью с низкой значимостью КНЛТ менее -10 мм/10 лет. Такие же области обнаруживаются в тенденции изменения сильных осадков (индексы R10mm и R95pTOT). В то же время общее количество влажных дней с осадками не менее 1 мм в сутки (индекс R1mm) не имеет такой структуры, а лишь демонстрирует разделение ЕЧР на область благоприятную для режима увлажнения к северу от 60°с. ш. и область с уменьшением увлажнения к югу от этой широты. В общих чертах такая картина отмечается и для индекса PRCPTOT.

Библиографические ссылки

1. Бедрицкий А. И., Коришунов А. А., Шаймарданов М. З. Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 59-67.

2. Гурьянов В. В., Сунгатуллин А. К. Распределение температурных индексов экстремальности на территории Европейской части России в период 1980-2019 гг. // Вестник Удмуртского университета. 2021. Т. 31. Вып. 4. С. 437-442.
3. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З., Шахов С. И. Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, нанесших социально-экономический ущерб в 1998-2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 13-19.
4. Мохов И. И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 1. С. 3-14.
5. Оганесян В. В., Стерин А. М. Расчет потенциального финансового ущерба от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений на территории Российской Федерации в 1987-2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 12. С. 97-108.
6. Осипов В. И. Природные катастрофы на рубеже XXI века. В сб.: Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях // М. 2001. Вып. 1. С. 54-79; Хандожко Л. А., Коршунов А. А., Фокичева А. А. К вопросу о гидрометеорологической уязвимости России // Ученые записки РГГМУ. 2006. № 3. С. 146-158.
7. Переведенцев Ю. П., Шерстюков Б. Г., Мирсаева Н. А., Шанталинский К. М., Гурьянов В. В. Тенденции изменения основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в XIX-XXI веках // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 7. № 2. С. 209-237.
8. Переведенцев Ю. П., Шумихина А. В., Шанталинский К. М., Гурьянов В. В. Опасные гидрометеорологические явления на территории Приволжского федерального округа // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 20-30.
9. РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. М.: Росгидромет, 2008.
11. Munich Re Group Annual Report 2012. 310 p.

УДК 551:583. (476.5)

КЛИМАТ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ

Г. И. Пиловец

*Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
пр. Московский, 33, 210038, г. Витебск, Беларусь, pilovets_galina@mail.ru*

В статье рассмотрен климат Витебской области, выявлены его основные особенности и изменение.

Ключевые слова: климат; особенности климата; изменение климата.

CLIMATE OF THE VITEBSK REGION AND ITS CHANGE

G. I. Pilovets

*Vitebsk State University named after P.M. Masherova, Moskovsky Av., 33,
210038, Vitebsk, Belarus, pilovets_galina@mail.ru*

The article examines the climate of the Vitebsk region, identifying its main features and changes.

Key words: climate; climate features; changing of the climate.

При характеристике климата используют осредненные показатели, выведенные на основании многолетних наблюдений за погодой. Исследование выполнено на основе климатических данных Филиала «Витебскоблгидромет» и Белгидромета за период обобщения 1981-2010 гг. [1,2], полученные расчетные данные температуры воздуха и количества осадков периода 1897-2020 гг.

В среднем за год *радиационный баланс* в Витебской области положительный и составляет 1532-1670 МДж/м², увеличиваясь с севера и северо-востока на юг и юго-запад. Среднее годовое значение *атмосферного давления* на уровне метеостанций колеблется от 989,0 до 998,8 гПа. Годовые амплитуды давления и межсуточные изменения небольшие, составляя соответственно 4-5 гПа и 2-3 гПа, но в периоды активной циклонической деятельности и при резкой смене барических образований могут достигать от 10 гПа до 20 гПа. В течение года погода в регионе формируется под влиянием *воздушных масс* различного происхождения, которые приносятся циклонами (58 % дней в году) и антициклонами (42 % дней в году). Общая циркуляция атмосферы обуславливает в течение года и зимой преобладание ветров западного, южного и юго-западного направлений, при

этом их повторяемость в Витебске в январе — 53 %, а летом северо-западного, западного и юго-западного в июле — 42 %. Преобладают слабые (среднегодовая скорость 2-3 м/с) *ветры*, повторяемость которых составляет около 95 % зимой и около 99 % летом. Наибольшую скорость обычно имеют ветры юго-западного и западного направлений (зимой 5-6,5 м/с, летом 3,5-4 м/с). В холодный период года из-за усиленной циклонической деятельности средние месячные скорости ветра (6-9 м/с) больше и чаще, чем в теплый. Наибольшая по области среднегодовая скорость ветра (3,4 м/с), среднемесячная скорость ветра зимой (4,2 м/с в январе, 4,0 м/с в декабре) наблюдается на МС Докшицы. Сильные ветры (со скоростью 15 м/с и более) наблюдается в Витебской области сравнительно редко, чаще зимой. В среднем один раз в 5 лет можно ожидать день со скоростью ветра 15 м/с, раз в 10 лет — 17 м/с, раз в 50 лет — 21 м/с. В среднем один раз в 5 лет можно ожидать порыва 24 м/с, раз в 10 лет — 25 м/с, раз в 50 лет — 28 м/с. Максимальный порыв был отмечен в 1963 г. и составил 35 м/с.

Значение средних годовых *температур воздуха* на территории области изменяется от +5,7 °C до +6,3 °C, увеличиваясь с северо-востока на юг, юго-запад. Эта закономерность нарушается небольшим понижением температуры (до +5,8 °C, +5,9 °C) на крайнем юге области (Лынтупы, Докшицы, Березинский заповедник, Орша). За все время наблюдений минимальная средняя годовая температура воздуха по области наблюдалась в 1940 г. Езерище (2,7 °C), максимальная в 2015 г. в Витебске (8,2 °C). Выше температуры в центре и на востоке области, несколько ниже на крайнем юге, юго-западе и севере. На основе выполненных расчетов средней месячной температуры воздуха периода 1897-2020 гг. выявлено, что самым холодным месяцем года в 41% лет бывает январь, в 41% — февраль, в 18% — декабрь. Самый теплый месяц года в 65% лет — июль, в 17% — июнь, в 18% — август. В самом холодном месяце — феврале — температуры понижаются с юго-запада на северо-восток области, от - 4,8 °C в Лынтупах до - 6,0 °C в Езерище. Температуры июля (самого теплого месяца года) изменяются по области от +17,3 °C в Лынтупах до +18,4 °C в Витебске. Годовые амплитуды температур воздуха увеличивается от 21,2 °C (Лынтупы) до 23,9 °C (Витебск), а значит растет континентальность климата, с юго-запада на восток, северо-восток. Абсолютный минимум температуры воздуха зарегистрирован в январе 1940 г. в Толочине (- 42,2 °C), в тройке Езерище (- 41,5 °C) и Витебск (- 40,6 °C). Абсолютный максимум температуры был отмечен в августе 2010 г. в Орше (+38,2 °C), в тройке Витебск (+37,8 °C) и Сенно (+37,4 °C). Средние температуры воздуха за разные годы и по месяцам могут значительно отклоняться от многолетних значений.

Для Витебской области характерна высокая *влажность воздуха*. Среднегодовое значение относительной влажности составляет 79,2-81,2%, наибольшая наблюдается зимой (максимум в ноябре-декабре 87-90%), наименьшая — в конце весны и летом, с минимумом в мае (65-69%). Общая *облачность* за год по области составляет 6,6-7,7 балла (нижняя — 4,2-5,4 балла), минимальная наблюдается с мая по август — 5,3-7,0 баллов, наибольшая — зимой в ноябре-декабре — 8,1-8,7 баллов. В годовом ходе преобладают дни с переменной облачностью. За год по общей облачности в Витебске бывает 44 % пасмурных (8-10 баллов), 7,6 % ясных (не более 2 баллов) и 47,4 % дней с переменной облачностью.

Средняя годовая сумма *осадков* в Витебской области составляет 640-738 мм. Различия в их количестве по области определяются, прежде всего, рельефом территории. Более влажными оказываются наветренные склоны возвышенностей — Свенцянских гряд (Лынтупы — 738 мм), Витебской (Витебск — 725 мм) и Ушачско-Лепельской (Лепель — 697 мм). Меньше осадков получают Шарковщина — 640 мм, Верхнедвинск — 652 мм, Орша — 657 мм. Большая часть осадков (около 68%) выпадает в теплое время года (с апреля по октябрь). Самый влажный месяц — июнь (81-95 мм). Меньше осадков выпадает в феврале (33-45 мм) и апреле (34-46 мм).

Характерным для климата Витебской области *атмосферным явлением* являются *туманы*. В среднем за год в области их бывает от 28 до 55 дней (в 1982 г. в Витебске отмечено 76 дней с туманами), из них около 60 % приходится на холодный период (октябрь-март), что связано в основном с адвекцией морских умеренных воздушных масс. Больше всего дней с туманом отмечается в ноябре — 8,5 дней (в 2006 г. в Витебске отмечено 18 дней). С апреля по август бывает 1-4 дня в месяце с туманом, они кратковременны (около 3 часов). *Грозы* наблюдаются в основном при прохождении фронтов в теплое время года. В среднем за год в области отмечается от 19 до 28 дней с грозой (наибольшее число зарегистрировано в Витебске в 1954 г. — 44 дня). Максимально грозы возможны каждый пятый день в июне-июле 6-7 дней в месяц (в отдельные годы до 14). Повторяемость *града* невелика. На МС Витебск зарегистрировано в среднем 1,46 случая града в году (наибольшее среднее число дней с градом в области, максимальное отмечено в 2010 г. и составило 5 дней).

В зависимости от интенсивности явлений погоды или гидрометеорологических условий выделяют гидрометеорологические явления опасные (ОЯ) и неблагоприятные (НГЯ) [3]. На основе анализа пространственного распределения повторяемости ОЯ на территории Беларуси установлены ареалы с наибольшей их повторяемостью в различные периоды года (в Витебской области в теплый период года выделено два ареала, в холодный три) [4]. В среднем за год на территории Витебской отмечается около 6

ОЯ, из них от 0,67 (Лынтупы) до 1,46 (Витебск) дней с градом и от 19,0 (Сенно) до 27,8 (Езерище) дней с грозами. Грозы, в основном, наблюдаются в теплое время года. Зимние грозы редки. Среди всех ОЯ можно выделить отдельные виды, воздействие которых оказывает наибольшее негативное влияние – это очень сильный ветер, в том числе шквалы и жидкие осадки, достигшие критерия ОЯ. Среди НГЯ в Витебской области чаще всего отмечаются сильные дожди, сильные ветры и шквалы, реже сильные ливни, а также сильный снег, град.

Современное изменение климата началось с 1989 г. и проявляется, прежде всего, в росте среднегодовой температуры воздуха. В Витебской области она в последнее десятилетие фиксируется выше 6,0 °С, при этом в 2011, 2014, 2015, 2018 гг. была равна и выше 7,0 °С, а в 2019 г. и 2020 г. стала равна и выше 8,0 °С [5]. По данным МС Витебск в среднем за период 1989-2019 гг. среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на +1,5 °С. Наибольшее положительное отклонение средней за год температуры за последовательные пятилетние периоды наблюдалось в период 2015-2019 гг. и составляло 1,9 °С. Самым теплым за все годы метеонаблюдений в Витебске оказались 2015 г. и 2019 г. со средней температурой +8,2 °С (выше климатической нормы на 3,1 °С). Витебская область стала территорией страны с самым большим долгосрочным средним количеством осадков, выпавшим за период 1990-2020 гг.

В период потепления климата за период 1989-2019 г. существенно изменились температурные условия сезонов года. В Витебской области наибольшие положительные отклонения температуры воздуха от климатической нормы (на 5,2 °С) отмечены *зимой* 1989-1990 гг., когда она составила -1,1 °С. В 2019-2020 гг. зафиксировано отсутствие климатической зимы. Самая холодная зима была в 1995-1996 г. (-9,2 °С), когда было на 2,9 °С холоднее обычного. Самая теплая *весна* была в 2014 г. со средней температурой по области 8,7 °С и положительным отклонением температуры воздуха от климатической нормы 3,8 °С. Самая холодная весна отмечалась в 2006 г. со средней температурой по области 4,5 °С, что на 0,4 °С ниже сезонной нормы. Самое теплое *лето* зафиксировано в 2010 г., когда средняя температура сезона составила 20,3 °С и отмечались максимальные значения положительного отклонения температур летом от климатической нормы 3,9 °С. Самое холодное лето было в 1993 г. со средне-сезонной температурой воздуха 14,6 °С, что на 1,8 °С ниже сезонной климатической нормы. *Осенью* 2019 г. в Витебской области зафиксировано максимальное положительное отклонение температуры воздуха от климатической нормы 2,2 °С, средняя температура воздуха осенью в этом году составила +8,1 °С. Самая холодная осень была в 1993 г. (средняя температура 2,3 °С), что на 3,2 °С ниже сезонной нормы.

В целом, климат Витебской области характеризуется умеренностью основных показателей и отсутствием больших колебаний метеозлементов. При этом есть особенности: 1) по сравнению с другими областями Беларуси, более холодный и влажный (здесь зарегистрированы самые низкие температуры воздуха, меньше безморозных дней, короче вегетационный период); 2) неустойчивый характер погоды, особенно весной и осенью; 3) нехватка влаги в начале лета; 4) поздние весенние и ранние осенние заморозки и др.

Современное изменение климата проявляется в росте температуры воздуха, особенно зимой и отмечается снижение числа дней с экстремально низкими температурами; стало меньше сильных волн холода и больше оттепелей; на 10-12 дней увеличился вегетационный период; отмечается увеличение количества осадков и их интенсивность; отмечается рост числа случаев гололедно-изморозевых отложений; летом фиксируется больше волн тепла и засух и др.

Проблема изменения климата стоит в ряду первоочередных научных и практических проблем, поскольку оказывает влияние на экономику, население, окружающую среду и требуют разработки и принятия адаптационных мер, направленных на уменьшение уязвимости и повышение устойчивости систем к действию климатических факторов как на республиканском, так и на региональном уровне.

Библиографические ссылки

1. Справочник по климату. Минск: Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», 2017.
2. *Пиловец Г. И.* Климат // Физическая география Витебской области: учебное пособие. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. С. 74-95.
3. Глоссарий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogoda.by/glossary/?nd=16&id=168>. Дата доступа: 20.04.2020.
4. *Шнока И. Н.* Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси. Брест, 2011. 210 с.
5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>. Дата доступа: 15.03.2019.

УДК 556.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОРЫВА ОЗЕРА В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗВИТИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО КАНАЛА

Г. В. Пряхина, В. А. Распутина, С. С. Свирепов

*Санкт-Петербургский государственный университет, 199034
Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, Россия, g65@mail.ru*

В статье предложен алгоритм расчета гидрографа прорывного паводка, описывающий развитие фильтрационного канала в теле моренной плотины и последующее образование перелива воды при обрушении грунта, находящегося над каналом. Был проведен расчет гидрографа прорыва озера Башкара в Приэльбрусье, которое произошло 1 сентября 2017 г. Показано, что результаты моделирования количественно сопоставимы с оценками, полученными по натурным данным.

Ключевые слова: математическое моделирование; прорывы грунтовых плотин; опасные гидрологические явления; фильтрационный канал.

MODELLING OF A LAKE OUTBURST AS A RESULT OF DEVELOPMENT OF PIPING

G. V. Pryakhina, V. A. Rasputina, S. S. Svirepov

*St. Petersburg State University, 199034, Universitetskaya nab., 7-9
St. Petersburg, Russia, g65@mail.ru*

An algorithm for calculating the breakthrough flood hydrograph, describing the development of a filtration channel in the body of a moraine dam and the subsequent formation of water overflow when the soil above the channel collapses, is proposed in the paper. Using the proposed methodology, the calculation of the hydrograph of the breakthrough of Lake Bashkara in the Elbrus region, which occurred on September 1, 2017. It is shown that the simulation results are quantitatively comparable with the estimates obtained from field data.

Keywords: mathematical modeling; ground dam breakthroughs; dangerous hydrological phenomena; filtration, piping.

Введение. Отступление горных ледников, наблюдающееся в настоящее время в результате глобального изменения климата, приводит к увеличению площади горных озер и росту опасности прорыва моренных дамб, которыми они подпружены [1,2]. Одним из возможных механизмов прорыва моренных дамб наряду с переливом через гребень является образование фильтрационного канала (piping). В ряде случаев это явление служит дополнительным триггером прорыва плотины. Таким образом, фор-

мирование фильтрационного канала может являться причиной разрушения дамб, после которого происходит перелив воды. Этот процесс требует пристального изучения — как на основе натурных данных, так и по результатам моделирования. Отметим работы [3,4,5], в которых приводятся результаты исследования формирования фильтрационного канала на основе физического (эксперименты по расширению канала в теле малых грунтовых плотин) и математического моделирования (на основе расчета скорости эрозии). В отечественной научной литературе вопрос разрушения подпруживающих моренных плотин в результате развития сосредоточенной фильтрации, насколько известно авторам, в последние годы не рассматривался. В этой связи, целью данной работы стала адаптация имеющихся алгоритмов расчета формирования фильтрационного канала в теле дамбы и их апробация.

Материалы и методы. Настоящая методика основывается на следующих представлениях о расширении канала в теле грунтовой плотины: в плотине уже имеется начальный канал малого размера, образованный в результате обратной эрозии или усиленной фильтрации. Вода, проходя по каналу, создает напряжение сдвига. Если величина напряжения сдвига больше критической, то канал расширяется, если меньше, то эрозия не происходит. Далее выполняется расчет скорости эрозии. Полученное приращение прибавляется к диаметру канала. Процесс размыва фильтрационного канала прекращается, когда диаметр канала достигнет 1/5 от высоты плотины, так как образованная арка не может выдержать верхний свод грунта [6]. Далее происходит перелив воды через образовавшийся проран. В отдельных случаях, когда грунт переувлажнён и имеет большой удельный вес, процесс обрушения не происходит. Вода двигается по каналу до полного опустошения водоёма.

Расход воды Q в фильтрационном канале рассчитывается по формуле:

$$Q(t) = \omega(t) \sqrt{\frac{2gH(t)}{h_f(t)}},$$

где g — ускорение свободного падения, равное 9.81 м/с^2 ; $\omega(t)$ — площадь поперечного сечения канала рассчитывается как $\frac{\pi D(t)^2}{4}$; где $D(t)$ — диаметр канала. Напор воды $H(t)$ — это разность отметки воды в потоке $z(t)$ и предполагаемой высоты центра канала z_{pip} ; h_f — потери напора по длине канала, которые рассчитываются как

$$h_f = \sqrt{1 + \frac{fL}{4R}},$$

где L – длина канала; R – гидравлический радиус канала; f – параметр, зависящий от трения, который рассчитывается как $f = 0.2162 \times \left(\frac{D_{50}}{D(t)}\right)^{1/6}$,

где D_{50} – средний диаметр частиц грунта.

Приращение диаметра канала $\Delta l(t)$ определяется скоростью эрозии $E(t)$:

$$E(t) = k_{er}[\tau(t) - \tau_{кр}]$$

Вода, двигаясь по каналу, создаёт некоторое напряжение сдвига τ . При превышении критического значения τ_c начинается процесс эрозии. Так как шаг по времени равен 1 с, то приращение канала $\Delta l(t)$ равно скорости эрозии $E(t)$:

$$\Delta l(t) = E(t) = k_{er}[\tau(t) - \tau_{кр}]\Delta t$$

где k_{er} – коэффициент эрозии, который определяется по формуле:

$$k_{er} = \frac{10 \times \rho_w}{\rho_s} \times \exp \left\{ -0.121 \times \aleph^{0.406} \times \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right)^{3.1} \right\},$$

где ρ_s – плотность материала плотины; ρ_w – плотность воды; $\aleph$ – доля содержания глины в грунте, из которого сложена плотина. Напряжение сдвига $\tau(t)$, инициируемое водным потоком, рассчитывается как:

$$\tau(t) = \gamma_w R(t) S(t),$$

где γ_w – удельный вес воды; R – гидравлический радиус; $S(t)$ – энергетический уклон, выражение для которого имеет следующий вид $S(t) = \bar{v}^2 n^2 [R(t)]^{-4/3}$, в котором $\bar{v}$ – средняя скорость потока воды; n – коэффициент Стиклера, зависящий от крупности частиц грунта, характеризуется значениями в интервале от 0.01 до 0.05 и определяется соотношением $n = \left(\frac{0.15}{\sqrt{g}}\right) k^{1/6}$, где k – диаметр частиц грунта.

Для определения критического сдвигового напряжения воспользуемся формулой:

$$\tau_{кр} = 6.8(\xi)^{1.68} \aleph^{-1.73} \zeta^{-0.97},$$

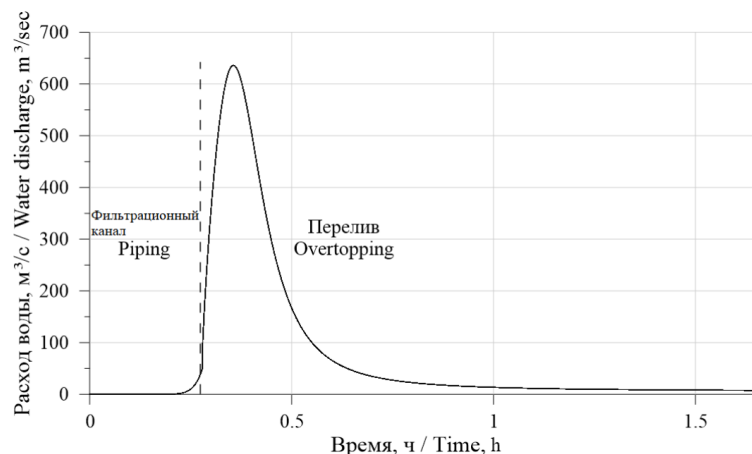
где ξ – индекс пластичности грунта, % (характеристика, отражающая способность грунта удерживать воду, для супесей изменяется в пределах 1-7%,

для суглинков 7-17 %, для глин больше 17 %), из которого сложена плотина, ζ – пористость грунта.

Расчет перелива воды через проран подробно описан в [7].

В качестве объекта для апробации методики было выбрано приледниковое озеро, расположенное у одноименного долинного ледника Башкара (долина реки Адыл-Су, Эльбрусский район, Кабардино-Балкарская республика). Водоем характеризуется динамичностью и нестабильностью, так как неоднократно происходили прорывы озера: в августе 1958 и 1959 гг., в октябре 1960 г. и в сентябре 2017 г.

Согласно полученным результатам (рисунок), сброс воды через фильтрационный канал происходил в течение 16 мин, волна прорывного паводка образовалась при последующем переливе воды. Период, за который прошла волна прорыва, составил около 40 мин. Максимальный расход воды, рассчитанный по предложенной методике, составил 636 м³/с. Расчетная площадь прорана составила 539 м².



Модельный гидрограф прорывного паводка при прорыве озера Башкара

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00171 «Моделирование прорывов водоемов, подпруженных дамбами естественного происхождения».

Библиографические ссылки

1. Begam S., Sen D., Dey S. Moraine dam breach and glacial lake outburst flood generation by physical and numerical models // Journal of Hydrology. 2018. № 1 (563). С. 694-710.
2. Westoby M. J. Glasser N. F., Brasington J, Hambrey M. J., Quincey D. J., Reynolds J. M. Modelling outburst floods from moraine-dammed glacial lakes // Earth-Science Reviews. 2014. № 2 (134). С. 137-159.
3. Xu T., Zhang L. Simulation of Piping in Earth Dams Due to Concentrated Leak Erosion // Proceedings of Geo-Congress. 2013. P. 1091-1099.

4. *Říha J., Kotaška S., Petrula L.* Dam Break Modeling in a Cascade of Small Earthen Dams: Case Study of the Čížina River in the Czech Republic // *Water*. 2020. Vol. 12, № 8. P. 2309.

5. *Awal R., Nakagawa H., Kawaike K., Baba Y., Zhang H.* Experimental study on piping failure of natural dam // *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*. 2011. V. 67, № 4. P. I_157-I_162.

6. *Протодьяконов М. М.* Давление горных пород и рудничное крепление. Часть 1. Давление горных пород. Москва, Ленинград, Новосибирск: ГИЗ, 1931. – 65 с.

7. *Распутина В. А., Пряхина Г. В., Попов С. В.* Опыт моделирования гидрографа прорывного паводка при разрушении грунтовых плотин в результате перелива // *Успехи современного естествознания*. 2021. № 12. С. 194-204.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ОЧИСТКИ СКЛОНОВОГО СТОКА В ВОДООХРАННЫХ ЗОНАХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОШМЯНСКОГО РАЙОНА

А. М. Пухальская, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, AKindeev@tut.by*

В ходе работы был рассмотрен вопрос влияния водоохраных зон и прибрежных полос на коэффициент склонового стока водных объектов Ошмянского района. Для этого были построены карты очистки стока для водоохранной зоны и прибрежной полосы 2018 г, при помощи автоматизации расчетов коэффициентов. Результат показал зависимость загрязнения стока от уклона местности и вида земель на прилегающих к водному объекту территориях.

Ключевые слова: водные объекты; водоохранная зона; прибрежная полоса; эффект очистки склонового стока.

AUTOMATION OF CALCULATION OF THE COEFFICIENT OF SLOPE RUNNOWN TREATMENT IN WATER PROTECTION ZONES OF WATER BODIES OF THE OSHMYANSKY DISTRICT

A. M. Pukhalskaya, A. L. Kindeev

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk,
Belarus, AKindeev@tut.by*

During the work, the issue of the influence of water protection zones and coastal strips on the coefficient of slope runoff of water bodies in the Oshmyany district was considered. For this purpose, maps of runoff purification were constructed for the water protection zone and coastal strip in 2018, using automation of coefficient calculations. The result showed the dependence of runoff pollution on the slope of the area and the type of land in the areas adjacent to the water body.

Keywords: water bodies; water protection zone; coastal strip; slope runoff purification effect.

Водоохранные зоны — специально выделенные территории вдоль берегов водоемов и водотоков, на которых действует особый режим хозяйственной деятельности с целью охраны вод от загрязнения, заиления и засорения. Водоохранные зоны играют важную роль в сохранении и защите водных ресурсов от загрязнения и негативного воздействия антропогенной деятельности. Благодаря специальному режиму хозяйственной деятельности

на этих территориях, удастся обеспечить более эффективную охрану вод от различных видов загрязнений, таких как химическими веществами, удобрениями, пестицидами, нефтепродуктами и другими вредными веществами. Запрет на строительство и функционирование потенциальных источников загрязнения в водоохраных зонах способствует сохранению чистоты водных объектов и поддержанию экологического баланса в прибрежных территориях. Это особенно важно в контексте сельскохозяйственных угодий, где использование удобрений, пестицидов и других химических веществ может оказывать значительное давление на экосистемы водоемов и водотоков. [5]

Наиболее существенными с точки зрения экологической оптимизации территории, являются прибрежные полосы. Прибрежная полоса — участок территории водоохранной зоны, который расположен непосредственно у берега водного объекта и подвергается более строгим ограничениям к хозяйственной и иной деятельности по сравнению с остальной частью этой зоны. [1]

Оптимальные характеристики прибрежных территорий для обеспечения водоохраны достигаются за счет присутствия лесных, болотных и пойменно-долинных комплексов, которые определяют основные свойства притока в озеро водотоков. На лишенных леса участках производится оценка интенсивности взаимодействия с почвенной влагой, учитывается защищенность подземных вод, включая зоны аэрации, от попадания загрязнений. Для территорий с уклонами менее 3° граница водоохранной зоны обозначается по контуру переувлажненных почв и болотных систем с учетом влияния водоохранной зоны на формирование постоянных водотоков, а также включаются зоны затопления и подтопления после повышения уровня озера. [2]

Эффективное управление водоохранными зонами помогает предотвращать загрязнение воды, заиление и засорение, сохраняя ее качество и доступность для живых организмов. Также благодаря водоохранным зонам происходит ускоренная инфильтрация поверхностного стока в почву, укрепление берегов, что препятствует развитию водной и ветровой эрозии.

Одним из показателей, который отражает влияние водоохранных зон на сток, является очистка стока. Коэффициент очистки зависит от таких показателей, как свойства почв, концентрация элементов в стоке бассейна, климатических условий, рельефа и других.

В 2014 г. внесены изменения в водный кодекс Республики Беларусь, которые повлияли на геоэкологические функции водоохранных зон. Теперь минимальная ширина водоохранной зоны для водоемов и малых рек

составляет 500 метров, а для больших и средних — 600 метров. Также установлена минимальная ширина прибрежной полосы: 50 метров для водоемов и малых рек, и 100 метров для больших и средних. Важно отметить, что водоохранные зоны не устанавливаются для рек и ручьев (их частей), находящихся в закрытых коллекторах, каналах мелиоративных систем, временных водотоках, образованных стоками талых или дождевых вод, технологических водных объектах и прудах-копаннях. [1]

Для определения влияния водоохранных зон на коэффициент очистки стока была поставлена цель: провести ГИС-анализ изменения эффекта очистки в водоохранных зонах и прибрежных полосах Ошмянского района за 2018 и 2022 гг.

Для получения исходных материалов использованы данные Геопортала ЗИС (расширенный доступ к ЗИС предоставлен НИЛ «Экологии ландшафтов» в рамках выполнения проектов по разработке и корректировке ВЗиПП). Обработка производилась в программных продуктах ArcGIS, ArcGIS Pro. [4]

Первый шаг: подготовка исходных материалов (здесь проходила проверка несоответствий и исправление ошибок). На следующем этапе проходило сравнение проектов водоохранных зон и прибрежных полос 2018 и 2022 гг., в результате чего были выявлены небольшие количественные и качественные (корректировка форм границ) изменения в нескольких проектах. Далее, для создания карты, отражающей эффект очистки склона, были построены карты уклона местности и видов земель на территории района. С помощью применения инструмента «Уклон» на исходном слое рельефа района был создан новый растровый слой уклона местности, который впоследствии был извлечен по маске для территории водоохранных зон для 2018 и 2022 гг. и переведен из растрового в векторный с помощью инструмента «Растр в полигоны». Таким же образом был получен векторный слой видов земель по территории Ошмянского района. Полученные карты стали основой для создания итоговых карт, отражающих коэффициент очистки стока. Два слоя были связаны одной таблицей для дальнейшей работы с данными: каждому полигону было присвоены значения уклона местности и вида земель.

С помощью опытных данных таблицы, составленной по источнику [5] и, дополненной автором, для каждого полигона проходило сопоставление величины уклона и видов земель.

По данным таблицы были автоматизировано рассчитаны коэффициенты очистки для всех указанных видов земель, пространственное распределение которых представлено на рисунках 1 и 2.

Коэффициент очистки склонового стока в ВЗиПП

Вид земель	Уклон, градусы	Коэффициент очистки
Лесные, под древесно-кустарниковой растительностью, под постоянными культурами	более 6	10,5
	4-6	5,5
	2-4	2,8
	0-2	1,2
Луговые	более 10	3,7
	5-10	3,1
	4-5	2,5
	2-4	0,97
	0-2	0,15
Пашня	более 6	2,56
	3-6	0,86
	0-3	0,16

По итогам построения картограмм можно заметить, что большое количество территорий отмечено красным цветом (коэффициент 0,15-0,29), значит, на большей части водоохранной зоны происходит минимальное загрязнение стока.

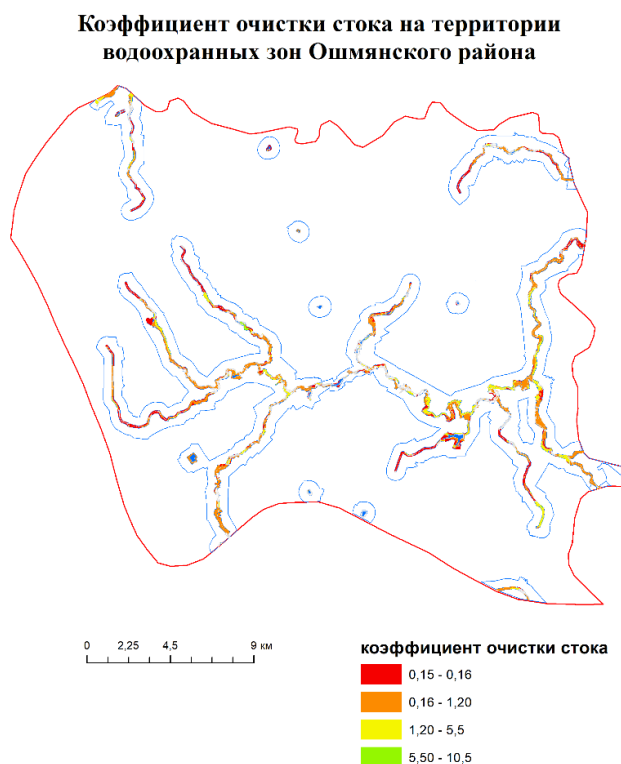


Рис. 1. Коэффициент очистки стока на территории прибрежных полос Ошмянского района

Коэффициент очистки стока на территории водоохранных зон Ошмянского района

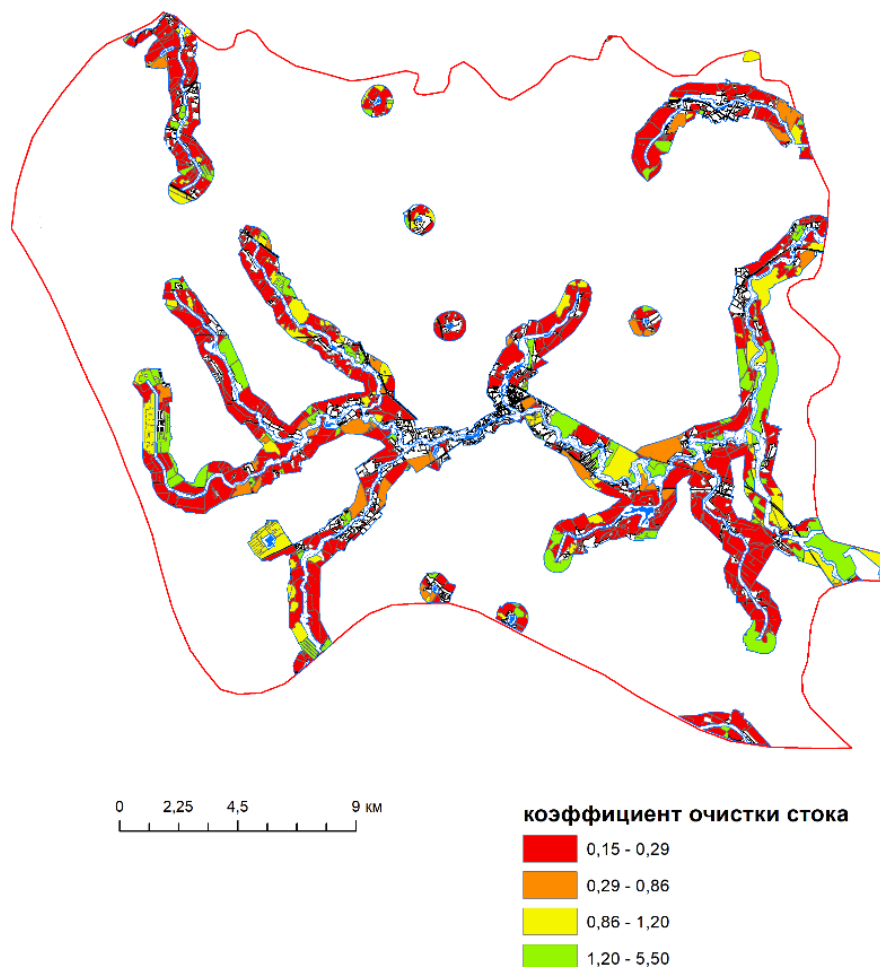


Рис. 2. Коэффициент очистки стока на территории водоохранных зон Ошмянского района

Изучив две построенные карты, можно заметить, что для водоохранной зоны реки Лоша, находящейся на северо-западе района, для большей площади характерен невысокий коэффициент очистки стока — преимущественно 0,15-0,29. Следовательно в бассейне данной реки происходит минимальное загрязнение воды. Если обратить внимание на нижнее течение реки Ошмянки (и отдельно взятые территории в бассейне реки) и бассейн реки Понарки, то можно заметить, что цвет на картограмме преимущественно желтый, зеленый (коэффициент 0,86 и выше), значит происходит более интенсивное загрязнение стока, чем на остальной территории бассейна рек. Наблюдается закономерность — более высокий показатель — относиться к территориям, занятым лесом.

Библиографические ссылки

1. Водный Кодекс Республики Беларусь. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kodeksy-bel.com/> Дата доступа: 14.11.2023.
2. Гагаринова О. В., Орлова И. И. Водоохранная зона озера Байкал: научные, правовые и экологические аспекты // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. №. 4. С. 20-35
3. Кошельков А. М., Матюшкина Л. А. Оценка химического загрязнения почв водоохраных зон малых рек города Хабаровска //Региональные проблемы. 2018. Т. 21. №. 2. С. 76-85.
4. Разработка и (или) корректировка проектов водоохраных зон и прибрежных полос водных объектов Ошмянского района Гродненской области с учетом требований Водного кодекса Республики Беларусь: отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) / БГУ ; научный руководитель С. И. Кузьмин. 2020 г.
5. Яцухно В. М., Мандер Ю. Э. Формирование агроландшафтов и охрана природной среды. Минск, 1995. 122 с.

УДК 556.5

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОРЫВНЫХ ПАВОДКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОРЫВАХ МОРЕННЫХ ОЗЕР, НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. А. Распутина, Г. В. Пряхина

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., д. 7-9,
г. Санкт-Петербург, Россия, lerasputina88@gmail.com*

В работе представлены результаты апробации методики расчета характеристик прорывных паводков, образующихся при прорывах моренных озер, на данных, полученных при проведении физических экспериментов, и на опубликованных данных реальных прорывов моренных озер.

Ключевые слова: прорывы моренных озер; прорывные паводки; математическое моделирование.

ASSESSMENT OF CHARACTERISTICS OF OUTBURST FLOODS FORMED DURING OUTBURSTS OF MORaine-DAMMED LAKES BASED ON MATHEMATICAL MODELLING

V. A. Rasputina, G. V. Pryakhina

*St. Petersburg State University, Universitetskaya embankment, 7-9, St. Petersburg,
Russia, lerasputina88@gmail.com*

The paper presents the results of testing a methodology for calculating the characteristics of outburst floods formed during moraine lakes outbursts, using data obtained during physical experiments and published data from real outbursts of moraine lakes.

Keywords: moraine-dammed lakes outbursts; outburst floods; mathematical modelling.

Водоемы, подпруженные естественными плотинами, широко распространены в районах современного оледенения Земли. Особенностью гидрологического режима таких водных объектов является формирование прорывных паводков в результате разрушения подпруживающей дамбы, которые могут приводить к катастрофическим последствиям. Ввиду того, что организация наблюдений за прорывами затруднена, для их изучения и получения характеристик прорывов применяются методы математического моделирования. В настоящей работе представлены результаты апробации методики расчета характеристик прорывных паводков, которая учитывает два механизма прорыва (образование фильтрационного канала

и перелив воды через гребень плотины) и неоднородный состав морены. Методика разработана авторами [1]. Апробация проводилась на результатах физических экспериментов и реальных случаях прорывов озер.

Настоящая методика расчета основывается на следующих представлениях о формировании прорыва. Длительный высокий уровень воды может стать причиной фильтрации воды через тело моренной перемычки. Просачивание воды через слой грунта приводит к выносу частиц водным потоком, образуя фильтрационный канал в теле плотины. Причем в начальный момент времени скорости потока воды имеют небольшие величины, при которых вымываться могут не все частицы грунта, а только те, чье критическое сдвиговое напряжение меньше сдвигового напряжения воды. И какая доля этих выносящихся водой частиц содержится в моренной перемычке, на эту долю относительно единицы и происходит расширение и углубление фильтрационного канала. Принимается допущение, что канал имеет круглую форму и его формирование происходит в центральной части плотины. В начальный момент времени диаметр канала имеет малое значение. По мере размыва происходит увеличение размеров образовавшегося канала, в результате чего увеличивается его пропускная способность и, соответственно, увеличение расходов воды. При увеличении скоростей потока и скорости эрозии происходит постепенное расширение канала до момента пока диаметр канала не достигнет критического значения, равного $1/5$ от напора воды, так как образованная арка не может выдержать верхний свод грунта [2]. При достижении этого критического значения будет происходить обрушение части моренной плотины, которая находится выше канала, и дальнейший вынос этого обвалившегося грунта потоком воды. После чего расчет осуществляется как для перелива воды. Разрушение перемычки и развитие прорыва происходит сверху вниз неравномерно по причине неравномерного распределения скоростей потока по глубине. Подробное описание методики расчета и основные выражения для расчета характеристик прорывного паводка приведены в [1, 3].

Для апробации математических моделей часто используется метод физического моделирования, так как он позволяет более детально описать процесс прорыва и получить необходимые данные для проверки математических моделей. В связи с этим осуществлен ряд физических экспериментов по прорыву грунтовых дамб, которые проводились силами студентов и сотрудников кафедр Гидрологии суши и Геофизики Института наук о Земле СПбГУ.

Натурный эксперимент (эксперимент № 1) был проведен в июле 2018 г. на Кавказе в прибрежной зоне неоднократно прорывавшегося

озера Башкара [4]. Искусственный водоем был создан в результате перекрытия стока ручья плотиной, которая состояла из моренного материала. Эксперимент уникален тем, что проводился в условиях формирования опасных гидрологических явлений [5].

Физические эксперименты № 2, № 3 и № 4 проводились на экспериментальной установке на территории учебно-научной базы «Приладожская» СПбГУ в 2020, 2021 и 2023 гг. Экспериментальный водоем представлял собой емкость, выполненную из монолитного поликарбоната размерами 1×1×1.5 м, состоящую из двух отсеков. Расходы воды через проран по результатам экспериментов определялись по изменению объемов воды во времени. Для оценки сходимости рассчитанных по модели и полученных в результате эксперимента гидрографов использован коэффициент Нэша-Сатклиффа (NS). В общем случае моделирование признается удовлетворительным при $NS > 0.5$. В качестве примера приведем результаты экспериментов с наилучшим, удовлетворительным и наихудшим значениями NS (размеры дамб и характеристики грунтов представлены в табл. 1).

Таблица 1

Характеристики экспериментальных плотин и водоемов

№ п/п	1 эксперимент (натурный)	2 эксперимент	3 эксперимент	4 эксперимент
Грунт	Моренный грунт	Супесь	Супесь	Супесь
Уд. вес грунта/ % глины	2630 / 5 %	2730 / 16 %	2590 / 6.9 %	2610 / 7.7 %
Высота, м	0.17	0.2	0.35	0.16
Толщина по по- дошве, м	0.4	0.46	0.71	0.7
Длина по гребню, м	1.2	1	1	1
Ширина гребня, м	0.05	0.1	0.05	0.05
Длина откосов, м	0.3 и 0.3	0.29 и 0.33	0.55 и 0.55	0.48 и 0.38
Глубина началь- ного Прорана, м	0.005	0.005	0.01	0.01
Объем водоема, м ³	0.203	0.183	0.312	0.162

Полученные в результате эксперимента наблюдения, а также смоделированные гидрографы прорывов представлены на рисунке 1. При моделировании не учитывается спонтанное обрушение грунта с бортов прорана, которое ведет к появлению локальных увеличений расходов воды на

наблюдаемых гидрографах (рис. 1а, б, в). В физических экспериментах № 1, № 3 и № 4 прорыв грунтовых плотин происходил при переливе воды через гребень, а в эксперименте № 2 — в результате образования фильтрационного канала в теле плотины (piping).

Анализ смоделированных и полученных в результате физических экспериментов гидрографов показал: наступление пиков прорывных паводков практически совпадает по времени. При проведении эксперимента № 1 (рис. 1а) произошло спонтанное обрушение грунта на 19 секунде, что привело к несовпадению пиков гидрографов. Именно для этого случая критерий NS принимает наименьшее значение — 0,42. Для остальных NS составил 0,58–0,8, что говорит об удовлетворительной сходимости.

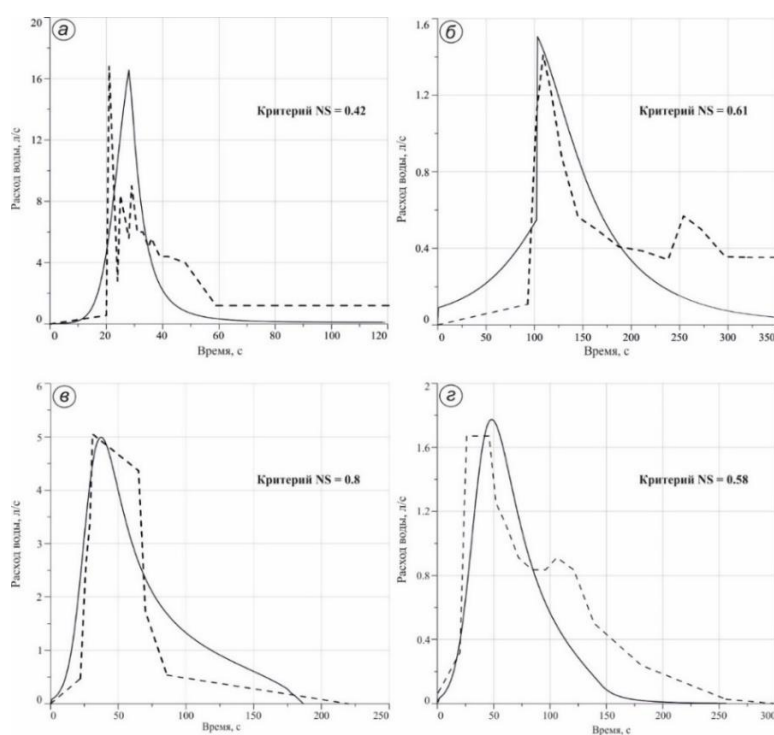


Рис. 1. Наблюдаемые (пунктирная линия) и смоделированные (сплошная линия) гидрографы прорывных паводков, полученные по результатам физических экспериментов: № 1 – а, № 2 – б, № 3 – в и № 4 – г.

Таким образом, удовлетворительная сходимость результатов показала адекватность методики расчета, что позволило использовать ее для расчета реальных случаев прорывов моренных озер (рис. 2). Для апробации методики использовались опубликованные данные по прорывам моренных озер Jinwuso [6] и Tam Pokhari [7] (табл. 2).

Апробация разработанной методики расчета на опубликованных данных реальных прорывов моренных озер показала также удовлетворительный результат.

Таблица 2

Объемы озер и прорывных паводков и размеры образовавшихся проранов

Озеро	Объем водоема, м ³	Объем прорывного паводка (факт. и расчетный), м ³	Реальные ширина и глубина прорана, м	Расчетные ширина и глубина прорана, м
Jinwuso	13900000	10000000/9960000	80/40*, 45	70/38*, 41
Tam Pokhari	21300000	18000000/17300000	100/25*, 50	102/58*, 53

*Через дробь указаны ширина прорана по гребню и по дну

По результатам сравнения реальных и расчетных объемов прорывных паводков было установлено, что расхождение минимально (до 4 %). Что касается размеров прорана, то в случае расчета характеристик прорыва для озера Jinwuso расхождение не превышало 12.5 %, что говорит об удовлетворительном качестве моделирования. В случае озера Tam Pokhari расхождение между измеренной и расчетной шириной прорана по гребню практически отсутствует, однако величина рассчитанной ширины прорана по дну завышена по сравнению с реальной шириной. Это может быть обусловлено тем, что за период времени от произошедшего прорыва до момента измерения размеров прорана могло произойти осыпание грунта с его бортов, в результате чего результат выполненного измерения мог быть занижен.

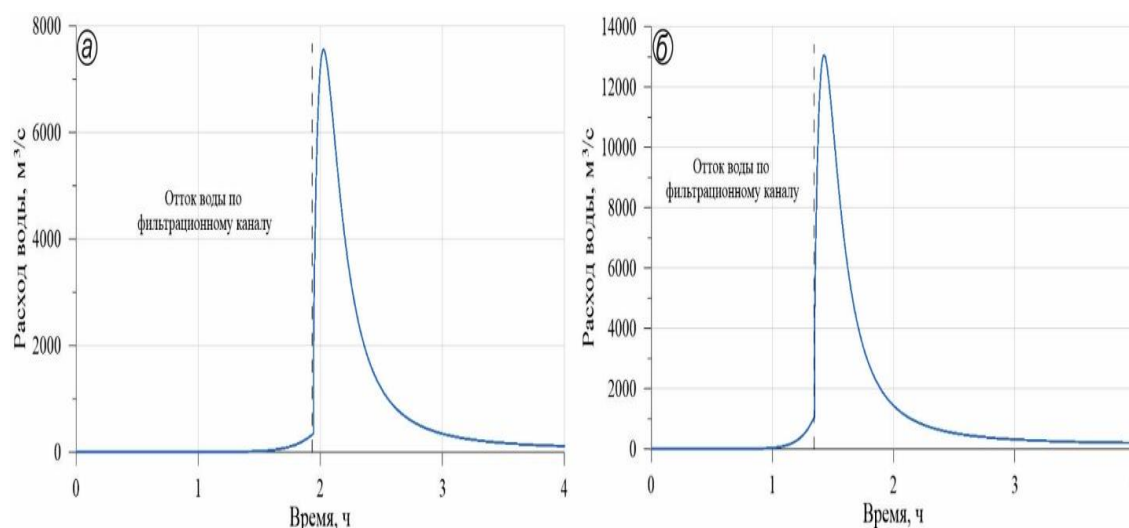


Рис. 2. Расчетные гидрографы прорывного паводка для озер:
Jinwuso – а и Tam Pokhari – б

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-27-00171 «Моделирование прорывов водоемов, подпруженных дамбами естественного происхождения».

Библиографические ссылки

1. *Распутина В. А., Пряхина Г. В.* Математическое моделирование прорывных паводков, образующихся при прорывах моренных озер // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Ю. Б. Виноградова «Пятые Виноградовские Чтения. Гидрология в эпоху перемен», Санкт-Петербург, 2023. С. 448-454.
2. *Протодьяконов М. М.* Давление горных пород и рудничное крепление. ГИЗ, 1931. 65 с.
3. *Распутина В. А., Пряхина Г. В., Попов С. В.* Опыт моделирования гидрографа прорывного паводка при разрушении грунтовых плотин в результате перелива // Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 194-204.
4. *Черноморец С. С., Петраков Д. А., Алейников А. А., Беккиев М. Ю., Висхаджи-ева К. С., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Кидяева В. М., Крыленко В. В., Крыленко И. В., Крыленко И. Н., Рец Е. П., Савернюк Е. А., Смирнов А. М.* Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // Криосфера Земли. 2018. Том 22, № 2. С. 70-80.
5. *Пряхина Г. В., Боронина А. С., Попов С. В., Распутина В. А., Войнаровский А. Е.* Физическое моделирование разрушения грунтовой дамбы водохранилища в процессе переполнения водоема // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. № 2. С. 51-63.
6. *Zheng G., Mergili M., Emmer A., Allen S., Bao A., Guo H., Stoffel M.* The 2020 glacial lake outburst flood at Jinwuco, Tibet: causes, impacts, and implications for hazard and risk assessment // The Cryosphere. 2021. Vol. 15. – P. 3159-3180.
7. *Osti R., Egashira S.* Hydrodynamic characteristics of the Tam Pokhari Glacial Lake outburst flood in the Mt. Everest region, Nepal // Hydrological Processes. 2009. Vol. 23. P. 2943-2955.

УДК 504.06:551.435.11(470.51)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ РАЗМЫВОВ НА РЕКАХ УДМУРТИИ

И. И. Рысин, И. И. Григорьев, Л. Н. Петухова

*Удмуртский государственный университет, ул. Университетская, 1,
426034, г. Ижевск, Россия, rysin.iwan@yandex.ru*

Исследована проблема размыва русел за 2000-2023 гг. на 55 ключевых участках, расположенных на реках разной величины, протекающих в условиях различных ландшафтов Удмуртии. Скорости размыва определялись с помощью реперов и тахеометрической съемки. Для анализа полученных результатов реки были разделены на 4 группы по величине их порядков (по методике А. Е. Шайдеггера). Приводится анализ размывов за 24-летний временной интервал по группам рек.

Ключевые слова: скорость размыва рек; реперы; мониторинг; корреляционный анализ; Удмуртская Республика.

GEOECOLOGICAL PECULIARITIES OF CHANNEL EROSION ON RIVERS OF UDMURTIA

I. I. Rysin, I. I. Grigoriev, L. N. Petukhova

*Udmurt State University, st. Universitetskaya, 1, 426034, Izhevsk, Russia,
rysin.iwan@yandex.ru*

The problem of channel erosion for 2000-2023 was studied at 55 key sites located on rivers of different sizes flowing in different landscapes of Udmurtia. Erosion rates were determined using benchmarks and tacheometric surveys. To analyze the results obtained, the rivers were divided into 4 groups according to the size of their orders (according to the method of A.E. Scheidegger). An analysis of erosion over a 24-year time interval for groups of rivers is provided.

Keywords: river erosion rate, benchmarks, monitoring, correlation analysis, Udmurt Republic.

Для рационального водопользования и охраны водных экосистем необходимы исследования характеристик русел и русловых деформаций, поскольку они тесно взаимосвязаны и являются составной частью эрозионно-русловых систем. Размывы берегов рек — наиболее эффективное проявление русловых деформаций. Наряду с гидрометеорологическими факторами, большую роль на изменение эрозионно-русловых систем играет хозяйственное преобразование ландшафтов [1, с. 55; 2, с. 195].

Целью данной работы является анализ многолетней динамики скоростей русловых размывов на реках Удмуртии, различающихся как порядком, так и ландшафтными особенностями их бассейнов, и выявление наиболее значимых факторов с помощью корреляционного анализа. Для этого на территории Удмуртской Республики (УР) по топографическим картам было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разного порядка и различные ландшафты [3, с. 46]. Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно с 1999 г. в летний период (чаще в июле), а на отдельных участках (около г. Ижевска), еще дополнительно весной (май) и осенью (октябрь). Данные мониторинга русловых размывов послужат в дальнейшем основой для прогнозирования развития излучин в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геозкологических ситуаций.

Одним из методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок. Сущность его заключается в проведении повторных замеров расстояний до неподвижных стержневых реперов или марок. Для определения скоростей размыва на всех ключевых участках было заложено около 300 реперов и марок, а в пределах 30 участков осуществлялась тахеометрическая съемка размываемого берегового уступа.

Анализ полученных за 24 года полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва. При этом имеются существенные различия по рекам, отличающимся размерами (порядком, водоносностью и т. д.). Одной из характеристик водотока, дающей осредненное представление о размере реки, условным индексом речного потока является порядок реки. Для рек территории УР расчет их порядков выполнялся по методике А. Е. Шайдеггера [4]:

$$N = \log_2(P) + 1,$$

где P – число притоков 1-го порядка (притоком 1-го порядка считается река длиной менее 10 км). Для территории УР предлагается относить реки 1–6-го порядка к очень малым, 6,1–9-го порядка к малым, реки 9,1–14-го порядка — к средним и свыше 14,1 порядка — к большим.

Анализ показал, что наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9,0. Максимальные значения размыва, наблюдаемые на таких реках, достигают 6–8 м и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 0,8–3,1 м/год. На р. Вятка (пр. приток р. Кама), имеющей 15-й порядок, среднегодовые скорости размыва превышают 3–5 м/год, а максимальные из зафиксированных значений составляют 12–15 м/год. Достаточно активно проявляются горизонтальные русловые деформации на

р. Чепца (лев. приток р. Вятка) у д. Яр (порядок 12,3): среднегодовые скорости размыва здесь составляют обычно 1-3 м/год, а максимальные – 7,1 м были отмечены в 2005 г.

Для малых рек (6,1-9,0 порядок) средние скорости отступления берега составляют 0,4-0,6 м/год. Но на отдельных участках размывы намного выше: на р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж) у д. Тавзямал в 2012 году максимальный размыв составил 5,05 м, в 2017 г., соответственно – 5,35 м. На р. Пызеп (пр. приток р. Чепца) у д. Бани в 2012 году максимальный размыв на одном из участков составил 4,8 м, а в 2019 г. данный показатель достиг 5,5 м.

Для очень малых рек (порядок 6,0 и менее) значения средних скоростей размыва составляет – 0,1-0,3 м/год, хотя в некоторых местах зарегистрировано смещение берега на 1 м и более. Так, на участке реки Шаркан у д. Титово (порядок 5,6) средний максимальный размыв в 2000 и в 2003 гг. превысил 2 м. На реке Адамка у с. Грахово (порядок 3,8) средний максимальный размыв в 2011 году составил 4,2 м, а на р. Агрызка у д. Баграш-Бигра (порядок 4,5) максимальный размыв в 2003 г. составил 8,1 м, что было вызвано прорывом земляной дамбы пруда.

Все вышесказанное подтверждается и рассчитанными статистическими зависимостями между среднегодовыми и среднемаксимальными размывами с одной стороны и величиной порядка реки, с другой. Установлена криволинейная зависимость экспоненциального вида, поэтому наряду с обычным коэффициентом корреляции (r) были рассчитаны корреляционное отношение (η) и квадрат корреляционного отношения (η^2) по методике Г. Ф. Лакина [5]. Коэффициенты корреляции между среднегодовыми размывами и порядком реки ($r=0.54$; $\eta=0.51$; $\eta^2=0.26$) указывают на достаточно тесную связь, что наглядно видно и на графике. Показатели связи между среднемаксимальными размывами и порядком реки ($r=0.59$; $\eta=0.682$; $\eta^2=0.464$) также свидетельствуют о высокой взаимосвязи. Полученные зависимости описываются экспоненциальными уравнениями и близки к ранее полученным зависимостям [3, с. 100; 6, с. 128].

Анализ результатов реперных замеров за 24 года по всем рекам показал, что в настоящее время отмечается тенденция уменьшения скоростей береговых размывов как для среднегодовых, так и среднемаксимальных значений. Возможно, это связано с тем, что в последние годы снижается интенсивность половодного и паводочного стока на исследуемых реках, что не всегда подтверждается данными тахеометрических съемок.

Несколько иная картина наблюдается, если рассматривать графики отдельно по группам рек. На самых малых реках с порядком водотоков от 6 и менее, на двух графиках отчетливо выделяется хорошо выраженный

отрицательный тренд. Если для среднегодовых значений максимумы характерны для 2011 (0,51 м) и 2003 (0,43 м) гг., то для среднемаксимальных значений максимум смещен на правую сторону графика и отмечен в 2018 г. (1,67 м), при этом второй максимум совпадает с первым для средних значений и зарегистрирован в 2011 г. (1,34 м).

Для 28 малых рек (порядок 6,1-9,0) на графике среднегодовых размывов отрицательный тренд практически не заметен. Минимальные значения характерны для левой части графика и зарегистрированы в 2004 (0,14 м) и 2009 гг. (0,17 м), но в 2023 г. отмечено наинизшее значение (0,13 м). Два одинаковых максимума наблюдались в 2006 и 2016 гг. (0,47 м), третий максимум отмечался в 2022 г. (0,44 м). Для среднемаксимальных размывов график существенно отличается, здесь отчетливо выражен отрицательный тренд. Максимальные значения отмечались в начале наблюдений — в 2001 (1,15 м) и 2006 гг. (1,17 м), а минимумы смещены в правую часть графика и отмечались в последние годы — в 2020 (0,41 м), 2021 (0,40 м) и 2023 гг. (0,3 м).

Наблюдения на средних водотоках (порядок 9,1-14,0) осуществляется на 5 реках в пределах 12 участков. Оба графика имеют хорошо выраженный отрицательный тренд с соответствующими уравнениями. Максимальные значения среднегодовых размывов были отмечены в 2001 (0,75 м) и 2005 гг. (0,72 м), минимальные, соответственно — в 2021 и 2023 гг. (0,16 м). Для среднемаксимальных размывов минимальные значения наблюдались, как и для предыдущей группы рек, в последние годы — в 2020 (0,38 м) и 2023 гг. (0,34 м), максимумы были отмечены в 2005 (2,29 м) и 2010 гг. (1,64 м).

Графики среднегодовых и максимальных значений размыва за анализируемый период для р. Вятка на участке «Крымская Слудка» очень близки по характеру рисунка и имеют отчетливо выраженный отрицательный тренд. Наибольшие значения среднегодовых (5,9 м) и максимальных размывов (15 м) были зарегистрированы в 2005 г., как и для группы средних рек. Второй максимум значений для среднегодовых размывов был отмечен в 2010 г. (4,5 м), а для максимальных размывов, соответственно в 2002 г. (14,2 м). Минимальные значения размывов были зафиксированы в 2015 г.: для среднегодовых значений, соответственно — 0,35 м, а для максимальных — 0,6 м.

Для малых рек статистически достоверная связь между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами установлена для р. Лоза (лев. приток р. Чепца) на ключевом участке у пос. Игра (порядок реки 8,8), где имеется гидрологический пост с рядами наблюдений за 2002-2018 гг. Для данной реки выявлена также высокая положительная связь между среднегодовыми размывами и среднегодовыми расходами

($r = 0,59$; $R^2 = 0,348$). Статистически достоверная связь также установлена между среднегодовыми скоростями размыва и среднегодовыми расходами на р. Нылга на участке близ с. Нылга, где также находится гидрологический пост и имеется аналогичный ряд наблюдений. Связь в данном случае криволинейная и описывается экспоненциальным уравнением с умеренными показателями связи ($r = 0,49$; $R^2 = 0,276$). Заметно ниже по значимости связь обнаружена между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами на р. Сива (лев. приток р. Кама) с порядком 10,6 на участке у с. Гавриловка, где находится гидропост с рядами наблюдений за 2000-2018 годы. Для данного участка также получено уравнение линейной связи и рассчитаны коэффициенты зависимости ($r = 0,36$; $R^2 = 0,129$). Выявлена невысокая, но достоверная положительная связь между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами на р. Чепца (порядок 11,4) на участке у д. Каменное Заделье. Расходы определялись по гидропосту в с. Полом за 2002-2018 годы. Достаточно надежная и существенная криволинейная связь установлена между среднегодовыми скоростями размыва и максимальными расходами на р. Чепца (порядок 12,3) на участке у с. Дизьино по данным гидропоста в г. Глазов (2000-2018 гг.). Аналогичная зависимость была получена для данной реки между максимальными размывами и максимальными расходами ($r = 0,53$; $R^2 = 0,175$).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, <https://rscf.ru/project/23-27-00194>

Библиографические ссылки

1. Беркович К. М. Экологическое русловедение / К. М. Беркович, Р. С. Чалов, А. В. Чернов. М.: ГЕОС, 2000. 332 с.
2. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
3. Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с.
4. Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
6. Petukhova, L. N., Rysin I. I. Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation. In: *Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains* / edited by R. S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemien. Cracow, 2006. P. 119-131.

УДК 556.5

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА НА РЕКАХ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Я. А. Рябый¹⁾, А. А. Новик²⁾

¹⁾Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь, jaroslawriaby@gmail.com; ²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, novika@bsu.by

В работе изучены особенности гидрологического режима, региональные различия и пространственно-временные колебания максимального стока рек Западная Двина и Припять. Выполнена оценка режима весеннего половодья рек Беларуси в условиях изменения климата за современный (с 1989 по 2019 гг.) и базовый (с 1948 по 1988 гг.) период гидрологических наблюдений.

Ключевые слова: максимальный сток; весеннее половодье; гидрологический режим; климат.

PATTERNS OF FORMATION OF MAXIMUM FLOW ON THE RIVERS OF BELARUS IN A CHANGING CLIMATE

Y. A. Ryaby ¹⁾, A. A. Novik ²⁾

¹⁾Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and Environmental Monitoring, 110 Nezavisimosti Av., 220114, Minsk, Belarus, jaroslawriaby@gmail.com; ²⁾Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4, 220030, Minsk, Belarus, novika@bsu.by

This paper examines the peculiarities of the hydrological regime, regional differences and spatio-temporal fluctuations in the maximum flow of the Western Dvina and Pripyat rivers. The assessment of the spring flood regime of the rivers of Belarus in the context of climate change for the modern (from 1989 to 2019) and basic (from 1948 to 1988) period of hydrological observations was carried out.

Keywords: maximum runoff; spring flood; hydrological regime; climate.

Важнейшей составляющей гидрологического мониторинга водных объектов является объективная качественная оценка основных характеристик стока рек и их изменений в условиях современного изменения климата. Системный мониторинг основных характеристик весеннего половодья способствует эффективной оценке риска развития опасных гидрологических явлений.

Изучение пространственно-временных закономерностей формирования максимального стока рек севера и юга Беларуси в условиях изменяющегося климата на примере бассейнов рек Западная Двина и Припять, имеющих различные физико-географические характеристики и степень антропогенного преобразования, позволит выявить многолетние изменения максимального стока, как результата отклика на вариации климатических изменений. Это также позволит проанализировать территориальные различия динамики максимального речного стока, формирующегося в неодинаковых природных условиях.

В основу анализа положены обработанные и отцифрованные многолетние ряды наблюдений по объему стока и расходу воды весеннего половодья на гидрологических постах реки Западная Двина по створам Полоцка и Витебска и реки Припять в створах Мозыря, Черничи ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Бассейны исследуемых рек имеют различные физико-географические характеристики, водный сток формируется в дифференциальных природных условиях и имеет различную степень антропогенной трансформации (табл. 1).

Таблица 1

Основные физико-географические и гидрографические характеристики бассейнов исследуемых рек, в пределах Беларуси

Название	Длина, км	Площадь реки водосбора, км ²	Средний уклон водной поверхности, ‰	Густота речной сети, км/км ²	Озёрность, %	Лесистость, %	Заболоченность, %	Мелиорированность, %	Доля весеннего половодья, %	Продолжительность половодья, сут.
Западная Двина	328	33200	0,12	0,51	3	27	20	16	56	60-75
Припять	495	50900	0,09	0,20	<1	30	15	23,4	61	80-110

Особое влияние на гидрологический режим оказывают лесистость и заболоченность водосборов [1, с. 115]. Влияние площади лесов на весенний сток проявляется в снижении пика и увеличении продолжительности половодья [2, с. 185]. Наличие значительных площадей болот на водосборе приводит к замедлению стока и отражается на форме волны половодья [3, с. сс230]. Антропогенная трансформация (мелиорация и гидро-

энергетическое строительство) водосборных территорий вносит существенные изменения в естественный гидрологический режим рек выражающийся в сезонном перераспределении стока [4, с. 31].

В настоящее время произошло смещение дат начала весеннего половодья. Как видно на рисунке 1, даты максимальных расходов воды рек весеннего половодья сместились на более ранние сроки.

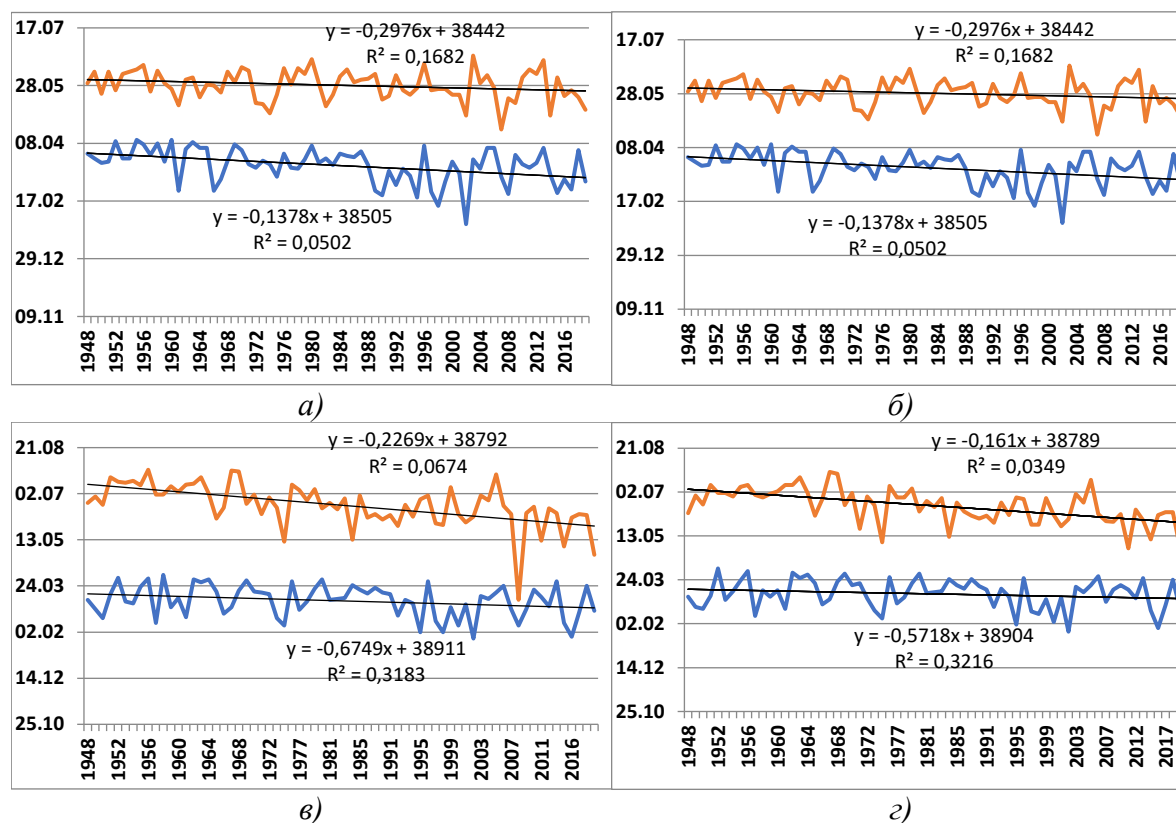


Рис. 1. Даты начала (красная линия) и окончания (синяя линия) весеннего половодья за период 1948-2019 гг. по створам: а – р. Западная Двина г. Витебск б – р. Западная Двина г. Полоцк в – р. Припять г. Мозырь г – р. Припять д. Черничи [5,6].

Анализ средних максимальных расходов воды весеннего половодья показывает, что произошли существенные уменьшения максимального стока. Особенности многолетних изменений максимального стока рек Западная Двина и Припять, расположенных в разных частях страны, иллюстрируется данными, представленными на рисунке 2, и свидетельствуют об уменьшении повторяемости опасных максимальных расходов воды.

В многолетнем распределении максимального стока рек республики выделяется два характерных периода: современный (с 1989 по 2019 гг.), характеризующийся повышением температуры воздуха, и базовый (с 1948 по 1988 гг.), с климатическими условиями характерными для периода до начала потепления.

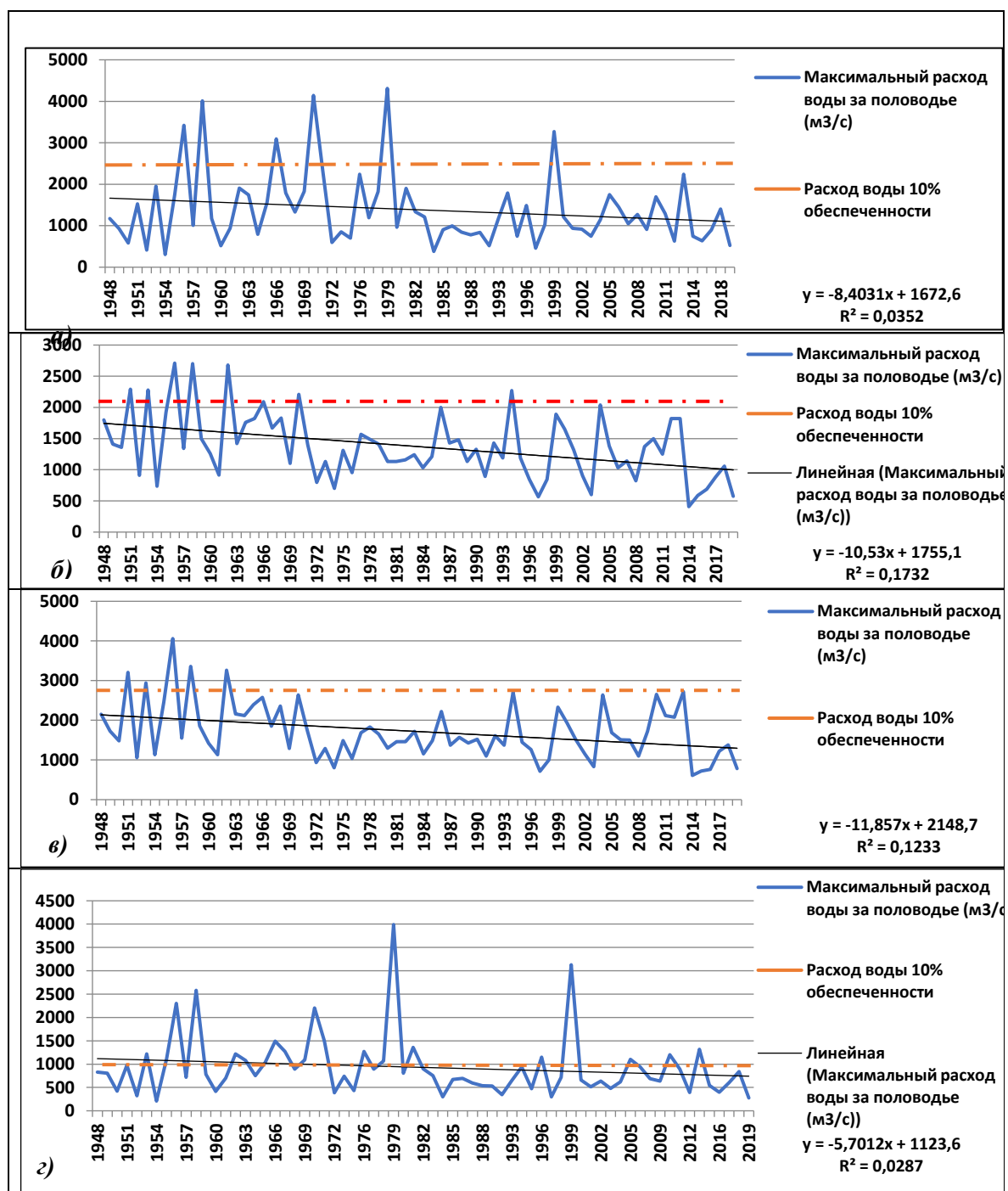


Рис. 2. Динамика максимального стока за период 1989-2018 гг. по створам:
 а – р. Западная Двина г. Витебск, б – р. Западная Двина г. Полоцк, в – р. Припять
 г. Мозырь, г – р. Припять д. Черничи [5,6]

В таблице 2 приведены данные по статистическим параметрам максимального стока рек Западная Двина и Припять за два многолетних периода (современный и базовый).

Таблица 2

Статистические параметры максимального стока рек Западная Двина и Припять, и их сравнительная оценка за базовый и современный периоды [7]

Река/пост	Периоды	Годы	Средние значения Q , м ³ /с	ΔQ , %	σ_2^2/σ_1^2
р. Западная Двина – г. Витебск	базовый	1948-1988	1519	-23	0,8
	современный	1989-2019	1175		
р. Западная Двина – г. Полоцк	базовый	1948-1988	1864	-19	0,72
	современный	1989-2019	1520		
р. Припять – г. Мозырь	базовый	1948-1988	1532	-24	0,34
	современный	1989-2019	1170		
р. Припять – д. Черничи	базовый	1948-1988	1033	-25	0,6
	современный	1989-2019	777		

Примечание. ΔQ , % - изменение максимального стока в современный период по отношению к базовому; σ_2^2/σ_1^2 - дисперсия максимальных расходов воды в современный и базовый периоды

Анализ статистической значимости многолетних линейных трендов максимального стока, средних значений, дисперсий климатообусловленных изменений стока двух сравниваемых периодов, выявил ряд закономерностей:

- средние даты наступления максимальных расходов воды весеннего половодья в современном периоде сдвинулись на более ранние сроки (71,5% случаев пик половодий приходится на третью декаду марта). Причиной смещения дат пиков половодий послужили изменения климатических условий.

- произошло существенное снижение максимальных расходов воды и их изменчивости. В результате уменьшилась повторяемость наибольших расходов воды малой обеспеченности (в качестве критерия, было принято число лет с превышением расхода 10 %-й эмпирической обеспеченности). В условиях происходящих климатических изменений опасность весенних наводнений снизилась.

Основная причина, вызвавшая уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси, носит природный характер и в меньшей степени связана с антропогенными воздействиями. Наименьшие изменения максимальных расходов воды весеннего половодья произошли в бассейне Припяти. Это объясняется большой степенью мелиорированности водосбора, обеспечивающей компенсацию влияния природных факторов, вызывающих уменьшение стока.

Следует отметить, что уменьшение стока весеннего половодья в современных условиях изменения климата не исключает возможности формирования крупных наводнений в отдельные годы и, следовательно, экономического и экологического ущерба.

Библиографические ссылки

1. *Волчек А. А.* Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата /А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. Ф. Булак; под общей ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. Бресь: Альтернатива, 2017. 228 с.
2. *Логинов В. Ф.* Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, - Минск.: Беларуская навука, 2014. 244 с.
3. *Логинов В. Ф.* Западная Двина – Даугава: река и время. / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Л. Л. Лякмунд и др. – Минск: Беларуская навука, 2006. 270 с.
4. *Калинин М. Ю.* Оценка состояния водных ресурсов бассейнов рек Западная Двина и Неман в Республике Беларусь. / М. Ю. Калинина, А. В. Пахомов. Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно- исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов – Минск: Белсэнс, 2008. 60 с.
5. Архивные данные Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Республики Беларусь.
6. Государственный водный кадастр [Информационный ресурс]: Данные о режиме и ресурсах поверхностных вод Республики Беларусь, № свид-ва 0870100020 / Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. Минск.
7. *Рябый Я. А., Новик А. А.* Закономерности формирования максимального стока реки Западной Двины // Международная научно-практ. конференция «Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов» 22–24 марта 2023 года, г. Минск, ЦНИКИИВР, Минск, 2023. С. 25-28.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ

С. А. Солдатенко

*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия, soldatenko@aari.ru*

Рассмотрена проблема управления климатическими рисками в условиях беспрецедентного по масштабам и темпам изменения климата Земли. Обсуждены возможные направления применения технологий искусственного интеллекта в задачах прогнозирования климата, оценки уязвимости природных и антропогенных систем к изменению климата, и климатического риск-менеджмента в целом. Отмечено, что получение количественных оценок степени влияния изменения климата на различные системы (природные, социальные, экономические, технические и др.) невозможно без построения адекватных математических моделей этих систем и исследования их чувствительности в пространстве параметров, в число которых входят климатические переменные. На наш взгляд, модели, построенные на основе технологий ИИ, не могут самостоятельно решить весь спектр задач, нацеленных на оценку и управление климатическими рисками и разработку стратегий адаптации к изменению климата, но могут рассматриваться в качестве дополнительного рабочего инструмента в руках экспертного сообщества.

Ключевые слова: искусственный интеллект; климатические риски; изменение климата; уязвимость систем.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLIMATE RISK MANAGEMENT

S. A. Soldatenko

*Arctic and Antarctic Research Institute,
St. Petersburg, Russian Federation, soldatenko@aari.ru*

The issue of climate risk management is discussed, given the unprecedented scale and pace of Earth climate change. Areas of possible application of artificial intelligence technologies in climate prediction, assessing the vulnerability of natural and anthropogenic systems to climate change, and climate risk management in general were disputed. It is noted that obtaining quantitative estimates of the degree of influence of climate change on various systems (natural, social, economic, technical, etc.) is impossible without constructing adequate mathematical models of these systems and studying their sensitivity in the space of parameters, which include climate variables. In our opinion, models built on the basis of AI technologies cannot independently solve the problems of assessing climate risks and developing adaptation strategies, but can be considered as an additional tool in the hands of the expert community.

Keywords: artificial intelligence; climate risks; climate change; system vulnerability.

По мере многовекового развития человеческого общества неизбежно возникали социальные и природные феномены и проблемы, которые первоначально носили локальный характер и затрагивали интересы отдельных людей, племен, народов, стран, регионов. С течением времени спектр проблем менялся, а глубина некоторых из них постепенно увеличивалась. На рубеже XX и XXI вв. часть накопленных проблем приобрели беспрецедентные масштабы и охватили всю планету, превратившись, по сути, в цивилизационный вызов. Сложившаяся в мире ситуация, послужившая благоприятным фоном для возникновения глобальных проблем, актуальных для всего человечества и охватывающих практически всю планету, характеризуется резким обострением неравномерности развития общества во всех областях (социальной, экономической, экологической, политической, культурной, научно-технологической, демографической и др.), а также возрастанием процесса интернационализации всей общественной деятельности, всемирной экономической, политической, культурной интеграции и унификации.

Причины глобальных проблем скрыты в противоречиях между человеческой культурой и самой природой. Как самоорганизующийся организм природа регулируется посредством отрицательных обратных связей, которые ей присущи, и поэтому имеет тенденцию находиться в некотором равновесном состоянии. В отличие от природы, в человеческом обществе, как системе, превалируют положительные обратные связи, сопровождающиеся нестабильностью системы, приводящей к экстремальным состояниям. К числу наиболее важных проблем современности, переросших в кризисное состояние планетарного масштаба, относится кризис экологический, включающий в качестве основной компоненты проблему изменения глобального климата [1]. Результаты исследований, выполненных в 1960-1970-е гг. по заказу Римского клуба, стали основой зарождения концепции устойчивого развития, рассматриваемой мировым сообществом как безальтернативную парадигму развития человечества и планеты. Под устойчивым развитием понимается процесс социально-экономических изменений, когда ресурсы планеты, финансовые потоки, организация технического прогресса, институциональные изменения и развитие личности гармонично согласованы между собой и обеспечивают удовлетворение человеческих потребностей и устремлений.

В 2015 г. Генеральной ассамблеей ООН сформулированы 17 целей в области устойчивого развития, названные «Повесткой дня на период до 2030 года». В качестве одной из целей названа борьба с изменением климата.

Достижение данной цели предполагает реализацию многочисленных многовекторных мероприятий, способствующих стабилизации состояния земной климатической системы. Данная задача, прямо скажем, является глобальной по своему характеру и вряд ли кто-нибудь сегодня осмелится сказать, что она будет успешно решена. Поскольку предотвратить изменение климата, которое происходит в сторону потепления, мы не имеем реальной возможности, возникает проблема адаптации к этим изменениям. В этом контексте на передний план выдвигаются задачи, связанные с оценкой уязвимости природных и антропогенных систем к изменению климата и управлением климатическими рисками.

Несмотря на то, что в Российской Федерации (РФ) реализуется Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата до 2025 года», утвержденный федеральным Правительством, следует констатировать, что подавляющее большинство исследований и разработок, выполняемых в рамках данного плана и касающихся всех аспектов климатического риск-менеджмента, включая оценку уязвимости различных систем к изменению климата и разработку предложений по их адаптации к изменению климата, носят характер качественных рассуждений. На наш взгляд, количественный подход к проблеме климатического риск-менеджмента невозможен без построения адекватных математических моделей социально-экономических систем, в число параметров которых должны входить климатические переменные и их производные. Тогда количественно оценить степень влияния изменения климата на эффективность функционирования систем возможно на основе методов теории чувствительности динамических систем.

Однозначной трактовки сущности риска не существует, поскольку риск всегда связан с субъектом и решениями, которые тот принимает, поэтому для определения риска используются достаточно много формулировок. Однако есть одно общее свойство, которое подразумевается, явно или неявно, практически во всех этих определениях — риск всегда связан с неопределенностью будущих событий и является следствием принимаемых решений субъектом оценки. Ясно, что будущее мы предвидеть не можем, а можем лишь оценить с определенной долей вероятности. Отсюда вытекает вероятностная природа риска. Обычно риск связывают с неопределенностью конечных результатов целенаправленной деятельности субъекта (результатов проекта), которая обусловлена событиями, имеющими малую повторяемость, но значительные последствия для субъекта (результатов). Именно поэтому в большинстве случаев в качестве количественной меры риска R принимается сочетание вероятности наступления неблагоприятного события P и потерь (ущерба) X , обусловленных этим

событием, т. е. $R = P \times X$. При этом риск R выражается в тех же показателях, что и ущерб X . Попутно отметим, что термин «риск» происходит от латинского «*risicare*», что означает «решиться».

Погодно-климатические риски — относительно новый вид рисков, порожденный глобальными климатическими изменениями, происходящими особенно интенсивно в последние несколько десятилетий на нашей планете. Основным источником этих рисков (факторами риска) являются изменения, происходящие в земной климатической системе вследствие естественных и антропогенных причин. Изменение климата непосредственно и опосредованно влияет на функционирование многих природных и антропогенных систем.

На сегодняшний день существуют четыре основных метода идентификации климатических рисков, которые основаны, соответственно, на (I) оценке уязвимости систем к изменению климата; (II) оценке влияния изменения климата на системы; (III) оценке адаптационных возможностей систем; (IV) интегральном подходе к оценке.

Существуют области человеческой деятельности (например, страховая и финансовая отрасли, национальная безопасность, ядерная безопасность, медицина и здоровье человека), в которых понятие риска используется в течение многих десятилетий. Имеются соответствующие разработки и методики, на основе которых риск оценивается и управляется. Однако, эти знания применительно к проблеме анализа и оценки климатических рисков используются в малой степени ввиду того, что эксперты, работающие, в области изучения изменения климата, и эксперты в области корпоративного риск-менеджмента, финансовом и страхом секторах, национальной безопасности, слабо взаимодействуют между собой. При этом следует учитывать, что проблема оценки климатических рисков достаточно специфична. Специфика этой проблемы состоит в том, что анализируя и оценивая климатические риски, мы должны исходить из целостного взгляда на проблему и рассматривать в тесной взаимосвязи сценарии эмиссий парниковых газов в обозримой перспективе, изменения, происходящие в климатической системе и агрегированную стоимость последствий предполагаемого изменения климата.

При рассмотрении проблемы управления климатическими рисками на территории РФ необходимо принимать во внимание несколько важных обстоятельств [2-4]. Прежде всего, надо иметь ввиду, что скорость происходящих изменений климата на рассматриваемой территории значительно превосходит планетарные показатели. Далее, планы социально-экономического развития страны предполагают реализацию многочисленных проектов, поэтому в различных частях РФ ожидается появление новых видов экономической деятельности. Далее, огромная территория РФ включает в

себя несколько природных зон, причем в некоторых из них природно-климатических условия являются экстремальными и имеют существенную вариативность при движении с запада на восток и с юга на север. Поэтому для решения задач климатического риск-менеджмента необходимо синтезировать цифровую карту, которая отражает климатическое районирование и функциональное зонирование территории страны. На этой основе должна быть сформирована для каждой территориальной единицы информационная база данных, включающая в себя:

- характеристики природно-географических, метеорологических и гидрологических условий;
- ретроспективную и текущую климатическую информацию, а также климатические прогнозы (глобальные и региональные);
- экологическую информацию, в том числе экологические индикаторы, характеризующие состояние экосистем;
- социально-экономическую информацию (ретроспективную, на настоящий момент времени и прогностические оценки), в том числе перечень основных видов социально-экономической деятельности и реестр систем, функционирование которых может зависеть от погодно-климатических условий.

На основе комплексной информации, содержащейся в базе данных, для каждой системы, находящейся в сфере влияния рассматриваемой территориальной единицы, формируется риск-среда, представляющая собой вербальное (качественное) описание внешней по отношению к рассматриваемой системе окружающей среды, ограничений, накладываемых окружающей средой на функционирование системы, а также реакции системы на неблагоприятные условия окружающей среды.

По мнению многих экспертов искусственный интеллект (ИИ), как революционная технологическая парадигма, имеет большой потенциал для оценки, прогнозирования и управления рисками изменения климата, что достигается за счет крайне эффективного использования данных и алгоритмов обучения. В сочетании с классическими моделями земной климатической системы и традиционными подходами к риск-менеджменту, модели, построенные на основе технологий ИИ, могут рассматриваться в качестве дополнительного инструмента в руках специалистов при решении всего спектра задач климатического риск-менеджмента.

К основным сферам применения ИИ для решения задач климатического риск-менеджмента можно отнести:

- разработку прогностических математических моделей природных систем, начиная от цифровых двойников планеты Земля и заканчивая опасными климатическими явлениями;
- анализ временных рядов климатических полей;

- анализ и вторичная обработка выходной продукции прогностических моделей;
- разработку прогностических моделей опасных природно-климатических явлений;
- разработку моделей социально-экономических систем;
- оценку уязвимости природных и антропогенных систем к изменению климата;
- оценку климатических рисков для конкретного сектора экономики, населения конкретного региона, той или иной природной или антропогенной системы.

Наш опыт разработки математических моделей природных и антропогенных систем в том числе с применением технологий ИИ, оценки уязвимости систем к изменению климата и анализу климатических рисков показывает, что ИИ — эффективный и очень мощный инструмент моделирования. Но природные системы подчиняются довольно сложным законам мироздания, воспроизвести которые «черный ящик» вряд ли способен. Таким образом, ИИ следует рассматривать как один из инструментов моделирования, анализа и получения оценок. Вполне возможно, что с появлением сильного ИИ ситуация изменится.

Данная работа выполняется в рамках российско-белорусского проекта «Разработка методов климатического и сверхдолгосрочного прогнозирования погоды для территории Беларуси и России с использованием технологий искусственного интеллекта» (проект РНФ 23–47–10003).

Библиографические ссылки

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации /под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. – 676 с.
3. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации /под ред. В. М. Катцова и С.М. Семенова; М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с.
4. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Под ред. В.М. Катцова. Санкт-Петербург: ГГО имени А. И. Воейкова. 2017. 106 с.

СОВРЕМЕННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ ВЕГЕТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Е. Н. Сумак^{1,2)}, В. В. Капусто¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет ²⁾Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды г. Минск, Республика Беларусь, katyasbelarus@gmail.com

Спутниковые вегетационные индексы широко используются в агромониторинге, позволяя оценивать состояние растительного покрова, влагосодержание почвы, содержание хлорофилла в растениях, проводить мониторинг засушливых условий. Анализ динамики вегетационных индексов предоставляет информацию о начале, продолжительности и интенсивности засухи путем фиксации изменений в растительном покрове и их сравнения с многолетними значениями. Эффективность вегетационных индексов определяется особенностями отражения и поглощения электромагнитного излучения растительностью. В данном исследовании проведен анализ временных рядов нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI на территории Беларуси в теплые сезоны (апрель-сентябрь) за период 1994-2023 гг. Выявлена пространственно-временная динамика развития растительного покрова, внутригодовая изменчивость, проведена оценка сезонных изменений на различных стадиях вегетационного периода в зависимости от метеорологических условий в условиях современного потепления климата.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг; вегетационный индекс NDVI; вегетационные условия; растительный покров.

MODERN CLIMATOLOGY OF VEGETATION CONDITIONS IN THE TERRITORY OF BELARUS

К. Sumak^{1,2)}, V. Kapusto¹⁾

¹⁾Belarusian State University, ²⁾Republican center for hydrometeorology, control of radioactive contamination and environmental monitoring, Minsk, Republic of Belarus, katyasbelarus@gmail.com

Satellite vegetation indices are widely used in agricultural monitoring, allowing to assess the state of vegetation cover, soil moisture content, chlorophyll content in vegetation, and to monitor arid conditions. The analysis of the dynamics of vegetation indices provides information on the start, duration and intensity of drought by recording changes in vegetation cover and comparing them with long-term values. The effectiveness of vegetation indices is determined by the peculiarities of reflection and absorption of electromagnetic radiation by vegetation. In this study analyses the time series of the normalized difference vegetation index NDVI on the territory of Belarus in the warm seasons (April-September) for the period 1994-2023. The spatial and temporal dynamics of vegetation cover development, intraannual variability was revealed, and seasonal changes at various stages of the growing season were assessed depending on meteorological conditions under the modern climate warming.

Keywords: satellite monitoring; vegetation index NDVI; vegetation conditions; vegetation cover

На фоне глобального потепления в мире участились случаи засух, что привело к неурожаю, нехватке продовольствия, более частым, масштабным и сильным лесным пожарам, что в свою очередь серьезно отразилось на социально-экономическом развитии многих стран и сельскохозяйственном производстве. Ожидается, что интенсивность и продолжительность сильных засух в мире в будущем продолжит расти.

Проблема мониторинга и прогнозирования засушливых явлений, особенно с учетом наблюдаемых изменений климата, является неизменно актуальной как в научных исследованиях, так и при решении прикладных задач. Засуха является одним из крупнейших стихийных бедствий для человечества. Прогнозируется, что в долгосрочной перспективе глобальная температура продолжит повышаться, увеличится пространственно-временная неравномерность выпадения осадков, что приведет к дальнейшему увеличению риска засух в засушливых регионах.

Несмотря на то, что территория Беларуси расположена в зоне достаточного увлажнения, временная и пространственная неравномерность распределения атмосферных осадков по ее территории обуславливает образование засушливых периодов различной продолжительности. Засуха в республике может возникать ежегодно, в любое время с апреля по сентябрь.

В конце XX-начале XXI вв. в Беларуси повторяемость засушливых явлений значительно участилась, особенно в южных регионах страны. Значительные последствия для экономики государства имели засухи 1990, 1992, 1994-1997, 2001, 2002, 2004, 2006, 2009, 2010, 2012, 2015, 2018 гг. [1; 2]. Дефицит осадков сопровождался повышенным температурным режимом, что усилило неблагоприятные хозяйственные последствия [3].

Бурное развитие космических технологий в последние десятилетия привело к появлению многочисленных видов продукции дистанционного зондирования Земли из космоса, некоторые из которых с успехом могут применяться для оценки засушливых условий — это так называемые вегетационные индексы, характеризующие состояние растительности в зависимости от ее спектральной отражающей способности [4; 5]. Как правило, используется красная зона электромагнитного спектра (0,62-0,75 мкм), на которую приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а также ближняя инфракрасная зона (0,75-1,30 мкм), в которой наблюдается максимальное отражение солнечной энергии внутренней клеточной структурой листа. Следует отметить, что все вегетационные индексы, так, или иначе, зависят от состояния атмосферы и подстилающей

поверхности, а также характеристик сенсора спутника, поэтому их использование может требовать предварительного этапа интерпретации с привлечением данных наземных наблюдений.

Наиболее известный и широко применяемый вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) построен на разности измеренных значений интенсивности отраженного излучения в красном и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах, нормированных на сумму этих величин [5]. Для растительности индекс принимает значения от 0,2 до 0,8, при этом, чем больше зеленая фитомасса, тем больше значение индекса, таким образом, индекс позволяет выявлять стресс растительности, связанный с засухой. Как правило, индекс NDVI рассчитывается за восьми- или десятидневный период с целью уменьшения погрешностей от облачности, при этом имеет очень высокое разрешение и большой пространственный охват.

Целью данного исследования является оценка условий вегетации на территории Беларуси в теплые сезоны (апрель-сентябрь) за период 1994-2023 гг. с использованием вегетационного индекса NDVI.

В качестве исходных данных использовались еженедельные значения NDVI, полученные из базы данных NOAA STAR (Center for Satellite Applications and Research) – Global Vegetation Health Products (<https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH>), осредненные по шести регионам страны.

Выявлено, что за последние 30 лет вегетационные периоды в стране характеризовались чередованием сухих и влажных годов с различным температурным режимом. Анализ временных рядов значений NDVI показал, что в весенние месяцы во всех регионах страны была отмечена тенденция к увеличению индекса, особенно в апреле, на 10-20 %, т. е. в конце периода исследования растительность весной была более развита, чем в конце XX в. Таким образом, агроклиматические условия на протяжении последних 30-ти лет улучшались.

Пик развития вегетирующей растительности приходился на июнь месяц, когда значения колебались от 0,45 до 0,51, минимум — в Минской и Могилевской областях (0,4). В июле и августе в среднем по стране значения индекса существенно не изменялись и колебались от 0,42 до 0,48, лишь в августе 1994, 2000, 2002 и 2008 гг. значения NDVI снижались до 0,34-0,39, что свидетельствует об уменьшении содержания воды и общем увядании растительного покрова в указанные годы в конце лета.

В начале осени (сентябрь) самые низкие значения NDVI отмечались в 2002 и 2008 гг. в большинстве регионов страны — 0,26-0,3, как косвенный фактор начала ранней осени в эти годы и последствий экстремальной

засухи. В 2005, 2011 гг. наблюдались благоприятные условия для вегетации растительности, значения индекса достигали 0,41-0,42.

Таким образом, оценка спутникового нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI позволила выявить пространственно-временную динамику развития растительного покрова, внутригодовую изменчивость, оценить сезонные изменения на различных стадиях вегетационного периода в зависимости от метеорологических условий на территории Беларуси в условиях современного потепления климата.

Библиографические ссылки

1. *Логинов В. Ф., Сачок Г. И., Микуцкий В. С., Мельник В. И., Коляда В. В.* Изменения климата Беларуси и их последствия. Минск : Тонпик, 2003. 330 с.
2. *Блетько В. А., Мельчакова Н. В.* Засухи в Беларуси // Родная прырода. 2019. № 8. С. 16-18.
3. *Герменчук М. Г.* Климат Республики Беларусь в 2015 году. Минск : Белгидромет, 2016. 32 с.
4. *Хлебникова Е. И., Павлова Т. В., Сперанская Н. А.* Засухи. В: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Москва : Росгидромет, 2012. С. 126-164.
5. Handbook of Drought Indicators and Indices. WMO/GWP Integrated Drought Management Programme (IDMP) [Electronic resource]. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden, 2016. № 1173. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3057 (date of access: 12.01.2024).

УДК 502.211:502.17; 502.13(1-751.1)

ТЕПЛОВОЙ И ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ АЦИДОТРОФНЫХ ОЗЕР БЕЛАРУСИ

Н. Ю. Суховило

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика
Беларусь, sukhoviloNY@bsu.by*

Анализ теплового режима показал усиление термической стратификации в среднеглубоких стратифицированных ацидотрофных озерах. Изменения в газовом режиме проявляются в появлении зон аноксии с сероводородом у дна в стратифицированных водоемах и снижении концентрации растворенного кислорода у дна в нестратифицированных.

Ключевые слова: ацидотрофное озеро; температура воды; термическая устойчивость; растворенный кислород; аноксия.

THERMAL AND GAS REGIME OF ACIDOTROPHIC BELARUSIAN LAKES

N. Yu. Sukhovilo

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus, sukhoviloNY@bsu.by

Analysis of the thermal regime showed an enhance in thermal stratification in medium-deep stratified acidotrophic lakes. Changes in the gas regime are expressed in the appearance of anoxia zones with hydrogen sulfide at the bottom in stratified lakes and a decrease in the concentration of dissolved oxygen at the bottom in non-stratified ones.

Keywords: acidotrophic lake, water temperature, thermal stability, dissolved oxygen, anoxia.

В уникальных для Беларуси ацидотрофных озерах, характеризующихся небольшими площадями акваторий и водосборов, обладающих низкой минерализацией воды и концентрацией других растворенных веществ [1], именно температура воды является фактором, во многом определяющим протекание внутриводоемных процессов.

Географическое положение (рисунок 1) исследуемых озер в умеренном климатическом поясе обуславливает наличие 5 фаз термического режима: весеннего нагревания, весенне-летнего нагревания, осеннего охлаждения, зимнего охлаждения и зимнего нагревания.

Климатические изменения, вызывающие более сильный летний прогрев воды, в сочетании с другими благоприятными факторами могут представлять опасность для озер, связанную с перестройкой лимнических процессов.

Несмотря на схожие зональные условия формирования теплового режима озер, существуют различия, обусловленные морфометрическими особенностями котловин. К стратифицированным среди исследуемых озер относятся Ильгиния, Глубокое, Белое (Полоцкий район), Белое (Лунинецкий район), Свитязь. Нестратифицированными водоемами являются Бредно, Чербомысло, Большое Островито. В них даже в жаркую погоду наблюдается состояние, близкое к гомотермии.



Рис. 1. Картограмма расположения объектов исследования

В озерах, глубина которых превышает 10 м, температурная и кислородная стратификация выражены четко, что можно увидеть на рисунке 2 на примере озера Ильгиния. Из рисунка видно, что 03.08.2023 эпилимнион в озере Ильгиния достигал мощности 4 м. Температура воды в нем менялась слабо: с 22,2 °С у поверхности до 21,8 °С у нижней границы. Ниже располагался металимнион, занимавший глубины до 10 м. Температура воды в нем снижалась до 7,2 °С. Гиполимнион с температурами 7,2–5,4 °С располагался на глубинах 10–15,6 м. Растворенный кислород отсутствовал глубже 8 м, начиная с глубины 9 м вода приобрела запах сероводорода, который ко дну усиливался. Аналогичные явления отмечались летом 2022 и 2023 гг. в озерах Свитязь на глубинах более 9 м и Белое (Лунинецкий район) на глубинах свыше 13 м.

Единственное стратифицированное озеро с относительно благоприятным кислородным режимом в летнюю стагнацию — Глубокое, где

06.08.2023 при ярко выраженной температурной стратификации с перепадом температур от поверхности ко дну 14,4 °С концентрация растворенного кислорода у дна не опускалась ниже 6,3 мг/дм³, что соответствует 54 % насыщения.

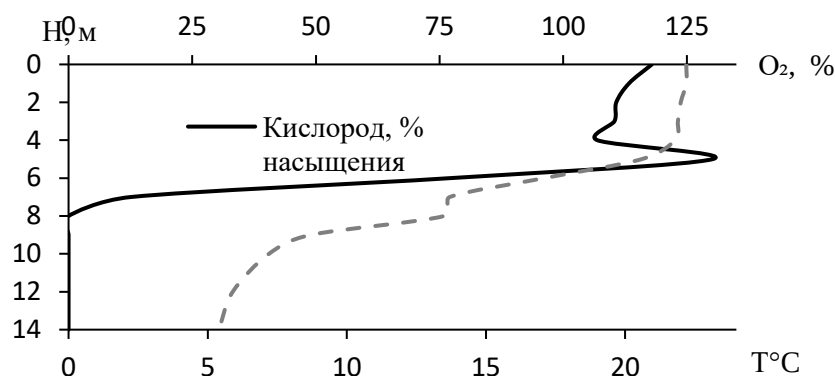


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды и растворенного кислорода в озере Ильгиния 03.08.2023

Примером нестратифицированных озер является озеро Чербомысло. Общий перепад температур между поверхностью воды и придонным слоем на глубине 5 м составлял всего 1,1 °С, как показано на рисунке 3 [2]. Несмотря на отсутствие термической стратификации, содержание растворенного кислорода на глубинах 4–5 м резко снижалось. Это может быть объяснено его потреблением на разложение органического вещества в придонном слое.

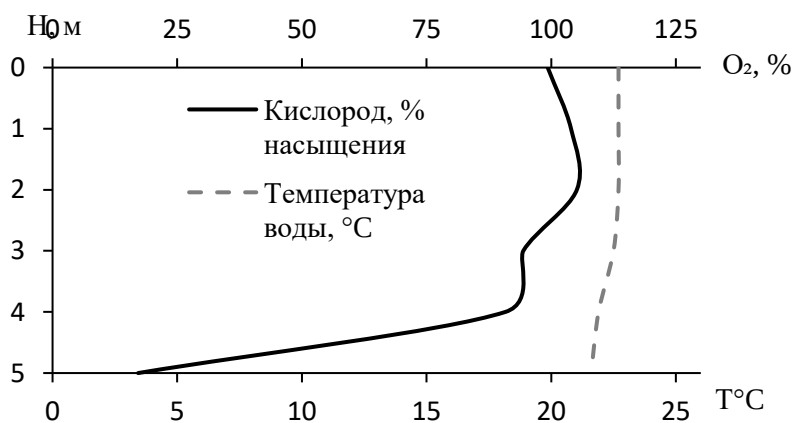


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры воды и растворенного кислорода в озере Чербомысло 28.07.2022

Важным параметром, влияющим на скорость перемешивания, является устойчивость водной массы. Общая устойчивость озер определяется

как работа, которую необходимо совершить для перевода озера в состояние гомотермии в адиабатических условиях. На рисунке 4 представлен график зависимости термической устойчивости водной массы от глубины водоема.

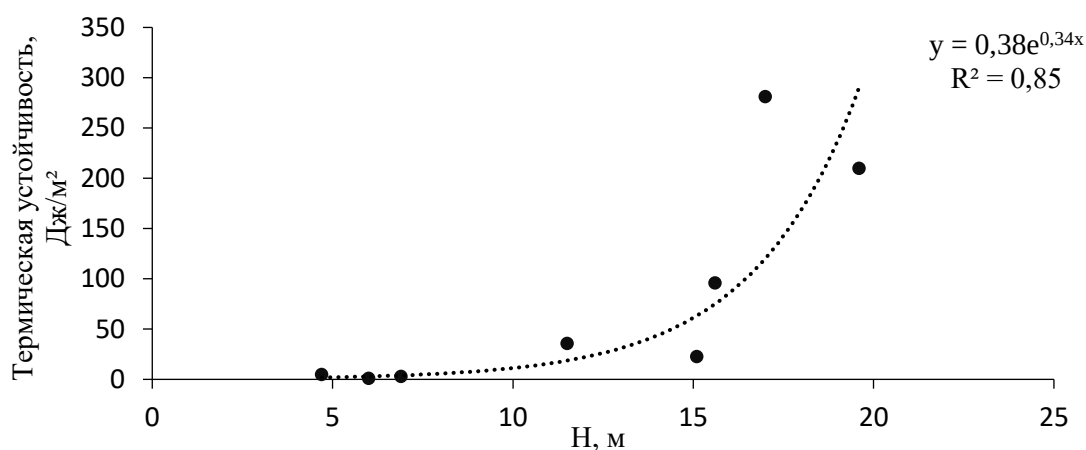


Рис. 4. Зависимость термической устойчивости водной массы от максимальной глубины озера

Выявленная зависимость носит экспоненциальный характер с корреляционным отношением 0,76 и достоверностью аппроксимации 0,85. Максимальная термическая устойчивость водной массы во время наблюдений за температурой воды до 2022 г. была зафиксирована в озере Белое (Лунинецкий район). Ее величина достигала 270 Дж/м². Несмотря на более значительную глубину озера Белого (Полоцкий район), термическая устойчивость его водной массы была ниже и составляла 196 Дж/м². Это связано с лучшими условиями вертикального и горизонтального водообмена вследствие большой площади водной поверхности, различающейся для этих водоемов в 4,5 раза. В мелководных нестратифицированных озерах термическая устойчивость была близка к нулю. Так, в озере Бредно ее величина составила 2 Дж/м², в озере Чербомысло — 0,83 Дж/м².

Следует отметить, что за период потепления климата в большинстве озер термическая устойчивость возросла, как показано на рисунке 5. Исключение составляют озера Свитязь, полевые исследования на котором проходили при невысокой температуре воздуха около +18 °С, а также Чербомысло, на котором в период проведения полевых работ происходило ветровое перемешивание. В нестратифицированных озерах Бредно и Большое Островито термическая устойчивость изменилась несущественно, в озере Глубокое возросла в 3 раза (с 11,87 до 35,64 Дж/м²), в озере Белое (Лунинецкий район) достигла 281,3 Дж/м² [3].

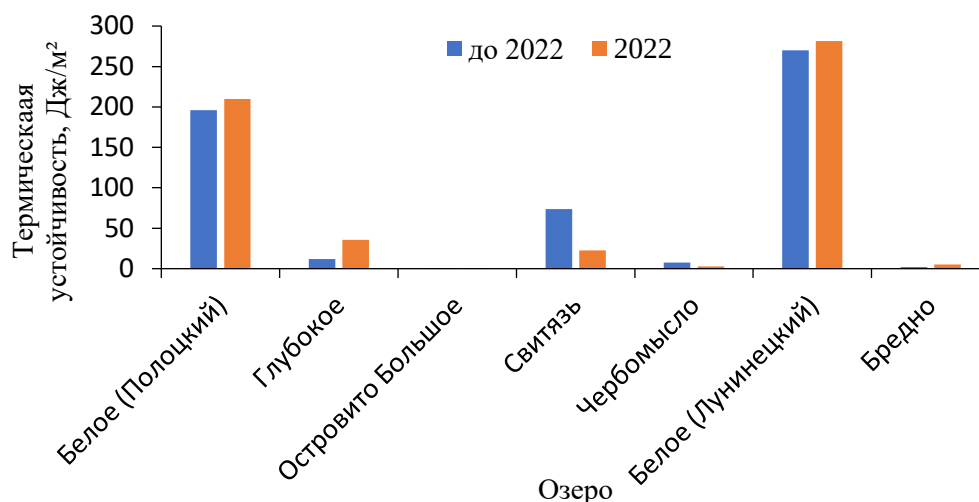


Рис. 5. Изменение термической устойчивости в исследуемых озерах

В настоящее время одним из главных последствий роста температур воды в озерах является изменение их газового режима. Если температурная стратификация в мелководных озерах с малой площадью водной поверхности появляется только при очень жаркой безветренной погоде, то кислородная стратификация весьма четко выражена во всех исследуемых озерах, кроме озер Глубокое и Белое (Полоцкий район), где летом 2022 г. на глубине 18 м концентрация кислорода составила 9,4 мг/дм³, что соответствует 79,2 % насыщения, однако в 2023 г. глубже 12 м кислород отсутствовал. Это свидетельствует о неустойчивости его газового режима. Для его улучшения при жаркой антициклонической погоде рекомендуется проводить аэрацию водной массы.

Библиографические ссылки

1. Озера Беларуси: Справочник. / Б. П. Власов [и др.] // Минск: БГУ, 2004. 284 с.
2. Гидрохимический режим ацидотрофных озер Беларуси в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки / Н. Ю. Суховило, А. И. Мороз, А. А. Новик, Д. Б. Власова // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2023. № 2. С. 47-58.
3. Уязвимость экосистем ацидотрофных озер Беларуси – мест обитания охраняемых видов флоры и фауны – к климатическим изменениям: отчет о НИР (промежут.) / БГУ; рук. Н. Ю. Суховило. Минск, 2023. 76 с. № ГР 20221196.

УДК 551.524

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ СДВИГА ВЕТРА В МЕЖДУНАРОДНОМ АЭРОПОРТУ ГОРОДА МУРМАНСКА

А. О. Фисенко, О. В. Волобуева

*Российский государственный гидрометеорологический университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, Arinafisenko07@icloud.com*

В статье представлен анализ случаев сдвига ветра на аэродроме Мурманска за период 2020-2023 гг. Рассмотрена связь сдвига ветра с распределением температуры по высоте (наличие/отсутствие инверсии), а также проанализированы синоптические ситуации, приводящие к образованию сдвига ветра на аэродроме Мурманска.

Ключевые слова: сдвиг ветра; безопасность полетов; умеренная интенсивность; синоптическая ситуация; атмосфера.

INVESTIGATION OF THE CONDITIONS OF WIND SHEAR FORMATION AT THE MURMANSK INTERNATIONAL AIRPORT

A. O. Fisenko, O. V. Volobueva

*Russian State Hydrometeorological University
Saint Petersburg, Russian Federation, Arinafisenko07@icloud.com*

The article presents an analysis of cases of wind shear at the Murmansk airfield for the period 2020-2023. The connection between wind shear and temperature distribution along the height (presence/absence of inversion) is considered, and synoptic situations leading to the formation of wind shear at the Murmansk airfield are analyzed.

Keywords: wind shear; flight safety; moderate intensity; synoptic situation; atmosphere.

Сдвиг ветра — это внезапное и невидимое явления, которое делят на горизонтальный и вертикальный. Изменение ветра с высотой по вертикали на 30 метров — это показатель ветрикального сдвига ветра (WS). Изменение ветра по горизонтали на 600 метров — это показатель горизонтального сдвига ветра (WS) [1, с. 97].

В работе проанализированы случаи сдвига ветра по данным бортовой погоды АМСГ Мурманск в период 2020 по 2023 гг. [2]. Всего было зафиксировано 83 случая со сдвигом ветра, которые наблюдались в течение 67 дней (рис.1).

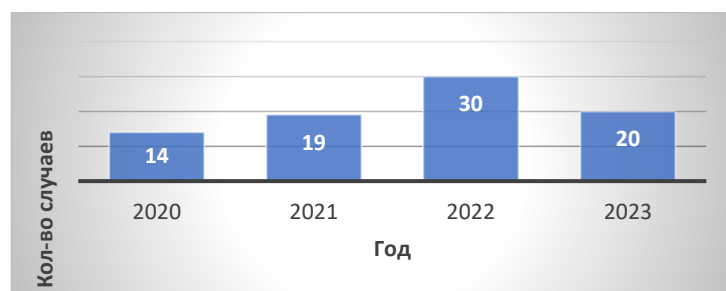


Рис. 1. Количество случаев сдвига ветра за период 2020 по 2023 гг.

На рисунке 1 представлено распределение случаев сдвига ветра за исследуемый период. Максимальное количество приходится на 2022 г. (30 случаев), минимальное количество случаев сдвига ветра наблюдалось в 2020 г., что можно объяснить уменьшением количества полетов воздушных судов в связи с пандемией COVID-19. Также были проанализированы случаи сдвига ветра по интенсивности (рис.2).

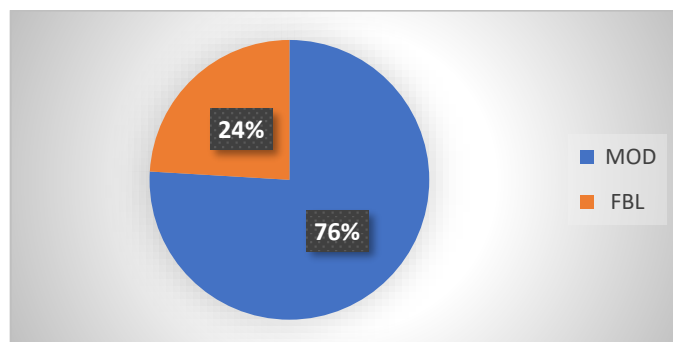


Рис. 2. Повторяемость случаев сдвига ветра различной интенсивности за период с 2020 по 2023 гг.

Анализируя рисунок 2, можно отметить, что за весь рассматриваемый период преобладала умеренная интенсивность сдвига ветра, повторяемость составила 76 %. На слабый сдвиг приходится 24 %, сдвиг ветра сильной интенсивности наблюдался только один раз. Сезонное распределение случаев сдвига ветра представлено на рисунке 3.

При рассмотрении случаев сдвига ветра по сезонам (рис. 3), можно отметить, что умеренная интенсивность имеет максимальную повторяемость в феврале (10 случаев), а также преобладает в зимне-весенний период (46 случаев).

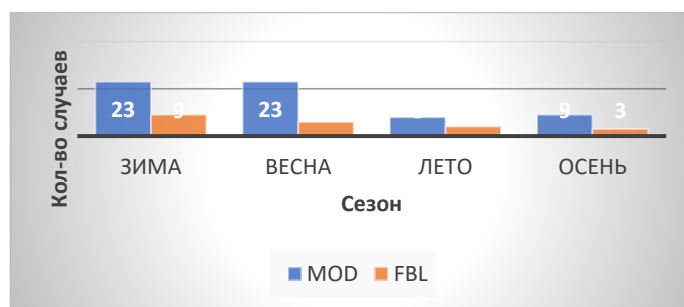


Рис. 3. Количество случаев сдвига ветра по интенсивности по сезонам за период с 2020 по 2023 гг.

Подобное распределение мы наблюдаем и со сдвигом ветра со слабой интенсивностью. Максимум приходится на февраль (6 случаев) и в зимне-весенний период (13 случаев).

В приземном слое на высотах до 100 метров от поверхности земли отмечаются наиболее сильные сдвиги ветра. Если скорость встречного ветра в этом слое будет с высотой резко увеличиваться, то при посадке воздушное судно опускается ниже глиссады, а при взлете поднимается выше расчетной траектории. Это может привести к посадке до ВПП и сваливанию воздушного судна. Если же скорость встречного ветра с высотой уменьшается, то при посадке воздушное судно поднимается выше глиссады и из-за этого может выкатиться за пределы ВПП. В подобных условиях при взлете воздушное судно опускается ниже расчетной траектории, что может привести к столкновению с препятствиями вблизи аэродрома. Сдвиг ветра, который приводит к потере высоты, является наиболее опасным для полетов [3, с. 14].

Чаще всего слабые (17 случаев) и умеренные (55 случаев) сдвиги ветра (рис. 4) наблюдались на высотах от земной поверхности до 600 метров (эшелон 020). На высотах от 600 до 1500 метров (между эшелонами 030 и 050) наблюдалось 9 случаев сдвига ветра, из них 3 случая приходится на слабый сдвиг и 6 на умеренный. Выше эшелона 050 (1500 метров) сдвига ветра по данным бортовой погоды не наблюдалось.

За весь изученный период сильный сдвиг ветра в слое от земной поверхности до эшелона 020 (600 метров) зафиксирован единожды 28 августа 2022 г. в 13:23. Синоптическая ситуация в районе аэродрома определялась центром циклона. Наблюдалась разбросанная кучево-дождевая облачность с высотой нижней границы облачности 990 м (BKN033CB).

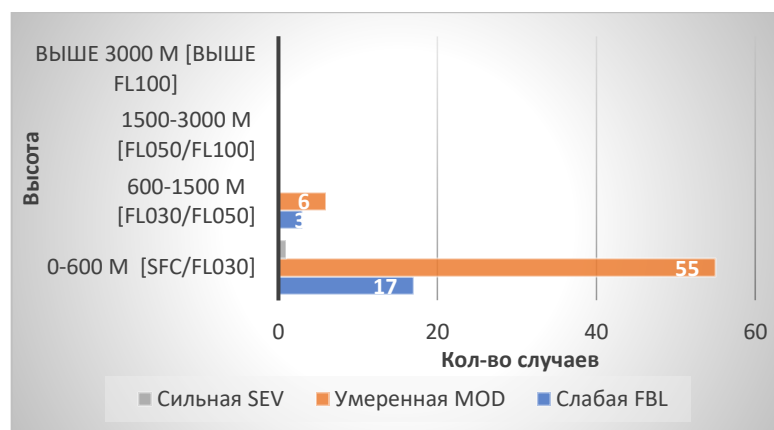


Рис. 4. Повторяемость случаев сдвига ветра по высоте за период 2020-2023 гг.

Также были рассмотрены случаи сдвига ветра при наличии слоя инверсии и при ее отсутствии применительно к различным курсам взлета/посадки (рис. 5) [4], [5, с. 255].

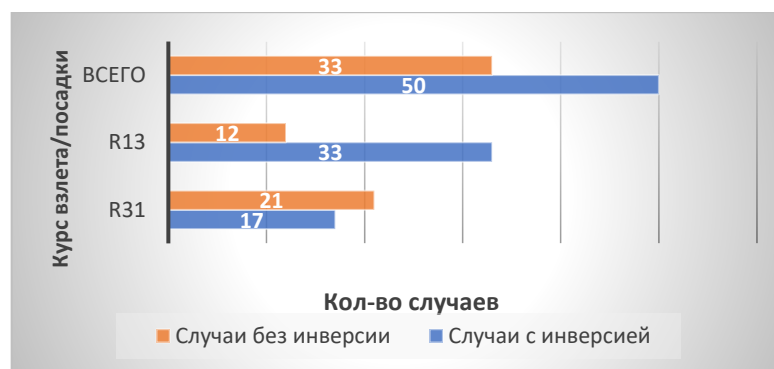


Рис. 5. Количество случаев сдвига ветра (с инверсией/ без инверсии) по курсам взлета/посадки

Проанализировав рисунок 5, можно отметить, что чаще всего (33 случая) сдвиг ветра наблюдался при курсе 130° , температурная инверсия при этом не наблюдалась. Если же инверсия наблюдалась, то чаще сдвиг ветра наблюдался с курсом 310° (21 случай).

Проведя анализ синоптических ситуаций при наличии случаев сдвига ветра на аэродроме Мурманска (рис.6), можно сказать, что наиболее повторяющейся синоптической ситуацией является ложбина и гребень (32 ситуации). В 2022 г. ложбина является преобладающей синоптической ситуацией (14 случаев). В 2023 г. сдвиг ветра чаще наблюдался в барическом гребне (11 случаев).

На рисунке 6 представлено количество случаев сдвига ветра в зависимости от синоптической ситуации за исследуемый период 2020-2023 гг.



Рис. 6. Типовые синоптические ситуации при случаях сдвига ветра на аэродроме Мурманск за период 2020-2023 гг.

Проведя анализ приземных и высотных карт, можно отметить, что наиболее повторяющаяся синоптическая ситуация при возникновении сдвига ветра на аэродроме Мурманска — это ось ложбины и гребень антициклона.

Библиографические ссылки

1. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология. Учебник. СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. 328 с.
2. Журнал бортовой погоды АМСГ Мурманск.
3. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. Международная организация гражданской авиации [ИКАО], 2005. 258 с.
4. Фисенко А. О., Волобуева О. В. Исследование инверсии температуры на территории Арктической зоны РФ. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета «Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии» 11-13 октября 2023 г. Минск: Изд-во БГУ. 2023. С. 232-239. [Электронный ресурс]: <https://geo.bsu.by/index.php/nauka/konferentsii/1734-fundamentalnye-i-prikladnye-issledovaniya-v-gidrometeorologii.html>
5. Карта зондирования. [Электронный ресурс]: <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

УДК 551.578.42 (46) + 551.321.7 (15)

ИЗУЧЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ПЛОЩАДКЕ МЕТЕООБСЕРВАТОРИИ МГУ ЗИМОЙ 2023/24 г.

**Д. М. Фролов, Ю. Г. Селиверстов, А. В. Кошурников,
В. Е. Гагарин, Е. С. Николаева**

*Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, Москва, Россия, denisfrolov@mail.ru*

В работе представлены метеорологические особенности в Москве зимы 2023/24 г. и результаты по наблюдению снежного покрова на площадке метеообсерватории МГУ. Приведены результаты сравнения результатов этого года с предыдущими годами.

Ключевые слова: метеообсерватория МГУ; метеорологические особенности; изучение снежного покрова; влажность; теплоёмкость; теплопроводность; термометрия

INVESTIGATION OF SNOW COVER OF THE MSU METEOROLOGICAL OBSERVATORY IN WINTER 2023/24

**D. M. Frolov, Yu.G. Seliverstov, A. V. Koshurnikov, V. E. Gagarin,
E. S. Nikolaeva**

*Geographical faculty, Lomonosov Moscow state university, Leninskie Gory, 1,
Moscow, Russia, denisfrolov@mail.ru*

The paper presents meteorological features in Moscow in the winter of 2023 and the results of snow cover investigations at State University meteorological observatory. The results of comparing the results of this year with previous years are presented.

Keywords: meteorological observatory of Moscow State University, meteorological features, snow cover study, moisture content, heat capacity, thermal conductivity, thermometry

Наблюдения за снежным покровом на наблюдательной площадке метеообсерватории МГУ с участием студентов ведутся сотрудниками географического факультета уже достаточно долгое время [1]. Это позволяет наблюдать и устанавливать закономерности пространственно-временной неоднородности строения и свойств снежной толщи.

В январе 2024 г. в Москве в целом было холоднее, чем в предыдущие годы. Согласно данным метеостанции ВДНХ, среднемесячная темпера-

тура составила $-10,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже нормы. Минимальная температура в $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ была зафиксирована 4 января, в то время как максимальная температура в $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдалась 30 января. Было два периода относительно холодной погоды (1–8 и 12–14 января) и один период более теплой погоды (23–31 января). В течение января выпало количество осадков, эквивалентное 85 % от средней нормы, при этом самое обильное количество осадков в 9 миллиметров было зафиксировано 11 января. Средняя толщина снежного покрова составила 31 сантиметр, а максимальная толщина снежного покрова в 46 сантиметров также наблюдалась 26 января.

Однако в феврале 2024 г. в Москве было теплее, чем обычно, а количество осадков превысило среднее значение. Среднемесячная температура составила $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше средней нормы.

В течение месяца было выявлено три периода (8–11, 14–16 и 20 февраля), в течение которых наблюдалась отрицательная температурная аномалия в пределах от -3 до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Во все остальные дни среднесуточная температура была на $1–8\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нормы. 7, 19 и 21 февраля среднесуточная температура была в пределах нормы. Самая низкая температура воздуха – $-17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ была зафиксирована ночью 10 февраля, а самая высокая температура $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ была достигнута днем 28 февраля.

Общее количество осадков за месяц составило 54,8 миллиметра, что составляет 125 процентов от нормы. Было 18 дней, когда выпало не менее 0,1 миллиметра осадков. Наибольшее количество осадков – 11 миллиметров – было зафиксировано днем 15 февраля. Высота снежного покрова колебалась от 38 сантиметров в начале месяца до 67 сантиметров 18 февраля.

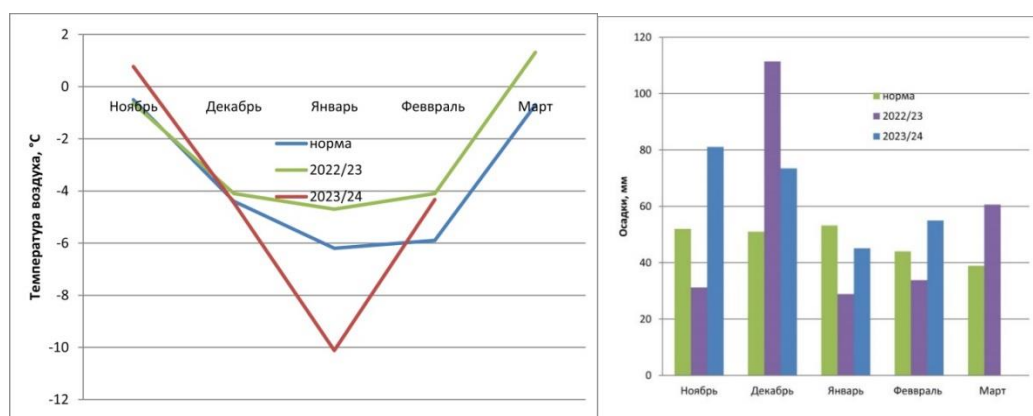


Рис. 1. Изменение температуры воздуха и количества осадков зимой 2023/24 в Москве.

В целом календарная зима в Москве была на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ холоднее и намного более снежная, чем обычно, при средней температуре воздуха $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, что

немного выше текущей климатической нормы для Москвы ($-5,5^{\circ}\text{C}$). Январь был особенно холодным, со средней температурой -10°C (текущая январская норма составляет $-6,3^{\circ}\text{C}$).

Календарной зимой 2023/24 также выпало очень значительное количество осадков — 173 миллиметров, что является редким явлением. Судя по количеству осадков, эта зима входит в пятерку самых снежных зим, зафиксированных в Москве за последние годы, после зимних сезонов 2000–2001, 1965–1966, 2022–2023 и 2017–2018 гг. В целом зимний сезон 2023–2024 гг. в Москве характеризовался повышенным снегонакоплением. Снежный покров образовался в конце ноября и продолжал накапливаться до первой половины декабря, когда он начал таять в период оттепели.

В январе и феврале количество снега неуклонно увеличивалось, достигнув максимума в 67 сантиметров на метеостанции ВДНХ во второй половине февраля и более 70 сантиметров в метеорологической обсерватории МГУ. Эти значения выше средних многолетних значений.

Во второй половине февраля, когда происходило максимальное снегонакопление, снежный покров состоял из 6–7 слоев свежего, осевшего и метаморфизованного снега с образованием ледяной корки.

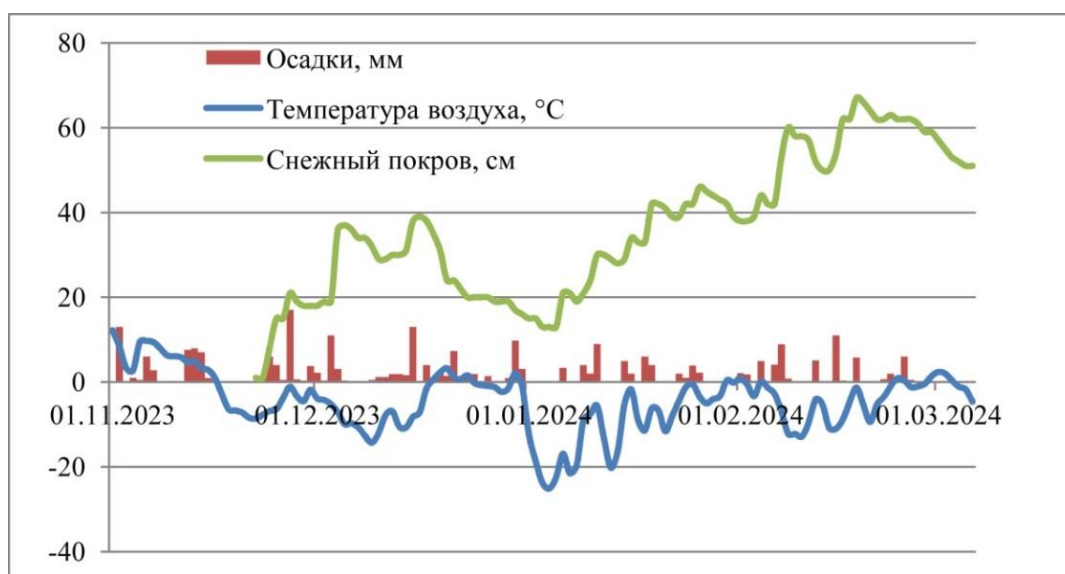


Рис. 2. Изменение температуры воздуха, осадков и толщины снежной толщи зимой 2023/24 г. в Москве.

Так в зимний сезон 2023/24 г. производились еженедельные наблюдения за снежной толщей (шурфы). 8 и 28 февраля была пройдена 20 метровая снежная траншея. Была изучена пространственная неоднородность строения снежной толщи в траншее, в том числе и при помощи измерений прибором микротвердомером snow micro rep (рис. 3).



Рис. 3. Изучение пространственной неоднородности строения и толщины снежной толщи при помощи прибора микротвердомера snow micro rep.

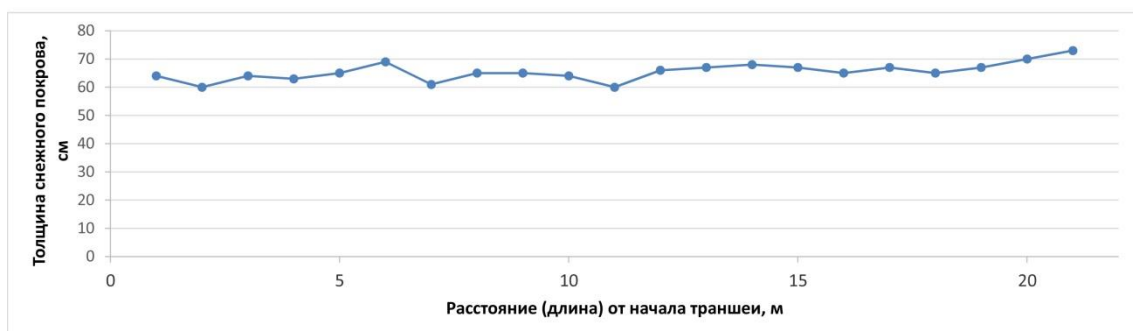


Рис. 4. Изменение пространственной неоднородности толщины снежной толщи в траншее.

Были проведены температурные наблюдения в снежной толще. Так, в частности установлено, что волна холода в снежном покрове распространялась от пика холода на поверхности (-10°C в ранние утренние часы) до глубины в 40 см ближе к полудню (приблизительно за 4-5 часов).

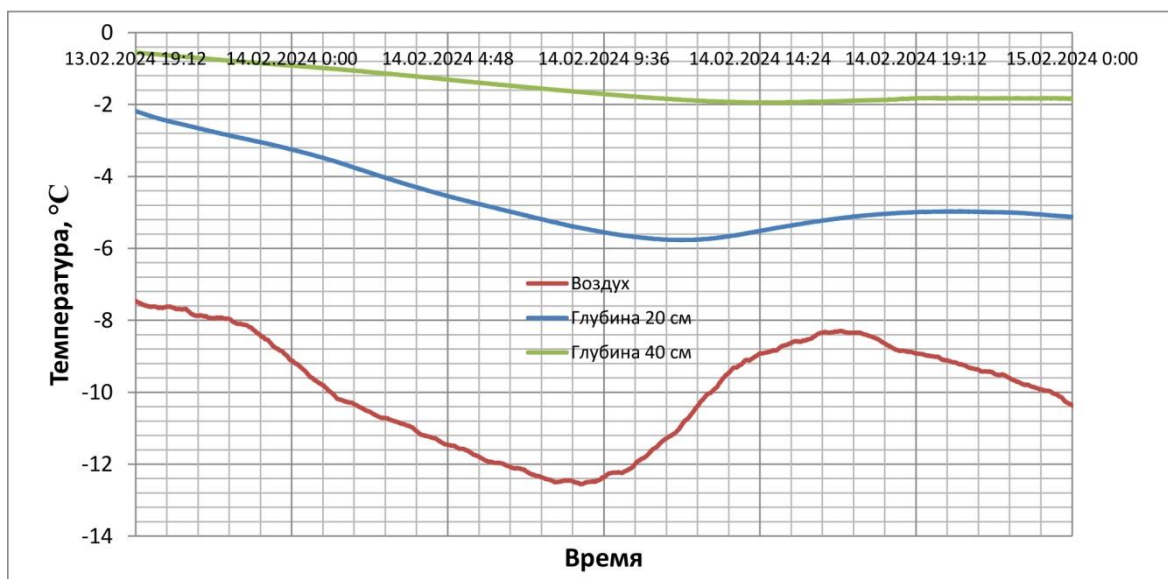


Рис. 5. Изменение температуры в воздухе и снежной толще на глубине 20 и 40 см.

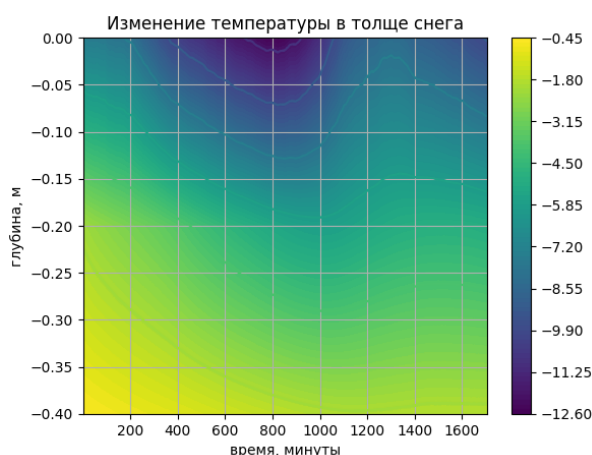


Рис. 6. Суточный ход температуры в снежной толще и проникновение волны холода на глубину 40 см.

Подобные наблюдения за снежным покровом на наблюдательной площадке метеообсерватории МГУ с участием студентов ведутся сотрудниками географического факультета уже достаточно долгое время. Это позволяет наблюдать и устанавливать закономерности пространственно-временной неоднородности строения и свойств снежной толщи.

Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0), «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4).

Библиографические ссылки

1. Фролов Д. М., Селиверстов Ю. Г., Сократов С. А., Кошурников А. В., Гагарин В. Е., Николаева Е. С. Криологические исследование снежной толщи и грунта на площадке МО МГУ зимой 2022/2023 // Гидрометеорология и экология, Алматы, (1):6–18, 2023
2. Climate Copernicus website [electronic resource] <https://climate.copernicus.eu/> (date of access: 11.03.2024)
3. WMO website [electronic resource] <https://public.wmo.int/en/media/news/> (date of access: 11.03.2024)
4. NASA website [electronic resource] <https://www.nasa.gov/> (date of access: 11.03.2024)
5. Japan reanalysis website [electronic resource] https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html (date of access: 11.03.2024)
6. Сайт Погода и климат [электронный ресурс] <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 11.03.2024)
7. Сайт Расписание погоды [электронный ресурс] <https://rp5.ru/> (дата обращения: 11.03.2024)

УДК 628.193

ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Г. Т. Фрумин¹⁾, Е. С. Негодина²⁾

¹⁾Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, набережная реки Мойки, 48, 191186, г. Санкт-Петербург, Россия, gfrumin@mail.ru;

²⁾Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга), набережная Макарова, 26, г. Санкт-Петербург, Россия, 10020092@rambler.ru

Приведены три методики расчета региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах: методика С.А. Патины, методика Д. Г. Замолотчикова и методика Е. В. Веницианова и соавторов. На основе принципа санитарного максимализма обоснован оптимальный метод расчета региональных предельно допустимых концентраций — метод, разработанный Е. В. Венициановым и соавторами. Установлена высокая теснота связи между региональными предельно допустимыми концентрациями металлов в водоемах и водотоках Север-Западного региона России и их кларками в земной коре.

Ключевые слова: водные объекты; металлы; экологическое нормирование; принцип санитарного максимализма; кларки.

ESTABLISHMENT OF REGIONAL MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS IN WATER BODIES

G. T. Frumin¹⁾, E. S. Negodina²⁾

¹⁾Herzen State Pedagogical University of Russia, embankment of the Moika River, 48, 191186, St. Petersburg, Russia, gfrumin@mail.ru; ²⁾St. Petersburg branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (“GosNIORH” named after L.S. Berg), Makarova embankment, 26, St. Petersburg, Russia, 10020092@rambler.ru

Three methods for calculating regional maximum permissible concentrations of pollutants in water bodies are presented: the method of S.A. Patin, the method of D.G. Zamolodchikov and the method of E.V. Venitsianov and co-authors. Based on the principle of sanitary maximalism, the optimal method for calculating regional maximum permissible concentrations is substantiated - the method developed by E. V. Venitsianov and co-authors. A high close relationship has been established between the regional maximum permissible concentrations of metals in reservoirs and watercourses of the North-Western region of Russia and their clarkes in the earth's crust.

Keywords: water bodies; metals; environmental regulation; the principle of sanitary maximalism; clarks.

Примерно с 1990-х гг. система рыбохозяйственных ПДК (ПДК_{РХ}) подвергается аргументированной критике, подробно изложенной в ряде работ [1-5]. К примеру, федеральные ПДК_{РХ} не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений).

Цель исследования заключалась в обосновании региональных предельно допустимых концентраций (ПДК_{РЕГ}) металлов (приоритетных загрязняющих веществ) в воде водных объектов (водоемов и водотоков) Северо-Западного региона России.

Для расчетов ПДК_{РЕГ} использованы три различных метода, разработанные С. А. Патиным [6], Д. Г. Замолотчиковым [7] и Е. В. Венициановым с соавторами [8] (табл. 1).

Таблица 1

Математические модели для расчетов региональных предельно допустимых концентраций

Авторы метода	Модель
С. А. Патин	$\text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = C_{\text{CP}} + 2\sigma$, C_{CP} – средняя концентрация, мкг/дм ³ , σ – стандартное отклонение
Д. Г. Замолотчиков	$\text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК})$, ВК и НК – верхний и нижний квартили распределения
Е. В. Веницианов и соавторы	$\text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = \text{ВК} - 2,9\sigma/\sqrt{N}$, N – объем выборки

Математические модели, приведенные в табл. 1, были применены для расчетов ПДК_{РЕГ} в воде различных водных объектов. Для иллюстрации приводим табл. 2 [9].

Таблица 2

Региональные концентрации металлов (ПДК_{РЕГ}) в реке Большая Нева, мкг/л

Автор(ы) метода	Fe	Cu	Pb	Mn	Cd
Патин С. А.	510	12,9	9,6	87,8	1,2
Замолотчиков Д. Г.	350	12,1	9,5	27,9	1,1
Веницианов Е. В. и соавторы	150	6,2	4,1	9,1	0,6

Приведенные в табл. 2 результаты расчетов ПДК_{РЕГ} показывают существенные различия этих величин в зависимости от метода расчета. Как следует из табл. 2, наименьшие величины ПДК_{РЕГ} зафиксированы для каждого из пяти рассмотренных металлов при использовании метода Е. В. Веницианова с соавторами.

Здесь уместно напомнить о принципе санитарного максимализма, когда все неопределенности и неоднозначности трактуются в сторону снижения показателя [10]. Иными словами, в качестве оптимального метода расчетов ПДК_{РЕГ} следует рассматривать метод, разработанный Е. В. Венициановым с соавторами.

Соотношение между натуральными логарифмами ПДК_{РЕГ} и натуральными логарифмами кларков металлов (г/кг) в земной коре проиллюстрировано в табл. 3.

Таблица 3

Соотношение между натуральными логарифмами региональных предельно допустимых концентраций металлов в воде водных объектов и натуральными логарифмами их кларков в земной коре

Водный объект	Модель	Теснота связи
Река Большая Нева	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=2,981+0,4\ln(\text{кларк})$ $n=5$ $r=0,98$ $r^2=0,50$ $\sigma_{Y(X)}=0,50$ $F_p/F_T=7,9$	Весьма высокая
Река Славянка	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=2,853+0,36\ln(\text{кларк})$ $n=9$ $r=0,89$ $r^2=0,80$ $\sigma_{Y(X)}=0,65$ $F_p/F_T=5,2$	Высокая
Река Плюсса	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=4,289+0,68\ln(\text{кларк})$ $n=6$ $r=0,99$ $r^2=0,99$ $\sigma_{Y(X)}=0,40$ $F_p/F_T=38,7$	Весьма высокая
Река Вуокса	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=2,391+0,49\ln(\text{кларк})$ $n=5$ $r=0,97$ $r^2=0,94$ $\sigma_{Y(X)}=0,66$ $F_p/F_T=6,4$	Весьма высокая
Река Луга	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=4,142+0,51\ln(\text{кларк})$ $n=5$ $r=0,99$ $r^2=0,98$ $\sigma_{Y(X)}=0,43$ $F_p/F_T=16,6$	Весьма высокая
Река Великая	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=3,522+0,45\ln(\text{кларк})$ $n=6$ $r=0,99$ $r^2=0,99$ $\sigma_{Y(X)}=0,13$ $F_p/F_T=152,4$	Весьма высокая
Озеро Ильмень	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=3,392+0,57\ln(\text{кларк})$ $n=7$ $r=0,96$ $r^2=0,92$ $\sigma_{Y(X)}=0,70$ $F_p/F_T=10,0$	Весьма высокая
Псковское озеро	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=3,419+0,47\ln(\text{кларк})$ $n=6$ $r=0,97$ $r^2=0,93$ $\sigma_{Y(X)}=0,61$ $F_p/F_T=8,2$	Весьма высокая

Здесь n – число металлов, r – коэффициент корреляции, r^2 – коэффициент детерминации, $\sigma_{Y(X)}$ – стандартная ошибка, F_p – расчетное значение критерия Фишера, F_T – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95 %.

Согласно шкале Чеддока, соотношение между величинами ПДК_{РЕГ} и кларками характеризуется «высокой» теснотой связи между переменными ($r=0,7-0,9$) для реки Славянка, для других рассмотренных водных объектов — как «весьма высокая» ($r=0,9-0,99$) [11].

Приведенные зависимости адекватны ($F_p > F_T$) и полезны для предсказания величин ПДК_{РЕГ} для других металлов ($F_p/F_T > 4$) [12].

Библиографические ссылки

1. Тимофеева Л. А., Фрумин Г. Т. Проблемы нормирования качества поверхностных вод // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 38. С.215-229.
2. Волков И. В., Заличева И. Н., Шустова Н. К., Ильмаст Т. Б. Есть ли экологический смысл у общефедеральных рыбохозяйственных ПДК? // Экология. 1996. № 5. С. 350-354.
3. Дмитриев В. В. Экологическое нормирование состояния и антропогенных воздействий на природные экосистемы // Вестник Санкт-Петербургского университета. 1994. Серия 7. Вып. 2. С. 60-70.
4. Левич А. П., Терехин А. Т. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы // Водные ресурсы. 1997. № 3. С. 328-335.
5. Гагарина О. В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Учебно-методическое пособие. Ижевск: Удмуртский университет. 2012. 199 с.
6. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищевая промышленность. 1979. 304 с.
7. Замолодчиков Д. Г. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. Т. 15. С. 214-233.
8. Веницианов Е. В., Мирошниченко С. А., Лепихин А. П., Губернаторова Т. Н. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы // Водное хозяйство России. 2015. № 3. С. 50-64.
9. Фрумин Г. Т., Негодина Е. С. Методика расчета региональных предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах: методические рекомендации. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена. 2023. 24 с.
10. Возняк А. А., Лепихин А. П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2(45). С. 103-114.
11. Макарова Н. В., Трофимец В. Я. Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика. 2002. 368 с.
12. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика. 1986. 366 с.

УДК: 631.587(575.1)

О ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ

Э. И. Чембарисов¹⁾, Р. Т. Хожамуратова²⁾, А. И. Баллиев¹⁾

¹⁾Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, г. Ташкент, Узбекистан; ²⁾ Каракалпакский Государственный Университет, echembar@mail.ru

В связи с неблагоприятной гидроэкологической обстановкой в Южном Приаралье наблюдения за загрязненностью воды в водных объектах данного региона имеют как научную, так и практическую ценность. Это касается не только качества воды р. Амударьи и воды оросительных каналов, но и сохранившихся озерных экосистем. В связи с этим, в данной статье рассмотрена загрязненность сохранившихся озерных экосистем вышеуказанной территории по данным республиканского комитета по экологии и охране окружающей среды за 2017-2023 гг.

Ключевые слова: Озерные экосистемы Южного Приаралья; состав рассмотренных ингредиентов: жесткость, ХПК, БПК₅, NH⁺₄, NO⁻₂, (хлориды) CL⁻, (сульфаты) SO²⁻₄, железо Fe⁺₃; величина минерализации (обозначали сухой остаток); метеостанции Республики Каракалпакстан.

FEATURES OF POLLUTION OF THE LAKES OF THE SOUTHERN ARAL SEA REGION IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

E. I. Chembarisov¹⁾, R. T. Khozhamuratova²⁾, A. I. Balliev¹⁾

¹⁾Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Uzbekistan; ²⁾Karakalpak State University echembar@mail.ru

Due to the unfavorable hydroecological situation in the Southern Aral Sea region, observations of water pollution in the water bodies of this region have both scientific and practical value, this concerns not only the water quality of the Amu Darya River and the water of irrigation canals, but also preserved lake ecosystems. In this regard, this article examines the pollution of the preserved lake ecosystems of the above-mentioned territory according to the data of the Republican Committee on Ecology and Environmental Protection for 2017-2023.

Keywords: Lake ecosystems of the Southern Aral Sea region, the composition of the ingredients considered: hardness, XPK, BPK₅, NH⁺₄, NO⁻₂, (chlorides) CL⁻, (sulfates) SO²⁻₄, iron Fe⁺₃, mineralization value (denoted dry residue); weather stations of the Republic of Karakalpakstan.

Введение. В настоящее время климатические изменения оказывают негативное воздействие на социально экономическое развитие различных регионов, в том числе и Узбекистана, причем наиболее остро это ощущает на себе Республика Каракалпакстан. Рост числа экстремальных погодных

явлений в республике сопровождается не только потеплением, пыльными бурями, но, по мнению специалистов, связано с глобальным изменением климата. Наблюдается некоторое изменение качества поверхностных водных ресурсов, в связи с этим в данной статье оценено современное качество воды отдельных водоемов республики и динамика некоторых метеорологических данных по метеостанциям Тахтакупир и Кунград [1-6].

За прошедшие годы (2017-2023 гг.) в пункте отбора пробы в озере Судочье, вблизи г. Кунград среднегодовые значения жесткости воды изменялись от 15,4 мг-экв/л (2017 г.) до 37,8 мг-экв/л (2022 г.), т. е. вода была очень жесткой все годы наблюдений. Величина химического потребления кислорода (ХПК) изменялась от 11,3 мг/л (2017 г.) до 62,8 мг/л (2023 г.), т. е. его содержание превысило ПДК в 4,19 раза, величина биохимического потребления кислорода за пять суток (БПК₅) изменялась от 2,7 мг/л (2020 г.) до 13,9 мг/л (2022 г.), т. е. его содержание превысило ПДК в 4,63 раза.

Содержание ионов изменялось: аммония (NH_4^+) от 0,24 мг/л (2017 г.) до 2,2 мг/л (2022 г.), его содержание превысило ПДК в 4,40 раза; нитрита (NO_2^-) от 0,069 мг/л (2020 г.) до 0,18 мг/л (2018, 2022 гг.), его содержание превысило ПДК в 2,25 раза; хлоридов (Cl^-) от 303,2 мг/л (2017 г.) до 1430 мг/л (2019 г.), превысив ПДК в 4,77 раза; сульфатов (SO_4^{2-}) от 109 мг/л (2019 г.) до 606 мг/л (2021 г.), превысив ПДК в 6,0 раз; содержание железа (Fe^{+3}) от 0,10 мг/л (2020 г.) до 0,68 мг/л (2018 г.) превысило ПДК в 1,36 раза. Величина минерализации изменялась от 1067 мг/л (2018 г.) до 3566 мг/л (2020 г.), ее величина превысила ПДК в 3,57 раза.

За прошедшие годы в пункте отбора пробы в озере Жалтырбас, вблизи г. Муйнак среднегодовые значения жесткости воды изменялись от 11,6 мг-экв/л (2017 г.) до 31,38 мг-экв/л (2020 г.), т. е. вода была очень жесткой все годы наблюдений. Величина химического потребления кислорода (ХПК) изменялась от 10,9 мг/л (2018 г.) до 33,7 мг/л, т. е. его содержание превысило ПДК в 2,25 раза, величина биохимического потребления кислорода за пять суток (БПК₅) изменялась от 1,7 мг/л (2017 г.) до 10,2 мг/л (2022 г.), т. е. его содержание при этом превысило ПДК в 3,4 раз.

Содержание ионов аммония (NH_4^+) изменялось от 0,11 мг/л (2017 г.) до 1,4 мг/л (2022 г.), их содержание превысило ПДК в 2,8 раза; ионов нитрита (NO_2^-) изменялось от 0,053 мг/л (2020 г.) до 0,28 мг/л (2023 г.), содержание превысило ПДК в 3,5 раз; содержание хлоридов (Cl^-) изменялось от 143 мг/л (2019 г.) до 748 мг/л (2023 г.), их концентрация превысила ПДК в 2,49 раза; содержание сульфатов (SO_4^{2-}) изменялось от 73,1 мг/л (2017 г.) до 373 мг/л (2022 г.), их концентрация превысила ПДК в 3,73 раза; содержание железа (Fe^{+3}) изменялось от 0,08 мг/л (2023 г.) до 0,40 мг/л (2017 г.), превышение ПДК не наблюдалось. Величина минерализации изменялась от 1043 мг/л (2017 г.) до 4872 мг/л (2019 г.) и превысила ПДК в 4,87 раза.

За прошедшие годы в пункте отбора пробы в озере Акчакуль в Эликкалинском районе среднегодовые значения жесткости воды изменялись от 12,0 мг-экв/л (2019 г.) до 23 мг-экв/л (2023 г.), т. е. вода была очень жесткой все годы наблюдений. Величина химического потребления кислорода (ХПК) изменялась от 6,3 мг/л (2017 г.) до 38 мг/л (2021 г.), т. е. его содержание превысило ПДК в 2,53 раза; величина (БПК₅) изменялась от 2,3 мг/л (2017 г.), до 10,3 мг/л (2021 г.), т. е. его содержание превысило ПДК в 3,43 раза.

Содержание ионов аммония (NH_4^+) изменялось от 0,13 мг/л (2017 г.) до 1,70 мг/л (2022 г.), их содержание превысило ПДК в 3,4 раза; ионов нитрита (NO_2^-) изменялось от 0,076 мг/л (2019, 2020 гг.) до 0,15 мг/л (2018 г.), содержание превысило ПДК в 1,88 раз; содержание хлоридов (Cl^-) изменялось от 173 мг/л (2017 г.) до 668 мг/л (2019 г.), концентрация превысила ПДК в 2,23 раза; содержание сульфатов (SO_4^{2-}) изменялось от 71,0 мг/л (2017 г.) до 280 мг/л (2023 г.), концентрация превысила ПДК в 2,8 раза; содержание железа (Fe^{+3}) изменялось от 0,03 мг/л (2017 г.) до 0,11 мг/л (2023 г.), превышение ПДК не наблюдалось. Величина минерализации изменялась от 1052 мг/л (2018 г.) до 3144 мг/л (2019 г.), величина превысила ПДК в 3,81 раза.

За прошедшие годы в пункте отбора пробы в озере Каратерен в Тахтакупырском районе среднегодовые значения жесткости воды изменялись от 8,1 мг-экв/л (2021 г.) до 24,7 мг-экв/л (2022 г.), т. е. вода была очень жесткой все годы наблюдений. Величина химического потребления кислорода (ХПК) изменялась от 9,5 мг/л (2018 г.) до 40,3 мг/л (2023 г.), т. е. его содержание превысило ПДК в 2,69 раза; величина (БПК₅) изменялась от 2,6 мг/л (2018 г.), до 6,0 мг/л (2017 г.), т. е. его содержание при этом превысило ПДК в 2,0 раза.

Содержание ионов аммония (NH_4^+) изменялось от 0,09 мг/л (2017 г.) до 2,2 мг/л (2022 г.), содержание превысило ПДК в 4,4 раза; количество ионов нитрита (NO_2^-) изменялись от 0,069 мг/л (2019 г.) до 0,21 мг/л (2017 г.), когда его содержание превысило ПДК в 2,63 раз; содержание хлоридов (Cl^-) изменялось от 139 мг/л (2018 г.) до 1482 мг/л (2019 г.), когда их величина превысила ПДК в 4,94 раза; содержание сульфатов (SO_4^{2-}) изменялось от 81,1 мг/л (2017 г.) до 424 мг/л (2023 г.), концентрация превысила ПДК в 4,24 раза; содержание железа (Fe^{+3}) изменялось от 0,036 мг/л (2019 г.) до 0,14 мг/л (2023 г.), т. е. превышение ПДК не наблюдалось. Величина минерализацией изменялась от 1515 мг/л (2018 г.) до 3904 мг/л (2019 г.), превысив ПДК в 3,9 раза.

Выводы: -анализ собранных данных показал, что величина минерализации воды в рассмотренных озерах превышает величину минерализа-

ции воды р. Амударьи, при поступлении ее в низовья реки: у створа Саманбай в 2017-2023 гг. она изменялась от 967 до 993 мг/л, а в озерах она доходит до 3116-4872 мг/л; рост величины минерализации воды в озерах обусловлен высоким содержанием сульфатного и хлоридного ионов, а также ионов магния и натрия;

-анализ изменения среднегодовых величин температуры воздуха на рассмотренных метеостанциях Республики Каракалпакстан за два периода (1) 2010-2014 гг., и 2) 2015-2019 гг.,) показал, что во втором периоде она несколько увеличилась по сравнению с первым: на $0,5^0$ - $0,9^0$; увеличение температуры воздуха отмечается и в месяце с максимальными значениями по анализу данных за июль месяц.

Библиографические ссылки

1. Баллиев А. И., Чембарисов Э. И. Состояние Аральского моря в последние годы // сбор. Материалов Междунар. Научно-практич. Конференции «Современная наука: вызовы, проблемы решения-взгляды молодежи». Биробиджан, Россия, 17-18 октября 2023. С. 1916-920.

2. Курбанбаев С. Е Совершенствование методов эффективного управления водными ресурсами в дельте реки Амударьи// автор. диссер доктора философии (PhD) по технич. наукам. Ташкент: ТИИИМСХ, 2018. 44 с.

3. Курбанов А. Р., Ким С. И. и др. Комплексное изучение современной экологического состояния естественных водоемов Республики Каракалпакстан //Научные труды Дальрыбвтуза, 2020, № 4 (т. 54). С. 28-42

4. Чембарисов Э. И., Баллиев А. И. К изучению качества воды в водотоках и водоемах Каракалпакстана в условиях изменения климата/ В сборнике материалов VIII Междунар научно-практич. Конференции «Архитектура Многополярного мира в XXI века: экология, экономика, геополитика, культура и образование», Биробиджан, 2023 С. 110-117.

5. Чембарисов Э. И., Баллиев А. И. К проблеме сохранения водоемов Южного Приаралья/ междунар. Научно-практич. Конференция «Развитие современной науки: теория, методология практика» М.: ЦПНП, 30 апреля 2023. С. 196-200.

6. Чуб В. Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: «VORIS-NASHRIYOT», 2007. 132 с.

УДК 551.326.1/2(268.53/56)

ПОВТОРЯЕМОСТЬ РАННИХ СРОКОВ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

М. В. Шаратунова, В. В. Иванов, А. В. Юлин

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
ул. Беринга, 38, 199397, г. Санкт-Петербург, Россия, mvsh@aari.ru*

Ранние сроки замерзания арктических морей оказывают неблагоприятное влияние на проведение морских операций в летне-осенний период навигации. В работе представлены результаты анализа изменчивости и повторяемости ранних сроков начала ледообразования для основных участков трасс плавания в Восточно-Сибирском море за период с 1941-2023 гг. В результате исследования были получены рекомендуемые Всемирной метеорологической организацией (ВМО) нормы за период 1991-2020 гг. Анализ новых климатических норм показал устойчивую тенденцию к потеплению, что хорошо согласуется с современным состоянием климата в арктическом регионе.

Ключевые слова: опасные ледовые явления; неблагоприятные ледовые условия; климатические нормы; сроки ледообразования; полярные станции; Арктика.

REPEATABILITY OF EARLY ICE FORMATION IN EAST SIBERIAN SEA

M. V. Sharatunova, V. V. Ivanov, A. V. Yulin

*Arctic and Antarctic Research Institute, Bering st., 38, 199397,
Saint Petersburg, Russia, mvsh@aari.ru*

Early freezing of the Arctic seas has an adverse effect on the conduct of maritime operations during the summer-autumn navigation period. The paper presents the results of an analysis of the variability and frequency of early dates of the onset of ice formation for the main sections of navigation routes in the East Siberian Sea for the period from 1941-2023. As a result of the study, standards recommended by the World Meteorological Organization (WMO) for the period 1991-2020 were obtained. Analysis of new climate norms showed a stable warming trend, which is in good agreement with the current state of the climate in the Arctic region.

Keywords: dangerous ice phenomena; unfavorable ice conditions; climate norms; terms of ice formation; polar stations; Arctic.

Влияние раннего замерзания на проведение морских операций в арктических морях определяет необходимость изучения, мониторинга, анализа и прогнозирования этого важного природного явления. Начало процессов ледообразования в море можно рассматривать как важную

составную часть годового цикла существования ледяного покрова. При анализе режима замерзания в мелководных районах Восточно-Сибирского моря определяющими факторами являются приземная температура воздуха, остаточная ледовитость и адвекция тепла морскими течениями [1].

В работе рассматриваются ранние сроки начала ледообразования, как опасные и неблагоприятные ледовые условия для судоходства в Восточно-Сибирском море.

При планирования и обеспечении безопасности проведения морских операций на Северном морском пути (СМП) прогнозируются сроки начала устойчивого ледообразования и достижения молодым льдом толщин 20-25 см для основных участков трасс плавания, привязанных к полярным станциям, на которых ведутся ледовые наблюдения, согласно Положению, разработанному в ААНИИ [2].

Участки трассы в Восточно-Сибирском море:

- пролив Санникова (п/ст Санникова);
- пролив Санникова — о. Четырехстолбовой;
- о. Четырехстолбовой — мыс Шелагский (п/ст Валькаркай);
- мыс Шелагский — мыс Биллингса (п/ст Биллингса).

В качестве исходных данных использовались фактические данные о ледовых условиях в Восточно-Сибирском море по донесениям полярных станций, детализированных и региональных ледовых карт, составляемых в Центре «Север» ГНЦ ААНИИ за период 1946-2023 гг.

За стандартный период («нормы») для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) принимается период в 30 лет (1991-2020 гг.).

Для расчета ранних сроков устойчивого ледообразования применялся метод типизации исходного ряда по критерию аномалии средней даты ледообразования по акватории всего моря относительно среднегодовой нормы в долях среднего квадратичного отклонения (СКО) [3].

Для анализа повторяемости ранних сроков начала ледообразования использовался критерий $0,2A$ (где A – размах многолетних колебаний), соответствующий $1,2\sigma$ (где σ – стандартное отклонение) [4].

В работе были проанализированы ряды данных по станциям с начала наблюдений до 2023 г. — «длинные ряды» и «короткие» — стандартный период, норма за 1991-2020 гг. Из полученных результатов, в табл. 1, видно, что на всех станциях отмечается общий сдвиг ранних сроков ледообразования в среднем на 6-14 дней в сторону более поздних. Наибольшие изменения наблюдаются в восточной части Восточно-Сибирского моря, где разброс сроков появления льда колеблется от 1,5 до 2 декад.

Таблица 1

**Многолетние данные о ранних появлениях льда на полярных станциях в
Восточно-Сибирском море**

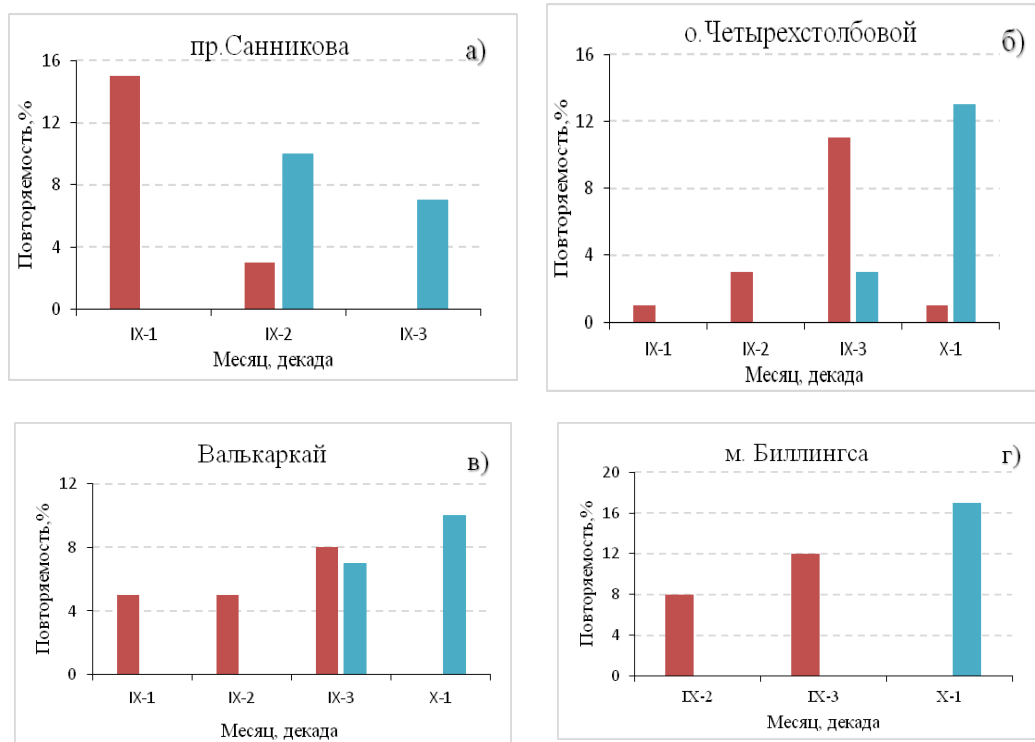
Полярная станция	Год начала наблюдений/ до 2023 г. (количество лет)	Ранняя дата появления льда (весь ряд)	Ранняя дата появления льда (1991-2020 гг.)	Разность, дни
п/ст Санникова	1949 (75 лет)	01-18.09 (15.09)	15-24.09 (21.09)	6 дней
о. Четырехстолбовой	1953 (71 год)	01-26.09 (24.09)	30.09-05.10 (03.10)	9 дней
п/ст Валькаркай	1941 (83 года)	08-27.09 (21.09)	21.09-05.10 (01.10)	10 дней
п/ст Биллингса	1949 (75 лет)	12-26.09 (22.09)	04-08.10 (06.10)	14 дней

Для оценки изменения ледовых условий были выполнены расчеты повторяемости ранних сроков ледообразования на полярных станциях.

В настоящем исследовании установлено, что на всех станциях Восточно-Сибирского моря повторяемость ранних сроков ледообразования не превышает 20 %. Показано смещение ранних сроков появления льда на одну-две декады в сторону более поздних дат.

Полные ряды наблюдений на станциях включают периоды похолодания 1960-80-х и потепления 1990-2000-х годов. Наибольшая повторяемость ранних сроков ледообразования на всех станциях приходится на третью декаду сентября, около 10 %, кроме станции пр. Санникова. Для нее максимальная повторяемость составила 15 % в первой декаде сентября. На м. Биллингса даты начала появления льда смещены ко второй декаде сентября.

На рисунке представлены гистограммы распределения ранних сроков ледообразования на полярных станциях.



Гистограмма распределения ранних сроков ледообразования на полярных станциях:
а – пр. Санникова, *б* – о. Четырехстолбовой, *в* – Валькаркай, *г* – м. Биллингса.
 Красный цвет – полный ряд наблюдений, синий – короткий (норма 1991-2020 гг.).

Современный «стандартный» период 1991-2020 гг. отражает устойчивую тенденцию к потеплению. Наибольшая повторяемость сроков устойчивого замерзания наблюдается в первой декаде октября в среднем 13%. Исключение представляет пр. Санникова, сроки ледообразования на станции сдвинуты на две декады в более раннюю сторону – вторую декаду сентября. Смещение сроков на станциях связано с особенностями географического положения и режимными характеристиками станций.

Раннее ледообразование повторяемостью не чаще одного раза в 10 лет можно отнести к опасному ледовому явлению (ОЛЯ), приводящему к аварийным ситуациям для судов, не имеющих ледового класса. Особенно это касается судов типа «река-море», работающих в прибрежных районах [1,5].

В работе проведены расчеты ОЛЯ для полярных станций Восточно-Сибирского моря для длинного и короткого рядов. Из полученных расчетов видно, что для длинных рядов на станциях пр. Санникова, о. Четырехстолбовой, Валькаркай опасные ледовые явления наблюдались дважды. На станции м. Биллингса было выделено четыре года. В современном 30-летнем периоде 1991-2020 гг. раннее ледообразование, согласно принятому критерию, не наблюдалось, были выделены годы с ранним ледообразованием (табл. 2).

В рамках работы получены данные о повторяемости ранних сроков ледообразования за «стандартный» 30-летний период, характеризующие современное состояние климата Восточно-Сибирского моря. Анализ результатов подтверждает смещение сроков устойчивого ледообразования на одну-две декады в более позднюю сторону, при этом раннее замерзание является процессом менее продолжительным. При долгосрочном и сверх-долгосрочном прогнозировании важно учитывать многолетние данные о ранних появлениях льда в Восточно-Сибирском море.

Таблица 2

Многолетние данные о ранних появлениях льда на полярных станциях в Восточно-Сибирском море

Полярная станция	Ряд наблюдений, количество лет	Опасное ледовое явление (весь ряд)	Годы с ранним появлением льда для периода 1991-2020 гг.
п/ст Санникова	1949-2023	1963, 1975	1992-1993, 1996-1997, 2001
о. Четырехстолбовой	1953-2023	1986, 1998	1997-1999, 2001-2002
п/ст Валькаркай	1941-2023	1965, 1976	1993-1994, 1996, 1998, 2001
п/ст Биллингса	1949-2023	1965, 1975, 1987, 2021	1994, 1998-1999, 2004, 2012

Библиографические ссылки

1. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. Ред. Миронов Е. У. СПб: Изд-во ААНИИ, 2010. 320 с.
2. Положение об обеспечении организаций, находящихся в ведении Федерального агентства морского и речного транспорта, долгосрочными ледовыми прогнозами по арктическим морям и устьевым областям сибирских рек. Ред. Миронов Е. У. и др. СПб: Изд-во ААНИИ, 2009. 10 с.
3. Егоров А. Г., Павлова Е. А. Изменение сроков устойчивого ледообразования в восточных арктических морях России в начале XXI в. Проблемы Арктики и Антарктики. 2019;65(4):389-404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>.
4. Моря Российской Арктики в современных климатических условиях. СПб.: ААНИИ, 2021. 360 с.
5. Миронов Е. У., Клячкин С. В., Макаров Е. И., Юлин А. В., Афанасьева Е. В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов// Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40-53. DOI:10.24412/2658-4255-2021-4-40-53.

УДК 551.584.5

ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА SENTINEL-5P

Т. В. Шлендер^{1,2)}, Е. А. Ярош¹⁾, М. В. Бируков¹⁾

¹⁾Факультет географии и геоинформатики БГУ, ²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, г. Минск, Республика Беларусь, timajaya@mail.ru

Исследована проблема загрязнения воздуха городов различными газами с помощью спутниковых данных SENTINEL-5P. Особенности загрязнения приземных слоев атмосферы представлены посредством анализа картосхем, построенных при помощи платформы Google Earth Engine и ГИС QGIS на основе спутниковых изображений Sentinel-5P в 2019-2023 гг.

Ключевые слова: загрязнение воздуха; выбросы диоксида азота; угарный газ; диоксид серы; спутниковые снимки; Sentinel-5P; QGIS; Google Earth Engine; предельно допустимая концентрация.

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC POLLUTION OF BELARUSIAN CITIES BASED ON SENTINEL-5P SATELLITE DATA

T. V. Shlender^{1,2)}, Y. A. Yarosh¹⁾, M. V. Birukov¹⁾

¹⁾Belarusian State University, ²⁾National Research Center for Monitoring of the Ozonosphere BSU, Minsk, Republic of Belarus, timajaya@mail.ru

The problem of urban air pollution by various gases using SENTINEL-5P satellite data is investigated. The peculiarities of pollution of the surface layers of the atmosphere are presented by analyzing the cartograms built with the help of Google Earth Engine platform and QGIS GIS based on Sentinel-5P satellite images in 2019-2023.

Keywords: air pollution; nitrogen dioxide emissions; carbon monoxide; sulfur dioxide; satellite images; Sentinel-5P; QGIS; Google Earth Engine; maximum permissible concentration.

Загрязнение атмосферы является одной из важнейших экологических проблем промышленно развитых и развивающихся стран мира. Производство энергии на основе ископаемого топлива, транспортное движение являются ключевыми факторами, создающими серьезные проблемы общественного здравоохранения локального и национального масштаба.

Загрязнение атмосферы требует детальных количественных наземных измерений (точечных), но в то же время надежного пространствен-

ного и временного моделирования, чтобы выявить наиболее пострадавшие районы во времени (день, месяц, сезон) и помочь лицам, принимающим решения, найти причину загрязнения, устойчивое решение для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [1].

Измерения загрязнения атмосферы с помощью спутниковых датчиков позволяют определить количество аэрозолей, имеющих различные спектральные характеристики в ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и коротковолновом инфракрасном спектрах, которые необходимо измерять и моделировать с целью получения согласованных данных о концентрации газового столба [2] в различных пространственных масштабах, от локального к глобальному. В данном исследовании были использованы снимки спутников Sentinel-5P [3].

Sentinel-5 Precursor, также известный как Sentinel-5P, — это первая миссия Copernicus, посвященная мониторингу нашей атмосферы. На спутнике установлен современный прибор Tropomi, позволяющий составить карту содержания множества газовых примесей, которые влияют на воздух, которым мы дышим, и, следовательно, на наше здоровье и наш климат. Данный спутник обладает блоком полезной нагрузки, в частности, спектрометр Трополи — ежедневно отображает глобальную атмосферу с разрешением $7 \times 3,5$ км. При таком разрешении можно обнаружить загрязнение воздуха над городами. Sentinel-5 P ориентирован на качество воздуха и взаимодействие состава и климата с основными продуктами данных, таких как O_3 , NO_2 , SO_2 , $HCHO$, $CHOCHO$ и аэрозоли. Кроме того, Sentinel-5P также предоставляет параметры качества CO , CH_4 , и стратосферного O_3 с ежедневным глобальным охватом климатических исследований качества воздуха и озона, приземного УФ-излучения, что делает данный спутник хорошим инструментом для изучения загрязнения атмосферы.

Для быстрого и эффективного получения спутниковых снимков в работе использовалась Google Earth Engine (GEE) — облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Общедоступный каталог данных Earth Engine (Earth Engine Data Catalog) представляет собой огромный архив часто используемых наборов геопространственных данных [4].

С помощью скрипта формировался файл в формате GeoTIFF для средних значений тропосферного столба диоксида азота, формальдегида, метана, диоксида серы, угарного газа и озона (изменялись только пути к библиотекам данных и диапазон измерений) за период 2019-2023 гг. над территорией всех областных городов и их пригородов. Полученные изображения в формате GeoTIFF по умолчанию являются черно-белыми, поэтому преобразования в итоговые цветные картосхемы производились в

ГИС QGIS. Пересчет единиц моль/м² общего содержания диоксида азота в концентрацию в приземном слое *ppb* осуществлялся для стометрового приземного слоя с использованием функции «калькулятор растров».

Значения ПДК были взяты из гигиенических нормативов РБ для атмосферного воздуха населенных пунктов за 2021 г., которые представлены в таблице. Для анализа антропогенной активности в г. Могилеве использовались данные о величинах ПДК (мкг/м³) для диоксида азота, а в качестве фоновой концентрации принимались значения для Березинского заповедника.

Значения ПДК для загрязняющих газов в приземной атмосфере РБ [5]

Загрязняющие вещества	Значения ПДК, мкг/м ³		
	Макс.разовая	суточная	годовая
Азота диоксид	250	100 (25*)	40 (10*)

*ПДК по ВОЗ [6]

Для проведения сравнительного анализа концентраций загрязняющих газов над территорией областных городов и Березинским заповедником, был использован скрипт, позволяющий получить на одном изображении несколько параметров для различных выбранных территорий, что позволило создать на его основе график среднедневных многолетних значений концентрации диоксида азота, угарного газа, диоксида серы, а также других газов за период 2019-2023 гг. для территории г. Могилева и Березинского заповедника.

Построение картосхем спутниковых снимков производилось в ГИС QGIS, где осуществлялись преобразования единиц, выделялись граничные изолинии ПДК, высчитывались геометрические параметры островов загрязнения и тепла.

Анализ среднедневных многолетних значений тропосферных концентраций NO₂ над г. Могилевом и Березинским заповедником за период 2019-2023 гг. выявил некоторые особенности сезонного хода, а именно: максимум концентраций наблюдался осенью (сентябрь-октябрь) и в конце зимы-начале весны (февраль-март), а минимум — в летние месяцы (рис.1), что согласуется с данными, представленными в [7]. Стоит отметить, что в зимние сезоны значительная часть спутниковых данных отфильтровываются из-за плохих погодных условий. Значения концентраций NO₂ в г. Могилеве значительно превышают фоновые значения Березинского заповедника в течении всего периода — в 2-3 раза в зависимости от сезона года (теплый период в 1,5-2 раза).

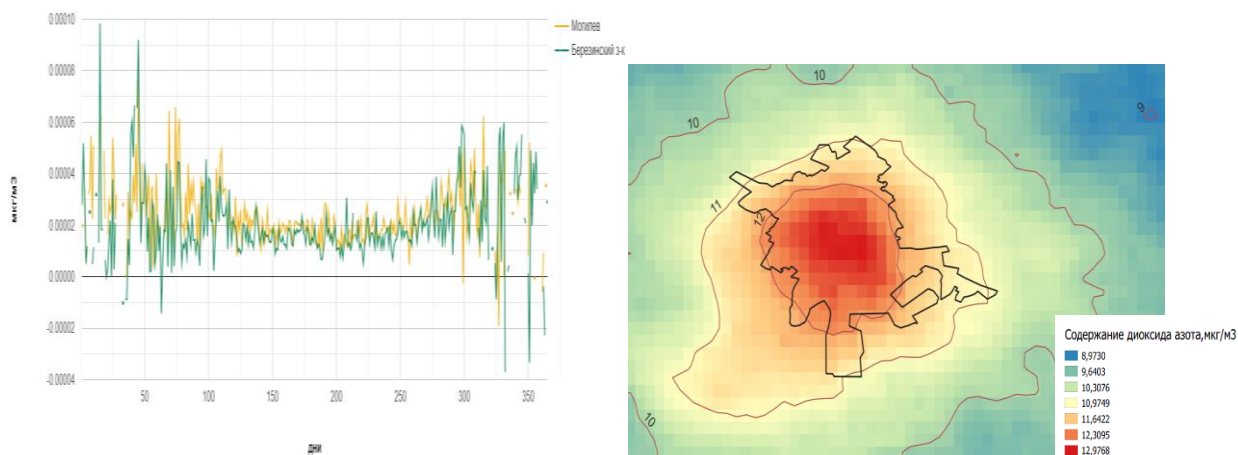


Рис. 1. Концентрации диоксида азота (сост. по [4])

Наибольшие показатели загрязнения диоксидом азота распространяются от центра к периферии города, что связано с плотностью автомобильных дорог и промышленными предприятиями. Целесообразно проводить ежедневный мониторинг концентрации диоксида азота, поскольку из-за атмосферных условий содержание этого соединения может резко колебаться. Выполнение осреднения по времени (неделя, месяц, сезон и т. д.) поможет избежать влияния облачности, которая снижает точность измерения концентрации загрязнителя в тропосфере или делает ее невозможной.

Основными антропогенными источниками угарного газа (рис.2) в атмосфере являются автотранспорт, тяжелая промышленность, ТЭЦ, химическая промышленность. В естественных условиях соединение угарного газа образуется при разложении биоты в результате жизнедеятельности организмов, при извержениях вулканов. Огромное количество СО попадает в атмосферу во время природных пожаров. В общем случае угарный газ образуется при неполном сгорании органического топлива. Анализируя полученные графические материалы, можно заметить сезонность распределения количества газа, в летний период всплески концентрации угарного газа могут быть связаны с учащением лесных пожаров. Анализируя картосхему Могилева, можно заметить повышение уровня угарного газа на юге города, что коррелирует с нахождением промышленной зоны.

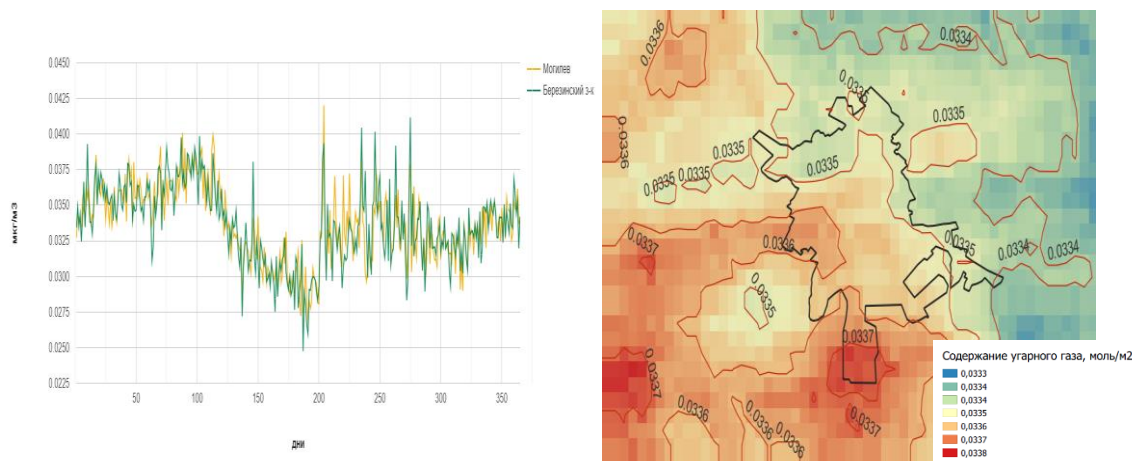


Рис.2. Концентрация угарного газа в Могилеве (сост. по [4])

Диоксид серы (рис.3) является одним из основных и опасных загрязнителей атмосферы. Соединение SO_2 попадает в атмосферу как естественным образом, так и в результате деятельности человека. К природным источникам поступления диоксида серы, прежде всего, относятся извержения вулканов и пожары. Превышение концентрации диоксида серы на территории Могилева связано с антропогенными источниками поступления диоксида серы в атмосферу: металлургическими предприятиями, ТЭЦ на угле, химическими и иными промышленными предприятиями.

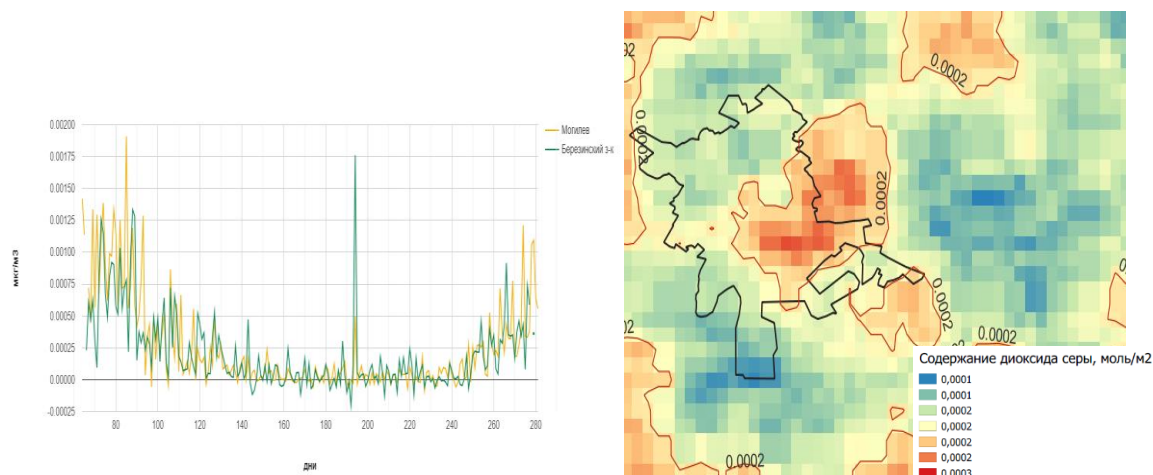


Рис.3. Концентрация диоксида серы в Могилеве (сост. по [4])

Данное исследование показывает динамику загрязнения газами, основанную на больших объемах обработки данных спутника Sentinel-5P. Оно является примером инструмента для мониторинга загрязнителей воздуха и принятия решений на региональном, национальном и даже местном уровнях в соответствии с ограничениями стандартов. Целесооб-

разно выполнять ежедневный мониторинг, а также осреднения по времени. Это снизит влияние атмосферных условий на замеры. Возможен мониторинг крупных чрезвычайных ситуаций. Возможно построение анимации с временным шагом в 1 день для изучения динамики распространения загрязнений.

Библиографические ссылки

1. Бугудис И., Демерцис К., Илиадис Л., Анезакис В. Д., Папалеонидас А. Полу-контролируемое гибридное моделирование загрязнения атмосферы в городских центрах. На Международной конференции по инженерным применениям нейронных сетей; Springer: Чам, Швейцария. 2016. С. 51-63.

2. Попп Т., Хегглин М., Холлманн Р., Ардуин Ф., Барч А., Бастос, Беннетт А., Бутин Дж., Брокманн К., Бухвиц М. и др. Согласованность записей спутниковых климатических данных для мониторинга системы Земли. Бык. Являюсь. Метеорол. Соц. 2020. С. 1-68.

3. European Space Agency / Sentinel online [Электронный ресурс]: – URL: <https://sentinels.copernicus.eu/> Дата доступа: 04.06.2023

4. Google Earth Engine Datasets [Электронный ресурс]: – URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> Дата доступа: 04.06.2023

5. Гигиенические нормативы 2.1.6.12-6-2006 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов в атмосферном воздухе населенных мест», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 3 апреля 2006 г. № 41

6. WHO [Электронный ресурс]: – URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US – Дата доступа: 04.06.2023

7. Загрязнение воздуха Беларуси. Исследование из Космоса. Под ред. Ян Лабоги. Прага-Минск., 2020. 32 с.

УДК 504.4.062.2

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕКИ ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ (НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА)

И. А. Эйюбов

*Научно-исследовательский и проектный институт «СУКАНАЛ», Республика
Азербайджан, г. Баку iftixar.eyyubov@mail.ru*

Водные ресурсы исследуемой территории в основном используются в сельском хозяйстве, питьевом водоснабжении и т. д. Поскольку нижняя часть территории расположена в засушливой зоне, воды рек используются для определенных хозяйственных целей. Хозяйственная деятельность оказывает большое влияние на режим реки. В связи с этим одним из важных вопросов является научное изучение статистического анализа среднегодового стока рек и оценка изменений стока рек, протекающих по территории.

В статье приведены результаты статистического анализа среднегодовых стоков рек. Основной целью является научное изучение и оценка современных изменений стока рек. На основе собранных данных проведен анализ трендов ряда расхода методом линейной регрессии. Метод прост и интуитивно понятен. Результаты получены путем сравнения значений нормы стока рек за 1960-1990 гг. со средними многолетними значениями норм стока за 1991-2017 гг.

Анализ показал, что зимние стоки Ширванских рек используются неэффективно и речные стоки в этот период играют транзитную роль. С учетом этого, в статье для эффективное использование зимнего речного стока в основном предлагается создание небольших водохранилищ и использование воды для питьевого водоснабжения населенных пунктов.

Ключевые слова: большое влияние; водные ресурсы; используются; современные изменения; среднегодовой сток рек; хозяйственная деятельность.

ASSESSMENT OF MODERN CHANGES IN RIVER FLOW ON THE TERRITORY OF SHIRVAN (Republic of Azerbaijan)

Eyyubov I. A.

*Scientific Research and Design Institute «SUKANAL»,
Republic of Azerbaijan, Baku
iftixar.eyyubov@mail.ru*

The water resources of the study area are mainly used for agriculture, drinking water supply, etc. Since the lower part of the area is located in an arid zone, river waters are used for certain economic purposes. This economic activity has a great impact on the river regime. Therefore, a serious report on the water resources of the rivers in the region and its correct forecast are necessary. In this regard, one of the important issues is the scientific study of statistical analysis of the average annual series of river flowing through the territory.

The article provides statistical analysis of average annual series of rivers. The main goal is the scientific study and assessment of hydraulic reports for modern changes in river flow. The results were obtained by comparing the values of the normal river flow for 1960–1990 with the average long-term values of the normal flow for 1991–2017.

Our analysis showed that the winter flows of the Shirvan rivers effectively used unequal river flows during this period, playing a transit role. Taking into account all of the above, in order to effectively use winter river flow, the idea arose of creating small reservoirs and using water for drinking water supply to populated areas.

Keywords: great influence; water resources; used; modern changes; average annual river flow; economic activity.

Известно, что Азербайджан входит в число стран с ограниченными водными ресурсами. Несмотря на то, что Азербайджан больше других стран Южного Кавказа по территории, и имеет большее население, водные ресурсы Азербайджана по показателям 2010 г. в 2,1 раза меньше, чем у соседней Грузии, и в 3,1 раза меньше, чем у Армении (Иманов Ф. А., Алекбаров А. Б., 2017).

Согласно расчетам Национального центра изменения климата Азербайджана, который оценил влияние изменения климата на водные ресурсы к 2050 и 2100 гг., прогнозируется сокращение водных ресурсов на 22,5 % и 20,7 % соответственно (TDA, 2013).

Ожидается, что к 2050 г. спрос на воду увеличится в результате роста населения и ускорения экономического развития в разных странах, в том числе, в Азербайджане. Водные ресурсы в Азербайджане считаются одним из важных факторов устойчивого развития страны (Махмудов Р. Н., 2022). Поэтому страна стремится к оптимальному использованию и управлению водными ресурсами как на национальном, так и на трансграничном уровне.

Население страны за последние 50 лет увеличилось более чем в 1,9 раза, а площадь сельскохозяйственных угодий за тот же период увеличилась на 355 000 га. В следствии этого требуется защита и эффективное, устойчивое использование ограниченных водных ресурсов.

В условиях изменения климата и усиления антропогенной нагрузки на природную среду в ближайшее десятилетие одним из главных является оценка поверхностных и подземных водных ресурсов. В 1978 г. в рамках изучения водного баланса речных бассейнов Рустамов С. Г. и Кашкай Р. М. выполнили оценку местных водных ресурсов всех регионов Азербайджана, используя данные наблюдений по 1972 г. (Рустамов С. Г., Кашкай Р. М., 1989 г.).

Материалы и методы. Водосборный бассейн рек Ширвана полностью расположен на территории Азербайджанской Республики на высоте 400-4466 м над уровнем моря в южной части Большого Кавказа (рис. 1).

Территория бассейна окружена предгорьями Большого Кавказа, ограничена с востока рекой Агсучай, а с запада рекой Айричай. Густота речной сети достигает максимума в среднем горном поясе, тогда как в нижнем и верхнем поясе плотность снижается. По мере увеличения высоты исследуемой области модуль стока увеличивается до определенной высоты. Увеличение стока за счет высоты продолжается до 2000 м. Выше этого предела увеличения стока ослабевает и даже начинает уменьшаться на определенной высоте (2400-2600 м) (Рустамов С., Кашкай Р., 1989).

В статье выполнена оценка данных об изменениях водных ресурсов бассейна Ширванских рек, за период 1960-2017 гг. с использованием материалов наблюдений 5 станций. Основной район исследований включает реки Дашагильчай, Тиканлычай, Алиджанчай, Турянчай, Демирапаранчай.



Рис 1. Схематический план основных рек Ширвана

Имеющиеся водные ресурсы на территории Ширванского региона распределены неравномерно. Так, средний многолетний расход воды в реках региона колеблется в пределах 1,68-11,9 м³/с (Эйюбов И. А., 2022).

Основной целью работы является оценка современных изменений стока рек на территории Ширвана. Норма стока рек за 1960-1990 гг. — I период (Q_{1cp}) сравнивалась со значением нормы стока за 1991-2017 гг. — II период (Q_{2cp}) (таблица). В результате сравнения среднегодовых расходов обоих периодов получили цену изменения речного стока ($Q\Delta_{cp}$). Данные наблюдений по каждой реке охватывают период 1960-2017 гг.

Годовое распределение стока основных рек Ширвана (1961-2017 гг.)

Реки и пункты	1960-1990 гг. средний много- голетний рас- ход воды за Q_{1cp} , м ³ /с	1991-2017 гг. средний много- голетний рас- ход воды Q_{2cp} , м ³ /с	Сравнение с I перио- дом, $Q\Delta_{cp}$, м ³ /с	Сравнение с I периодом, $Q\Delta_{cp}$ %
	I период	II период		
Дашагильчай – с. Баш Дашагыл	3.02	2.98	-0.04	-1.3
Тиканлычай – с. Тиканлы	3.40	3.45	+0.05	+1.5
Алиджанчай – с. Каябаши	6.12	5.56	-0.56	-9.2
Турянчай – п. Суговшагы	7.65	8.74	+1.09	+14.2
Демирапаранчай – г. Габала	5.10	6.15	+1.05	+20.6

Проведенный анализ показали, что наибольшее изменение значения расхода наблюдалось в Алиджанчае, Турянчае, Демирапаранчае. В Турянчае и Демирапаранчае по сравнению с 1960-1990 гг. — I периодом (Q_{1cp}) в 1991-2017 гг. — II период (Q_{2cp}) наблюдалось увеличение расхода на $Q\Delta_{cp}=14,2$ % или $Q\Delta_{cp}=1,09$ м³/с, $Q\Delta_{cp}=20,6$ % или $Q\Delta_{cp}=1,05$ м³/с. Основной причиной увеличения стока является количество осадков, выпадающих в этом poste. Кроме того, не исключается и систематическая ошибка при учете стока.

Наблюдалось снижение расхода на реки Алиджанчае. По сравнению с I периодом (Q_{1cp}) цена изменения речного стока в Алиджанчае $Q\Delta_{cp}=9,2$ % или $Q\Delta_{cp}=0,56$ м³/с (таблица).

Изменения норм стока рек можно объяснить следующими факторами: географическими условиями рек, осадками, выпадающими в бассейнах, рельефом местности, растительностью и т. д.

На основании данных наблюдений за реками в период 1960-2017 гг. установлена динамика изменения стоков. Анализ линейных трендов по данным среднегодового расхода за многолетний период показал, что небольшая отрицательная тенденция снижения зафиксирована в рядах расхода Дашагильчае, Алиджанчае (рис. 2).

Однако, уменьшение стока на некоторых реках Ширвана не значит уменьшение водных ресурсов, а является процессом перераспределения стока по территории. Это связано с широким использованием речных вод для орошения. Например, в нижнем течении Алиджанчае, Турянчае построены крупные оросительные каналы.

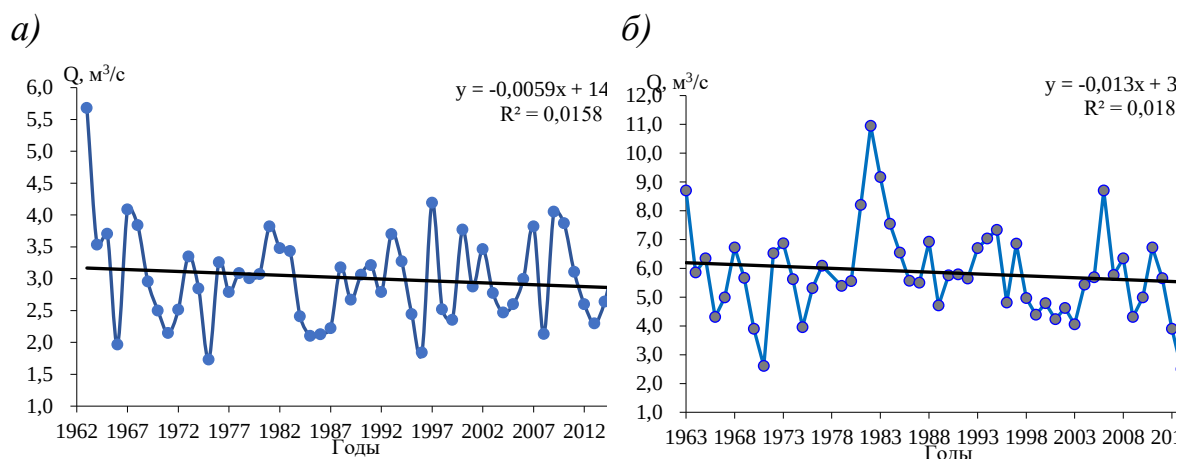


Рис.2. Линейный тренд среднегодовых расходов воды
а – р. Дашагылчай; б – р. Алиджанчай

По исследованиям профессора Ф. Иманова, региональные изменения климата также повлияли на речные и водные ресурсы, годовой сток и режим рек страны. Таким образом, увеличение происходит преимущественно при минимальном расходе в зимней межени. В основном это связано с повышением средней сезонной температуры в зимние месяцы, что увеличивает таяние запасов снегов в зимний период и увеличивает расход в период межени (Иманов Ф. А., Алекбаров А. Б., 2017).

Анализ показывает, что зимние стоки рек Ширвана используются неэффективно и в период октябре-феврале играют роль транзита до 30-40 % годового объема стока рек. С учетом этого, были предложены научно-технические мероприятия по защите экологических стоков от зимних паводков и обеспечению снабжения населения питьевой водой, исходя из средних и маловодных значений периода рек, протекающих по исследуемой территории.

Установлены гидрографы рек для лет средних и маловодных периодов. На гидрографах наблюдаем период наименьшего расхода в октябре-феврале (рис. 3).

Водные ресурсы рек, протекающих по исследуемой территории, рекомендуется использовать следующим образом.

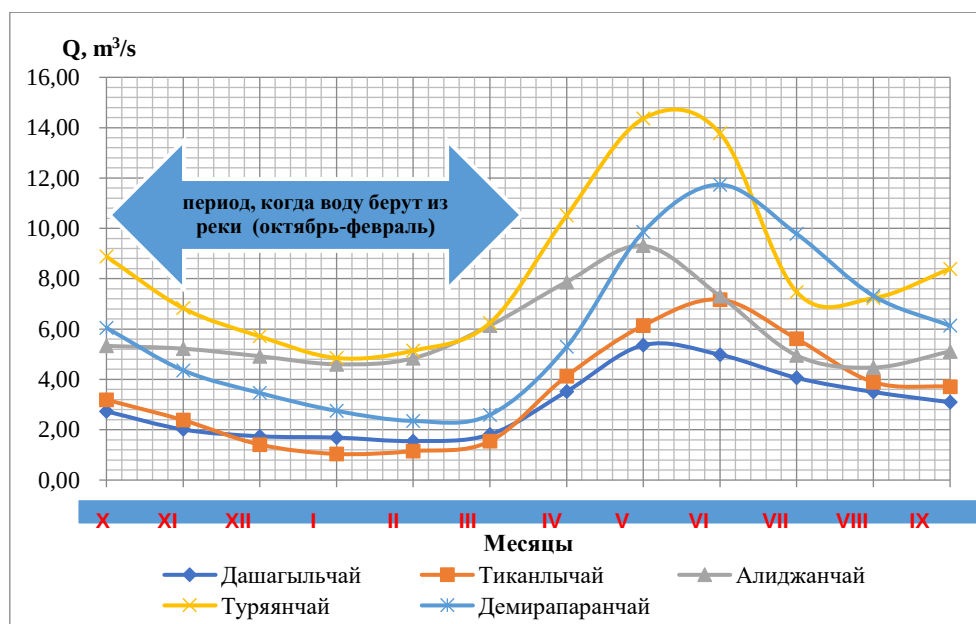


Рис 3. График распределения расхода рек для среднегодового периода Ширвана

Предлагается собирать сток реки в небольшие водохранилища за пределами русла в течение 5 месяцев (октябрь-февраль), защищая экологические стоки. Цель забора воды из рек в зимние месяцы — избежать использования водных стоков для орошения и уменьшить мутность воды. Проведенные предварительные исследования показывают, что гидрологические параметры рек позволяют строить небольшие водохранилища за счет эффективного использования зимнего стока. Это считается как экономически, так и экологически целесообразным (Эйюбов И. А. 2022).

Проведенные предварительные гидрологические исследования показывают, что при направлении 50 % объема стока, образующегося в этих реках в зимние месяцы, в водохранилища, примерно 60-120,0 млн м³. При таком объеме воды можно в непрерывном и стабильном виде снабжать питьевой водой население численностью 350-750 тысяч человек (Эйюбов И. А. 2022).

Заключение. Проведенный анализ показал, что наибольшее изменение значения расхода наблюдалось в Алиджанчае, Турянчае, Демирапаранчае. В Турянчае и Демирапаранчае по сравнению с 1960-1990 гг. — I периодом (Q_{1cp}) — в 1991-2017 гг. — II период (Q_{2cp}), наблюдалось увеличение расхода на $Q\Delta_{cp}=14,2$ % или $Q\Delta_{cp}=1,09$ м³/с, $Q\Delta_{cp}=20,6$ % или $Q\Delta_{cp}=1,05$ м³/с.

Наблюдалось снижение расхода на реке Алиджанчае. По сравнению с I периодом (Q_{1cp}) цена изменения речного стока в Алиджанчае $Q\Delta_{cp}=9,2$ % или $Q\Delta_{cp}=0,56$ м³/с.

Причины изменения норм стока рек можно объяснить следующими факторами: географическими условиями рек, осадками, выпадающими в бассейн, рельефом местности, растительностью и т. д.

Однако уменьшение стока на некоторых реках Ширвана не значит уменьшение водных ресурсов, а является процессом перераспределения стока по территории. Это связано с широким использованием речных вод для орошения. Например, в нижнем течении Алиджанчае, Турянчае построены крупные оросительные каналы.

Замечено, что в период октябре-феврале 30 % или 245,7 млн м³ стока рек протекает транзитом. Используя 50 % зимнего стока этих рек, можно обеспечить устойчивое водоснабжение населения 350-750 тысяч человек.

Библиографические ссылки

1. *Эйюбов И. А.* Вопросы эффективное использование зимнего стока рек Ширвана// Географическое общество НАНА, Баку. 2022. № 2 (17). С. 24-29.
2. *Эйюбов И. А.* Изменения месячного и сезонного стока рек Азербайджана (районы Огуз-Габала). География и водные ресурсы. № 4. Алматы. 2023. С. 3-13 с.
3. *Эйюбов И. А.* Оценка современные изменения стока рек на территории Ширвана (Республика Азербайджан). Гидрометеорология и Экология. № 4. Астана. 2023. С. 25-33.
4. *Махмудов Р. Н.* Региональные изменения климата и речной сток в Азербайджане. Водные проблемы. Наука и технологии. Международный рецензируемый научный журнал. Баку. 2022. № 1 (19). С. 7-17.
5. *Махмудов Р. Н.* Водные ресурсы Азербайджанской Республики. Баку, 2003. 24 с.
6. *Иманов Ф. А., Алекбаров А. Б.* Современные изменения и комплексное управление водными ресурсами Азербайджана. Баку. Муртаджим. 2017. 352 с.
7. *Иманов Ф. А.* Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры. Санкт-Петербург. Свое издательство. 2016. 163 с.
8. *Рустамов С. Г., Каишай Р. М.* Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку, Элм. 1989. 180 с.
9. FAO, 2009. Irrigation in the Middle East region in figures Aquastat survey 2008. FAO Water Reports No. 34. 423 p.
10. Transboundary Diagnostic Analysis – Update 2013. UNDP/GEF Project. Reducing Transboundary Degradation in the Kura-Aras River Basin. Baku/Tblisi/Yerevan. 2013. P.156.

УДК 551.515.4+551.594+551.54

**ВАРЬЯЦЫЙ ВЕРТЫКАЛЬНАЯЙ КАМПАНЕНТЫ
НАПРУЖАННАСЦІ ЭЛЕКТРЫЧНАГА ПОЛЯ І
МІКРАПУЛЬСАЦЫЙ АТМАСФЕРНАГА ЦІСКУ, ЯКІЯ
ПАПЯРЭДНІЧАЮЦЬ НАВАЛЬНІЦАМ ПА ДАДЗЕННЫХ ЦЭНТРА
ГЕАФІЗІЧНАГА МАНІТОРЫНГУ г. МАСКВЫ ІДГ РАН**

С. А. Рабава^{1), 2)}

¹⁾Федэральная дзяржаўная бюджэтная ўстанова навукі Інстытут дынамікі геасфер імя акадэміка М. А. Садоўскага Расійскай акадэміі навук, Ленінскі пр., 38 корпус 1, 119334, г. Масква, Расія; ²⁾ Федэральнае дзяржаўнае бюджэтнае Установа навукі Інстытут фізікі Зямлі імя О. Ю. Шміта Расійскай акадэміі навук, Вялікая Грузінская вуліца, 10, будынак 1, 123242, г. Масква, Расія, ryabovasa@mail.ru

Прыводзяцца вынікі рэгістрацыі і аналізу варыяцый вертыкальнай кампаненты напружанасці электрычнага поля і мікрапульсацый атмасфернага ціску ў прыземнай атмасферы г. Масквы ў папярэднія навальніцам перыяды і падчас моцных навальнічных з'яў. У якасці зыходных дадзеных выкарыстоўваліся шэраг інструментальных назіранняў, якія выконваюцца ў Цэнтры геафізічнага маніторынгу г. Масквы Федэральнай дзяржаўнай бюджэтнай установы навукі Інстытута дынамікі геасфер імя М. А. Садоўскага Расійскай акадэміі навук.

Ключавыя словы: навальніца; напружанасць электрычнага поля; мікрапульсацыі атмасфернага ціску; прыземная атмасфера; варыяцыі.

**VARIATIONS IN THE VERTICAL COMPONENT OF THE
ELECTRIC FIELD STRENGTH AND MICROPULSATIONS OF
ATMOSPHERIC PRESSURE PRECEDING THUNDERSTORMS
ACCORDING TO THE CENTER FOR GEOPHYSICAL
MONITORING IN MOSCOW OF IDG RAS**

S. A. Riabova^{1), 2)}

¹⁾Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, Leninsky pr., 38, building 1, 119334, Moscow, Russia; ²⁾Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya str., 10, building 1, 123242, Moscow, Russia, ryabovasa@mail.ru

The results of registration and analysis of variations in the vertical component of the electric field strength and micropulsations of atmospheric pressure in the surface atmosphere of Moscow in periods preceding thunderstorms and during strong thunderstorms are presented. As initial data, we used a series of instrumental observations carried out at the Center for Geophysical Monitoring in Moscow of Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences.

Keywords: thunderstorm; electric field strength; micropulsations of atmospheric pressure; surface atmosphere; variations.

Сярод найбольш яркіх праяў атмасфернай электрычнасці асаблівае месца займаюць навальніцы [1, 2]. Навальнічныя з'явы ў прыземнай атмасферы звычайна звязаны з утварэннем магутных кучава-дажджавых моцна электрызуваных воблакаў (зарад навальнічнага воблака складае ў сярэднім каля 50 Кл). Вынікам электрызацыі з'яўляюцца электрычныя разрады рознага тыпу паміж воблакамі, а таксама паміж асобнымі абласцямі аднаго і таго ж воблака або паміж воблакамі і зямлёй [3, 4]. Напружанасць электрычнага поля паміж навальнічным воблакамі і зямлёй перавышае 10^4 В/м, дасягаючы ў асобных выпадках да некалькіх кВ/м [5]. Гэтай велічыні электрычнага напружання дастаткова для фарміравання маланкавых разрадаў, у якіх кароткачасовая сіла току дасягае значэння ~ 500 кА пры напружанні да 10^9 В/м [6, 7].

Складанасці, звязаныя з прагназаваннем каардынат маланкавых разрадаў, перашкаджаюць усталяванню больш-менш дакладнай статыстыкі варыяцый напружання электрычнага поля, выкліканых маланкамі [8–10].

У гэтым артыкуле прыводзяцца вынікі рэгістрацыі і аналізу варыяцый напружання электрычнага поля і мікрапульсаванай атмасфернага ціску ў прыземнай атмасферы г. Масквы перад навальніцамі і падчас моцных навальнічных з'яў.

У якасці зыходных дадзеных быў выкарыстаны шэраг інструментальных назіранняў за напружаннем электрычнага поля і мікрапульсаванай атмасфернага ціску, якія праведзены ў Цэнтры геофізічнага маніторынгу г. Масквы Федэральнай дзяржаўнай бюджэтнай установы навукі Інстытута дынамікі геасфер імя М. А. Садоўскага Расійскай акадэміі навук (ІДГ РАН) ($55,7052^\circ$ з. ш.; $37,5707^\circ$ в. д.). Для аналізу прыцягваліся даныя, атрыманыя ў 2016–2020 гг. у дні, калі назіраліся моцныя навальнічныя з'явы.

Напружанне электрычнага поля (вертыкальны складнік) рэгістравалася электростатычным флюксаметрам ІНЭП, які забяспечвае вымярэнні ў інтэрвале ад 1 В/м да 6 кВ/м у дыяпазоне частот 0–20 Гц. Рэгістрацыя мікрапульсаванай атмасфернага ціску ажыццяўлялася з дапамогай мікрабарометра МБ-03 у дыяпазоне амплітуд 0,01–200 Па ў паласе частот 0,001–10 Гц. Метэаралагічныя параметры атмасферы (тэмпература і вільготнасць паветра, атмасферны ціск, хуткасць ветру) рэгістраваліся з дапамогай лічбавай аўтаматычнай метэастанцыі Davis Vantage Pro2.

Пры спектральным ацэньванні вынікаў даследавання быў выкарыстаны параметрычны падыход, які прадугледжвае стварэнне матэматычнай мадэлі. Пры гэтым спектральная шчыльнасць магутнасці (СШМ) становіцца функцыяй параметраў такой мадэлі [11]. Ужыванне параметрычных метадаў не патрабуе стварэння вокнаў, якія ўжываюць расцяканне спектру, і, такім чынам, дазваляюць павысіць ступень адрознення вынікаў. Якасць ацэнкі вызначаецца адпаведнасцю выбранай мадэлі разглядаемага працэсу [12].

Вынікі даследавання падцвярджаюць гіпотэзу, што фарміраванне і рух навальнічнай канвектыўнай ячэйкі суправаджаецца генерацыяй і размеркаваннем у атмасферы ВГВ. Як вынік, набліжэнне моцнай навальніцы апыраджаюць узнікаючыя ваганні частот Брэнта–Вайсала і доўгапэрыядычнымі варыяцыямі электрычнага поля значнай амплітуды. Гэта дазваляе разглядаць іх у якасці прадвесніка і індикатара моцнай навальнічнай актыўнасці. Пры гэтым, трэба адзначыць, што даследавання працэсы зарэгістраваны тэхнічнымі сродкамі, якімі валодаюць даследчыкі на сённяшні дзень.

Даследаванні выкананы ў рамках дзяржаўнага задання ІФЗ РАН і дзяржаўнага задання ІДГ РАН № 1220329000185-5 "Праява працэсаў прыроднага і тэхнагеннага паходжання ў геафізічных палях".

Бібліяграфічныя спасылкі

1. *Кашлева Л. В.* Атмосферное электричество. Учебное пособие. СПб.: изд. РГГМУ, 2008.
2. *Чалмерс Дж. А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
3. *Хргиан А. Х.* Физика атмосферы. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
4. *Lyons W. A., Nelson Th. E., Williams E. R., Cramer J. A., Turner T. R.* Enhanced positive cloud-to-ground lightning in thunderstorms ingesting smoke from fires // *Science*. 1998. Vol. 282. P. 77-80.
5. *Volland H.* Atmospheric electrodynamics. Berlin: Springer, 1984.
6. *MacGorman D. R., Rust W. D.* The electrical nature of storms. N. Y., Oxford: Oxford Univ. Press, 1998.
7. *Rakov V., Uman M.* Lightning: Physics and effects. Cambridge: Camb. Univ. Press, 2003.
8. *Санина И. А., Рыбнов Ю. С., Солдатенков А. М., Харламов В. А.* Сейсмоакустические эффекты при грозовой активности // *Геофизика межгеосферных взаимодействий*. М.: ГЕОС, 2008. – С. 67-79.
9. *Спивак А. А., Рыбнов Ю. С., Соловьев С. П., Харламов В. А.* Акустические и электрические предвестники сильных грозowych явлений в условиях мегаполиса // *Геофизические процессы и биосфера*. 2017. Т. 16. № 4. С. 81-91. doi:10.21455/GPB2017.4-7

10. *Спивак А. А., Рыбнов Ю. С., Рябова С. А., Соловьев С. П., Харламов В. А.* Прогностические признаки опасных атмосферных явлений в геофизических полях. В сб. Триггерные эффекты в геосистемах: материалы V Международной конференции / Под ред. В. В. Адушкина, Г. Г. Кочаряна. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2019. С. 448-454.
11. *Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н.* Цифровая обработка сигналов. Справочник. М.: Радио и связь. 1985. 312 с.
12. *Бычков Б. И., Кудряшов Н. И., Гуренко В. В.* Качественная оценка некоторых методов спектрального анализа // Радиостроение. 2017. № 1. С. 34-46.

GLOBAL AND REGIONAL PATTERNS OF WATER RESOURCES FORMATION IN CHINA

Luo Jiluan

Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, belrus@bsmu.by

China is rich in surface water resources. However, they are unevenly distributed throughout the country. There are problems in their formation and interaction with other waters. Waters are formed in different natural conditions. Some of the rivers are transboundary. There are risks in their use, including internal problems and problems with neighboring countries.

Keywords: surface waters; regions; problems of formation; uneven distribution; transboundary rivers; risks of use.

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КИТАЯ

Ло Джилуан

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь, belrus@bsmu.by

Китай богат поверхностными водными ресурсами. Однако они размещены неравномерно по территории страны. Существуют проблемы в их формировании, во взаимодействии с другими водами. Воды формируются в разных природных условиях. Часть рек являются трансграничными. Возникают риски в их использовании, включая внутренние проблемы и проблемы с соседними странами.

Ключевые слова: поверхностные воды; регионы; проблемы формирования; неравномерность размещения; трансграничные реки; риски использования; перспективы.

Introduction. China is a vast country with a variety of natural resources, including surface water resources. China's surface water resources include four types of water bodies: rivers, glaciers, lakes and swamps. The total length of all rivers in China is about 420,000 kilometers, and there are more than 50,000 rivers with a watershed area of more than 100 square kilometers, with a total river runoff of 271.15 billion cubic meters. China's surface water resources are distributed throughout Asia and extend to neighboring Europe and Africa, and China's surface water resources have a great deal of connection and influence on various regions and the world in many ways. This paper firstly discusses that

China's surface water resources mainly include four kinds of water bodies, and categorizes the four kinds of surface water bodies in detail, and secondly discusses the regional distribution of China's surface water resources in China, and researches the impacts of the distribution of China's surface water in China's territory on China's natural environment and economic development, etc., and firstly puts it in China and Asia's point of view, and considers the regional pattern of China's surface water system on China itself, and the impacts with neighboring countries, neighboring countries, and the impacts with neighboring countries and neighboring countries. The regional pattern of China's surface water system is first considered in the context of China and Asia, in terms of its impact on China itself and its interactions with neighboring countries and regions. This is followed by an expansion of the distributional impacts of surface water resources from the outflow river basins to Europe, Africa and even the world. China has many transboundary rivers and is a famous upstream country in the world. In terms of the whole river basin, it is closely connected with other countries and regions in the watershed, and there are advantages and disadvantages, opportunities and challenges in terms of the natural environment, people's life, economic development, and national security, etc. This part of the paper will be discussed by using the SWOT analysis method. In the last part of this paper, the relationship between China's surface water resources and China's two geostrategies will be discussed in detail, especially China's "Belt and Road" and "Community of Destiny" strategies. The "Belt and Road" and "Community of Destiny" strategies are two major geostrategies for realizing the great rejuvenation of the Chinese nation. The outflow rivers and lakes in China's surface water resources are the intersection of the "Belt and Road" and "Community of Destiny" strategies, and this paper discusses the interactions between the two strategies and these watersheds.

Methods. Examples, Data Analysis, SWOT Analysis, Literature Search.

Results. As one of the world's most important resources, water is a source of concern in many areas and a potential source of political, economic and social conflict. According to the Global Risk Assessment Report 2016 published by the Global Economic Forum, the climate change crisis has overtaken the weapons of mass destruction crisis in first place, while the water crisis is in third place. In the context of interrelated crises, the water crisis will also interact with other crises and exacerbate the complexity of global governance. In such a severe reality, China cannot avoid the impact, China as the world's richest water resources in the ranking of the fifth country, it has huge water resources, and these water resources, including surface water resources (rivers, lakes, glaciers, marshes) and other regions and countries in the political, economic, humanities and other aspects of the inextricable links, so the regional distribution of China's

surface water resources, and the overall pattern of regional distribution of the study. Therefore, the regional distribution of surface water resources in China and the overall pattern of regional distribution should be clearly studied before the relationship between the distribution pattern of surface water resources in China and other countries and regions or even the world can be further explored.

Discussion. China is rich in surface water resources, among which there are many transboundary rivers in China, which are mainly concentrated in the northeast, northwest and southwest regions of China. Due to the geographical distribution of transboundary rivers in these three regions is consistent with that of China, the distribution of transboundary river disputes in China is also concentrated in these three regions, and the types of river problems vary from region to region. But the root of the problem comes from the fact that the distribution of surface water resources in China is closely linked to other countries and regions. China's transboundary rivers mainly face problems of water resource allocation, cross-basin governance, and the involvement of external forces. For China, the solution of transboundary river problems is not only related to China's internal economic construction and regional economic balance and stability, but also related to China's relations with neighboring countries. Therefore, this paper discusses in detail the classification and distribution of surface water resources in China, as well as the pattern of the distribution of surface water resources in China's region of the world, so as to further discuss the impacts of these on China, as well as the interaction between China and the world. Finally, the two geostrategies of "One Belt, One Road" and "Common Destiny" provide new opportunities to solve the transboundary river problems in China. Based on the intersection of the two geostrategies, the unique idea of building a community of destiny for transboundary rivers is proposed, and Chinese transboundary rivers can play an important role in the two geostrategies, so that China and the world can have a closer and more positive influence on each other through surface water systems. This is also the value of this thesis.

Reference

1. 付晓伟.地缘政治视角的中国跨境河流研究[D].华东理工大学,2017. Fu Xiaowei. Research on China's transboundary rivers from geopolitical perspective[D]. East China University of Science and Technology. 2017.
2. 捷.“一带一路”框架下中亚跨界河流治理研究[J].学术探索,2020 – (12):68-75. Geng Jie. Research on Transboundary River Governance in Central Asia under the Framework of "Belt and Road"[J]. Academic Exploration, 2020. (12):68-75.

3. 李佳伟,马军霞,王豪杰等.“一带一路”东南亚及南亚跨界河流问题分析[J].水资源保护,2018,34(04):49-55. LI Jiawei, MA Junxia, WANG Haojie et al. Analysis of transboundary river problems in Southeast and South Asia under the "Belt and Road"[J]. Water Resources Conservation,2018,34(04):49-55.
4. 陈翔.中国周边外交中的跨界河流因素[D].北京外国语大学, 2016. 陈翔.中国周边外交中的跨界河流因素[D].北京外国语大学,2016. Chen Xiang. Cross-border river factors in China's neighboring diplomacy [D]. Beijing Foreign Studies University, 2016.
5. 李志斐.水问题与国际关系:区域公共产品视角的分析[J].外交评论(外交学院学报), 2013, 30 (02):108-118.DOI:10.13569/j.cnki.far.2013.02.007. Li Zhifei. Water issues and international relations:An analysis from the perspective of regional public goods[J]. Diplomatic Review(Journal of Foreign Affairs College),2013,30(02):108-118.DOI:10.13569/j.cnki.far.2013.02.007.
6. 于慧.联合国框架下的全球水治理研究[D].华东师范大学,2018. Yu Hui. Research on global water governance under the framework of the United Nations [D]. East China Normal University, 2018.
7. 郑丽芬.中国水资源状况及水资源安全问题的研究[J].黑龙江科技信息, 2015, (20): 198. Zheng Lifen. Research on China's water resources status and water resources security problems[J]. Heilongjiang Science and Technology Information,2015,(20):198.
8. 罗贤,李运刚,季璇等.中国国际河流水文地理研究进展[J].地理报 2023,78(07):1703-1717. Luo Xian, Li Yungang, Ji Xuan et al. Progress of hydrography of international rivers in China[J]. Journal of Geography,2023,78(07):1703-1717.
9. 许晶荣,黄德春,方隽敏.中国区域全要素水资源利用效率及其影响[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2021,23(06):77-84+111-112. XU Jingrong,HUANG Dechun,FANG Junmin. Regional Total Factor Water Utilization Efficiency and Its Impact in China[J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Science Edition),2021,23(06):77-84+111-112.

UDC 551.515.1, 551.587, 551.589.1

CHINA'S CLIMATE CHANGE CHARACTERISTICS AND TREND PREDICTIONS

Guo Jinhan

*Belarusian State University, Nezavisimosti., 4, 220083, Minsk, Belarus,
xiaohanjiejie@gmail.com*

Based on the daily data of 2255 weather stations in the 60 years from 1961 to 2020, the annual potential evapotranspiration was used to calculate the drought index, analyze the change and prediction data of China's dry and wet climate, and analyze the possible changing trends of China's dry and wet climate at the end of this century. The results show that China's climate will have a general trend of drying out. Dry areas are mainly concentrated in central and eastern China, while the western region continues to maintain a wet trend.

Keywords: China; climate change; trends; drought; humidity.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В КИТАЕ И ПРОГНОЗЫ ТЕНДЕНЦИЙ

Го Цзиньхань

*Белорусский государственный университет, Независимости, 4,
220083, Минск, Беларусь, xiaohanjiejie@gmail.com*

На основе ежедневных данных 2255 метеостанций за 60 лет с 1961 по 2020 гг. получено годовое потенциальное суммарное испарение, которое использовалось для расчета индекса засухи и анализа данных об изменениях и прогнозах сухого и влажного климата Китая, а также анализа возможных тенденций изменения климата. Сухой и влажный климат ожидается в Китае в конце этого столетия. Результаты показывают, что климат Китая будет иметь общую тенденцию к высыханию. Засушливые районы в основном будут сосредоточены в центральном и восточном Китае, тогда как в западном регионе продолжит сохраняться влажный климат.

Ключевые слова: Китай; изменение климата; тенденции; засуха; влажность.

Introduction. In the context of global warming, the issue of warming and humidification in northwest China has been widely discussed. Due to limitations in data and other factors, some studies have limited time and spatial scales and cannot determine the spatial scope and time scale of this change. Therefore, it is necessary to use observational data over a longer period to explore the spatiotemporal characteristics of this change on a larger scale. This study is based on daily data from 2255 weather stations in the 60 years from

1961 to 2020, uses annual potential evapotranspiration to calculate the drought index, and uses the drought index to analyze China's dry and wet climate changes. It also uses the drought index to predict The data analyzed the possible changing trends of China's dry and wet climate at the end of this century.

Data and Methods. This paper uses data on air temperature, precipitation evaporation, from National Meteorological Information Center of China.

The drought index is calculated by annual potential evapotranspiration and annual precipitation. The calculation formula is as follows: $AI = E_o/P$. The annual average drought index was computed for 2255 sites across China.

The projections of arid conditions are presented for RCP4.5 and 8.5 scenario based on air temperature and precipitation changes over China for period of 2020-2100.

Results. It can be seen that the degree of drought in China showed a downward trend from 1961 to 2020, and the climate became increasingly humid (Figure 1).

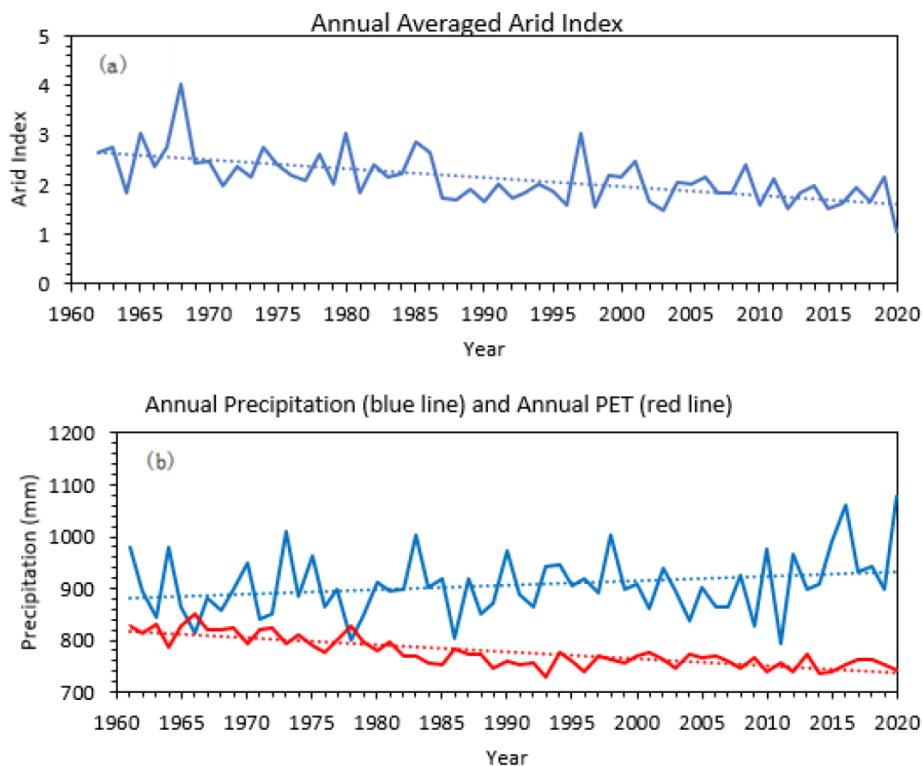


Fig.1. Changes in Annual Arid Index (top) and Annual Precipitation (bottom)

Source: <https://data.cma.cn/site/subjectDetail/id/101.html>

The linear trend of drought index in each period is a decrease of 0.17 every 10 years ($p < 0.01$). The influencing factors of wet and dry climate change are different in different regions of China. The decrease in drought index (climate wetting) in the west, southeast, and northeast is the combined effect of increased

precipitation and decrease in potential evaporation (PET), while North China, northern central China, and northern southwest China are mainly caused by the decrease in PET.

Forecast of future wet and dry climate change trends in China. The future drought index shows an upward trend under both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, which means that China's climate will become drier in the future (Figure 2). The drought index increases by 0.008 per 10 years under the RCP4.5 scenario and by 0.01 per 10 years under the RCP8.5 scenario, indicating a trend towards drought under the high emissions scenario than under the medium concentration's scenario. Under the RCP4.5 scenario, the drought index is low in 2021-2040, high in 2040-2080, and shows a downward trend after 2080, indicating that the climate will be relatively humid in the last 20 years of this century. Under the RCP8.5 scenario, the rising trend of the national drought index is not obvious before 2060, but will increase significantly from 2060 to the end of this century.

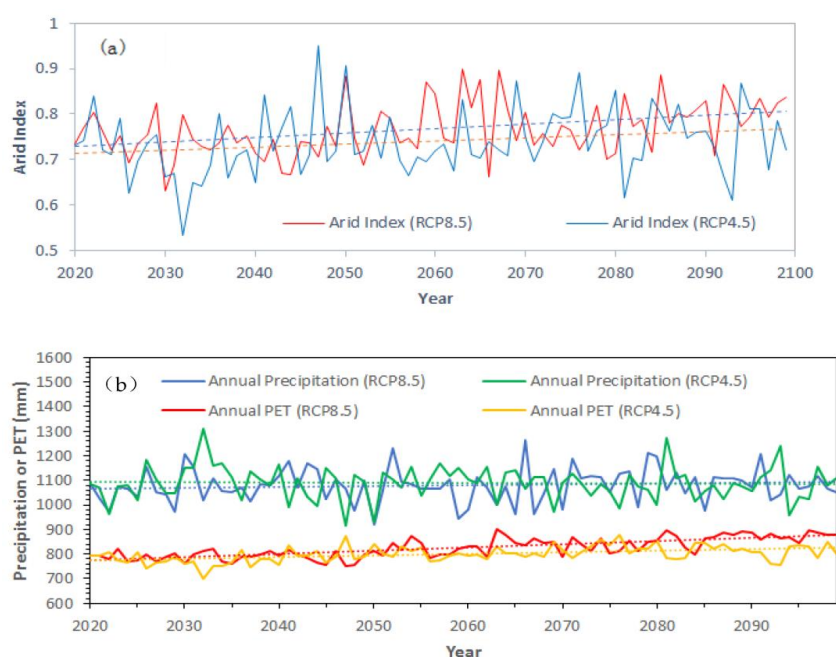


Fig. 2. The Projections of drought indexes over China for 2020-2100
Source: <https://data.cma.cn/site/subjectDetail/id/101.html>

Summary. In the past 60 years, China's climate has been on a humid trend, especially in the western region, and in the past 10 years, the climate has become wetter. Compared with the 1960s, the dry area has decreased by approximately 650,000 square kilometers. Analysis of GCM model prediction data shows that China's climate will have a general trend of drying out by the end of this century. Dry areas are mainly concentrated in central and eastern China, while the western region continues to maintain a wet trend.

References

1. *Yuan Jiashuang, Zhang Yongxiang*. Climate change science and carbon neutrality [J]. *Chinese Population·Resources and Environment*, 2022, 32(9): 47-52.
2. *Ding Minglei, Yang Xiaona, Zhao Rongqin*, et al. Optimization of land spatial pattern under the carbon neutrality goal: Theoretical framework and practical strategies [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(5): 1137-1147.
3. *Xiong Su, Luo Rong*. Green development of China's agriculture under the "double carbon" goal: Theoretical framework, review of dilemmas and solutions to the problem [J]. *Rural Economy*, 2023(2): 106-115.
4. *Zhou Jian, Li Xiaoyuan, Deng Yirong*. Progress, implementation paths and prospects of carbon neutrality practice [J]. *Environmental Monitoring Management and Technology*, 2023, 35(2): 8-11.

RAINFALL RATE MONITORING AND FLOOD WARNING TECHNOLOGY

J. T. Makulov

*Namanagan State University, Geography Department teacher
jmakulov@mail.ru*

In the article, the regions where floods are observed in the territory of our Republic as a result of the intensity of rain. Units of measurement of rain intensity. Targeted flood warning technologies have been analyzed in the regions.

Keywords: emergency; risk; threat; monitoring; forecast; targeted warning; rain intensity; information exchange.

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ДОЖДЕЙ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О НАВОДНЕНИЯХ

Ж. Т. Макулов

Наманганский государственный университет, jmakulov@mail.ru

В статье описано исследование регионов страны, где в результате сильных дождей часто наблюдаются. Приводятся единицы измерения интенсивности осадков. Проанализированы технологии адресного предупреждения о наводнениях в регионах.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; риск; угроза; мониторинг; прогноз; целенаправленное предупреждение; интенсивность дождя; обмен информацией.

The existing scientific potential of our country and modern information and communication technologies are not being used sufficiently to solve the problems in the field of protection of the population and territories in emergency situations. Material and technical support of rescue structures, training of qualified personnel in the field of protection of the population and territories in emergency situations, training citizens to act correctly in such situations, existing risks associated with the increase of dangerous natural processes, Also, the system of timely and accurate notification of the danger of man-made accidents and accidents does not fully meet today's requirements [1].

In particular, it is necessary to further modernize the emergency situation monitoring and forecasting system. Today, this system does not allow to address the existing risks of dangerous hydrometeorological conditions and the mechanisms of action when they occur. It is necessary to significantly improve and increase the quality of work on monitoring and forecasting of emergency situations, to systematize work on hydrometeorological and seismic

observations, and to identify the risks of emergency situations in large hydrotechnical structures and water bodies.

Today, almost all mountainous and sub-mountainous areas of Uzbekistan are areas with a high flood risk. Fergana Valley is especially at risk of this event. In addition, Namangan, Fergana regions, followed by Surkhandarya, Tashkent, Samarkand and Kashkadarya regions were recognized as relatively high flood risk regions [2]. In the foothills and adjacent plains of our republic, floods occur more often as a result of heavy rains. In the mountainous region where large snow and ice sheets are scattered, the yurymali type is more common. The hailstorm type of flood poses a great danger to the population and regions and causes a lot of economic damage. Timely identification, recording and notification of the factors that cause danger are important for the proper behavior of the population located in dangerous places, especially in areas prone to landslides and floods. The large number of factors involved in the formation of a flood makes it difficult to predict it in time. However, the timing of the flood season can be predicted. According to this approximate information, special walls, levees, dams and other protective structures are built to protect against floods in places with a high risk of flooding. Residents in flood risk areas should be warned within ten minutes, maximum within 1-2 hours. Usually, an alarming situation occurs as a result of overflowing river and stream water, strong roaring in their upper part, large stones hitting each other in the stream. It is necessary to strengthen the banks of riverbeds, reservoirs, and canals in flood-prone areas, and in places where there are no such structures, flood flow traps or networks directing the flow to places where it does not harm the population should be built.

Rain falls mainly on days with positive temperatures. They are one of the main sources of river saturation and are characterized by quantity, duration, precipitation rate, and precipitation area. The ratio of the amount of rain (X) to its duration (T) determines the rate of precipitation (i): $X \text{ mm} \sim T \text{ min}$ Hail rains fall for a relatively short time, but at a high rate. The concept of rain is conditional. For example, in Russia, rains that fulfill the condition of $i=0.5 \text{ mm/min}$ are considered to be torrential rains, while in the USA, the condition $i = 1.28 \text{ mm/min}$ is accepted [3]. In Uzbekistan, this indicator is accepted as $i = 1.66 \text{ mm/min}$. That is, rain is short-term atmospheric oil that rains violently; heavy rain. Sometimes, sleet and snow flakes fall. The rate of precipitation of hail reaches 100 mm per hour. Hail falls not from clouds, but from unstable air masses located at cold fronts in the atmosphere (see Atmospheric fronts) or as a result of convection. It can damage the national economy, especially qx, and cause floods [4]. Precipitation rate is determined as an arithmetic average value based on long-term observations at a certain meteorological station. In Jakhan,

modern technologies for measuring rainfall intensity and flood warning have been developed.

1. The Tipe Bucket Rain Gauge is installed on Capricorn FLX and Magellan and MicroServer Weather weather stations. Bucket Rain Meter The tilting bucket meter consists of a funnel collector with a knife edge that directs water to the mill bucket mechanism. The mechanism is designed so that for every 0.01 inch of rainfall one of the bucket-type alternatives is collected. A magnet is attached to the tip of the bucket, which is the tip of the bucket, and acts as a magnetic switch to signal the accumulation of data into the data logger. Calming buckets are the most widely used rain sensors in the world. The technology has been around for a long time and the mechanism is simple and mechanical. This sensor has a low price and is very reliable. Disadvantages: The accuracy of the bucket sensor is based on the exact amount of precipitation. Increased rainfall generally results in more reading errors. Prone to errors due to evaporation, splashing and high winds. Applications: Rain accumulation is best used compared to other bucket sensors. Specifications: Resolution: 0.01" Accuracy: ± 1 %/hour or less Collection diameter: 6" As rain accumulation there is a heating option for measuring snowfall.

2. The Orion Rain Sensing Device is installed at the Orion Weather Station. Rain measurement is based on an impact sensor that detects the impact of individual raindrops. The signals from the impacts are proportional to the size of the droplets. In this way, the signal from each droplet can be converted directly into the accumulated precipitation. Due to the measuring method, flooding, clogging, wetting and evaporative loss are eliminated when measuring rain. Does not require maintenance. Clear in heavy rainfall conditions. Not affected by clogging and evaporation. Hail detection. High resolution output. Disadvantages: In foggy and rainy conditions. Applications: Ideal for low maintenance weather station installations. Specifications: Collection area: 60 cm² Accuracy: $\pm 5\%$ (spatial variations may exist) Resolution 0.001 inch (0.0254 mm)

3. The Pulsar 600 Doppler radar precipitation sensor is installed at the Pulsar weather station. Precipitation is measured with 24 GHz Doppler radars, which measure the speed of a single drop of rain or snow. The amount and intensity of precipitation is determined by the relationship between droplet size and speed. A Doppler radar sensor can detect (measure) raindrop sizes from 0.3 mm to 5.0 mm. The sensor responds quickly with a resolution of 0.0004 inches (0.01 mm). Know the difference between snow and rain. Disadvantages: If the droplet size is outside the measurement range, the accuracy decreases. Applications: The sensor is ideal for applications that require high accuracy to report the onset of rain. For example, a folding rain gauge will not report until 0.01" of precipitation has accumulated. The Doppler radar sensor reports rain

when the accumulation time reaches 0.0004. Specifications: Measuring range: drop size 0.3 - 5 mm Resolution: 0.0004" (0.01 mm) Repeatability: type > 90% Type: Rain / Snow.

4. Magellan MX600 Magellan MX600 weather station with optical rain sensor is available. Built-in optical rain gauge that automatically senses water hitting the exterior surface and provides measurements based on droplet quantity and size. Algorithms interpret this information and simulate the output of the bucket measured by the rain gauge. An optical rain gauge has no moving parts involved in moving the bucket gauges. Disadvantages: Small size. Applications: Best used for mobile and portable applications for general monitoring such as rainfall event and duration recording. Application such as vehicle control, power line monitoring and aircraft testing. This sensor is available in the Magellan MX600 weather station with GPS, making it ideal for portable applications that require rain measurement. Specifications: Resolution: 0.01inch Accuracy: ± 6 inches/hour ± 2 % [5].

In the Republic of Uzbekistan, the rate of precipitation is measured by mechanical Tretyakov and Pluviograph rain gauges at hydrometeorological stations. These rain gauges are analyzed by recording the amount of rain that has fallen over a period of time on graph paper. The level of accuracy is high but lags behind in time. In the example of Namangan region, we see that these rain gauges are installed in meteorological stations located in Namangan city, Pop city and Kamchik pass. A flood is caused by heavy rain that falls on a small area in a short period of time. There are not enough meteorological stations to measure rainfall intensity in flood zones observed in the northern regions of the province. In addition, rain gauges are obsolete and do not meet the requirements of addressable warnings of floods. It is necessary to install the above-mentioned foreign rain speed measurement and remote reporting technologies in areas with a high flood risk in our country or to create an alternative model of these technologies. In this way, it is possible to create an address warning system for residents in areas with a high risk of flooding.

References

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan "On measures to fundamentally increase the efficiency of the system of prevention and elimination of emergencies " No. PF-5066 of 01.06.2017. No. 109 (6803) of "Khalk sozi" newspaper dated June 2, 2017
2. The official website of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan <https://www.fvv.uz/ru/>
3. The official website of the Statistical Committee of the Republic of Uzbekistan <https://stat.uz/uz/>
4. <https://qomus.info/encyclopedia/cat-j/jala-uz/>

5. <https://columbiaweather.com/resources/rain-measurement/>
6. Akaboyev, I. Z. "ANALYSIS OF DRAINAGE AND RAIN INTENSITY TO SOLVE THE FLOOD PROBLEM IN TASHKENT." Экономика и социум 6 (73) (2020): 126-129.
7. Джумаханов Ш. З., Макулов Ж. Т. СОТРУДНИЧЕСТВО РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН С ГОСУДАРСТВАМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ // Экономика и социум. 2019. №11 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotrudnichestvo-respubliki-uzbekistan-s-gosudarstvami-tsentralnoy-azii-po-predotvrascheniyu-transgranichnyh-chrezvychaynyh> (дата обращения: 14.02.2024).

UDC 551.48

GEOGRAPHICAL PATTERNS OF WATER RESOURCES DISTRIBUTION (ON THE EXAMPLE OF CHINA)

Tang Pei

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus,
belrus@bsmu.by*

The territory of China is characterized by a great variety of nature. Large plains, mountainous regions, and deserts are spread over a vast area. The climate is diverse. In contrast to Russia, latitudinal natural zoning is violated on the territory of China. A large part of the country is subject to a monsoon climate. The presence of deserts and karst areas complicates the natural features of the region in terms of the distribution of water resources. Therefore, the topic of the master's thesis from this point of view is relevant, has theoretical and practical significance, and is of interest to specialists in Belarus.

Keywords: China Water Resources; Geographical Distribution of Water Resources; South-North Water Disparity; weather conditions; socio-economic system.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (НА ПРИМЕРЕ КИТАЯ)

Тан Пэй

*Белорусский государственный университет, Независимости, 4, 220030,
Минск, Беларусь, belrus@bsmu.by*

Территория Китая отличается большим разнообразием природы. Равнины, горные районы и пустыни раскинулись на обширной территории. Климат разнообразен. В отличие от России, на территории Китая нарушается широтная природная зональность. Большая часть страны относится к муссонному климату. Наличие пустынь и карстовых районов региона, с точки зрения распределения водных ресурсов, является осложняющей природной особенностью. В связи с этим тема магистерской диссертации является актуальной и имеет теоретическую и практическую значимость, представляя интерес для специалистов Беларуси.

Ключевые слова: водные ресурсы Китая; географическое распределение водных ресурсов; водное неравенство погодных условий между югом и севером; социально-экономической системы.

Introduction. The distribution of water resources in China exhibits significant regional imbalances, mainly characterized by "more water in the south, less water in the north; more water in the east, less water in the west." This

and varied climate conditions. For example, the meltwater from glaciers in the Tibetan Plateau serves as an important water source for the northwest region, while the basins of major rivers such as the Yangtze and the Yellow River support the water resource needs of the eastern and central regions. Additionally, the monsoon climate significantly affects the water resource distribution in the southeastern part of China, where the summer monsoon brings abundant rainfall, providing ample water resources for the region.

However, climate change poses a potential threat to the geographical patterns of China's water resource distribution. The increase in global temperatures leads to more frequent extreme climate events, such as floods and droughts, presenting new challenges for the sustainable use and management of water resources. Particularly in the arid regions of the north and the water-scarce areas of the southwest, climate change may further exacerbate the scarcity of water resources.

This study analyzes the distribution and characteristics of water resources in different geographical regions of China, exploring how topography and climate factors shape the geographical patterns of water resources and predicting the potential changes in these patterns and their impact

Methods. Identify Data Requirements: Clarify the purpose of the research and the types of data needed (such as precipitation, river flow, temperature, etc.).

Time Range Selection: Determine the time period for data collection (such as daily, monthly, yearly) based on research objectives.

Data Sources: Identify the sources of data, which may include ground observation stations, satellite data, climate model outputs, etc.

Descriptive Statistics: Calculate basic statistical measures, such as mean, median, standard deviation, etc., to describe the fundamental characteristics of the data.

Trend Analysis: Use statistical methods (such as linear regression analysis) to analyze the trends in data over time.

Periodicity Analysis: Identify periodic patterns in the data, possibly using methods such as Fourier transform or wavelet transform.

Results. This study aims to explore the trends in water resource distribution across different regions of China and the impact of climate change on these trends. By integrating Geographic Information Systems (GIS), hydrological models, and statistical analysis methods, we have conducted a detailed analysis of water resource data and climate variables over the past ten years. Here are the main findings:

1. Trends in Water Resource Distribution. Increased North-South Disparity: Compared to thirty years ago, the amount of water resources in southern China has relatively increased, while water resources in the northern region have

continued to decrease, exacerbating the pattern of abundant water in the south and scarcity in the north.

Intensified Seasonal Variations: The precipitation in spring and autumn shows a downward trend, while the frequency and intensity of extreme precipitation events in summer have increased, leading to a higher risk of floods.

Impact of Climate Change.

2. Temperature Rise: The analysis shows that the average national temperature has risen by about 0.8°C over the past thirty years, especially more pronounced in the northwest and northeast regions.

Changes in Precipitation Patterns: Climate change has significantly affected the distribution of water resources through changes in precipitation patterns, particularly in the Yellow River and Yangtze River basins, where the spatial and temporal distribution of precipitation has changed.

3. Influence of Geographical Patterns. Topographical Factors: Water resources in mountainous and plateau areas are more significantly affected by rising temperatures and glacier melting, impacting water supply in downstream areas.

Changes in Land Use: Urbanization and agricultural expansion have altered land cover and land use patterns, affecting the runoff and evaporation of regional precipitation, thereby impacting the availability of water resources.

This study provides a comprehensive analysis and understanding of the complex mechanisms of geographical patterns and their influence on water resource distribution in China under the impact of climate change, offering a scientific basis for water resource management and policy formulation.

Discussion. Reflection on the Main Findings. Increased North-South Disparity in Water Resources. The growing disparity between the water-rich South and water-scarce North underscores the urgency in revising water management and allocation policies. This trend not only highlights regional vulnerabilities but also calls for innovative solutions to balance water distribution, such as improving the efficiency of water transfer projects like the South-North Water Transfer Project.

Intensified Seasonal Variations and Flood Risks. The observed increase in extreme precipitation events during summer months suggests a shift towards more volatile and unpredictable water resources. This necessitates enhancing flood prediction and management capabilities, as well as investing in infrastructure that can withstand extreme weather events.

Temperature Rise and Precipitation Pattern Changes. The nationwide temperature increase, especially pronounced in the northwest and northeast, indicates a clear signal of climate change. The alteration in precipitation patterns, particularly in major river basins, has significant implications for agricultural planning, water storage strategies, and overall water security.

Topographical and Land Use Influences. The distinct impact of rising temperatures and glacier melting in mountainous and plateau regions highlights the importance of protecting these critical water sources. Additionally, the effects of urbanization and agricultural expansion on water availability stress the need for sustainable land use practices that consider water conservation.

Broader Implications. The findings of this study emphasize the complexity of water resource management in the face of climate change. It is evident that both natural factors (such as geography and climate) and human activities (such as land use changes) play significant roles in shaping water resource distribution.

There is a clear need for adaptive management strategies that can respond to changing water availability and distribution patterns.

Future Research Directions. Further research is needed to refine the models used for predicting the impacts of climate change on water resources, incorporating more detailed climate scenarios and local variability.

There is also a need for longitudinal studies that can track the long-term effects of climate change mitigation and adaptation measures on water resource distribution and availability.

Conclusion. The trends observed in this study provide critical insights into the challenges posed by climate change to water resource management in China. By understanding these dynamics, policymakers, researchers, and practitioners can better prepare for the future, ensuring water security and sustainability in the face of changing climatic conditions. The discussion highlights the necessity for integrated, forward-thinking approaches that consider both the natural variability of water resources and the impacts of human activity.

Summarize. This study conducted an in-depth analysis of the changing trends of water resources distribution and the impact of climate change in different regions of China. Through the comprehensive application of geographic information systems (GIS), hydrological models and statistical analysis methods, the study revealed important changing characteristics and future potential trends of China's water resources distribution in the past decades.

Short corollary: Water resources management needs adaptive adjustments: As the impact of climate change on water resources distribution intensifies, China needs to further optimize water resources management strategies, especially in terms of improving water resource utilization efficiency and promoting rational allocation of water resources across regions.

Strengthen climate change adaptation measures: Facing the challenges brought by climate change, it is particularly important to strengthen the construction of early warning systems and response capabilities for extreme weather events, especially in terms of flood risk management and drought resistance strategies.

UDC 551.515

CLIMATE AND HYDROLOGICAL CHANGES IN XINJIANG (CHINA) AND THEIR IMPACTS

Yu Zhikun

*Belarusian State University, Nezavisimosti., 4,
220083, Minsk, Belarus, yuzhikun3322@gmail.com*

Based on the findings, combined with literature review and modeling predictions, the climate and hydrological changes of Xinjiang were systematically analyzed, and the impact of climate change on the ecology and development of drylands was examined. The results show that temperature and precipitation will also tend to increase in the 21st century, but the overall pattern of dry climate in Xinjiang will not change; the frequency and intensity of extreme climate change events in Xinjiang will further increase in the future.

Keywords: *China; Xinjiang; climate; hydrology; arid areas; ecosystem.*

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СИНЬЦЗЯНЕ (КИТАЙ), И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Ю Жикунь

*Белорусский государственный университет, Независимости, 4,
220083, Минск, Беларусь, yuzhikun3322@gmail.com*

На основе полученных данных в сочетании с обзором литературы и прогнозами моделирования были систематически проанализированы климатические и гидрологические изменения Синьцзяна, а также рассмотрено влияние изменения климата на экологию и развитие засушливых территорий. Результаты показывают, что температура и количество осадков также будут иметь тенденцию к увеличению в 21 веке, но общая картина засушливого климата в Синьцзяне не изменится; в будущем частота и интенсивность экстремальных проявлений изменения климата в Синьцзяне будут еще больше увеличиваться.

Ключевые слова: *Китай; Синьцзян; климат; гидрология; засушливые районы; экосистема.*

Introduction. Since the 21st century, Xinjiang's "warm and humid" climate and its impacts have attracted widespread attention and discussion from the scientific community and the public. Based on the searched data, combined with literature review and model simulation predictions, Xinjiang's climate and hydrological changes were systematically analyzed, including changes in temperature, precipitation, extreme events, glaciers, lakes and river runoff. This

paper systematically reviews the impact of hydrological changes on the ecology and development of Xinjiang from aspects such as mountainous areas, basin topography, regional water vapor sources and sinks under the influence of climate, and their impact on precipitation and water vapor cycle processes.

Data and Methods. Observed daily value temperature, maximum and minimum temperatures, and precipitation data were provided by the National Meteorological Information Center of the China Meteorological Administration (<http://www.nmic.gov.cn/>). Calculate the extreme climate index of warm days, warm nights, cold days, cold nights, maximum Tmax, minimum precipitation, number of heavy rain days. Potential evapotranspiration (PET) is estimated using the Penman-Monteith (P-M) equation and actual evapotranspiration (AE) is estimated using Budyko theory (Fu, 1981; Yao et al., 2020 a). This article uses the analytical solution of Budyko theory proposed by Fu (1981), which can be expressed as:

$$\frac{ET}{P} = 1 + \frac{PET}{P} - \left[1 + \left(\frac{PET}{P} \right)^{\bar{w}} \right]^{1/\bar{w}}$$

Results. Based on observational meteorological records and multisource data, it is revealed that Xinjiang has experienced a significant warming and wetting trend since 1961. The annual average temperature change trends in Xinjiang from 1961 to 2018 was higher than the global land and national levels, with a warming rate of about 0.30 °C. /10 a; the annual precipitation has an obvious increasing trend, with an increase rate of 9.9 mm/10 a. The increase is more significant in mountainous areas, showing obvious "humidification altitude dependence" characteristics, and at the same time, the inter-annual variability of precipitation has increased. Extreme high temperature events in Xinjiang have increased significantly, extreme cold events and cold waves have decreased significantly, and precipitation changes have shown an extreme trend. The climate has changed significantly since the 21st century, manifested by a sudden increase in temperature and maintenance of high temperature fluctuations, and a slowdown in the increase in precipitation. Xinjiang's climate is experiencing both "warm-humidification" and "warm-drying", with most areas showing signs of a "wet-dry transition" and extreme events occurring frequently.

The forecast results show that both temperature and precipitation will also show an increasing trend in the 21st century, but the overall pattern of arid climate in Xinjiang will not change; in the future, the frequency and intensity of extreme warm events and extreme precipitation events in Xinjiang will further increase, and the frequency and intensity of extreme cold events will increase further. If it decreases further, the amount of heavy precipitation and

the frequency of heavy precipitation events will increase significantly. The above studies show that Xinjiang has had significant hydrological and ecological effects on global climate change in recent decades, and may intensify in the future, with potential impacts on the region's ecology, water resources security, and sustainable socioeconomic development. This result can provide scientific and technological support for the comprehensive assessment of the impact of hydrology, water resources and ecological environment in Xinjiang under the background of climate change.

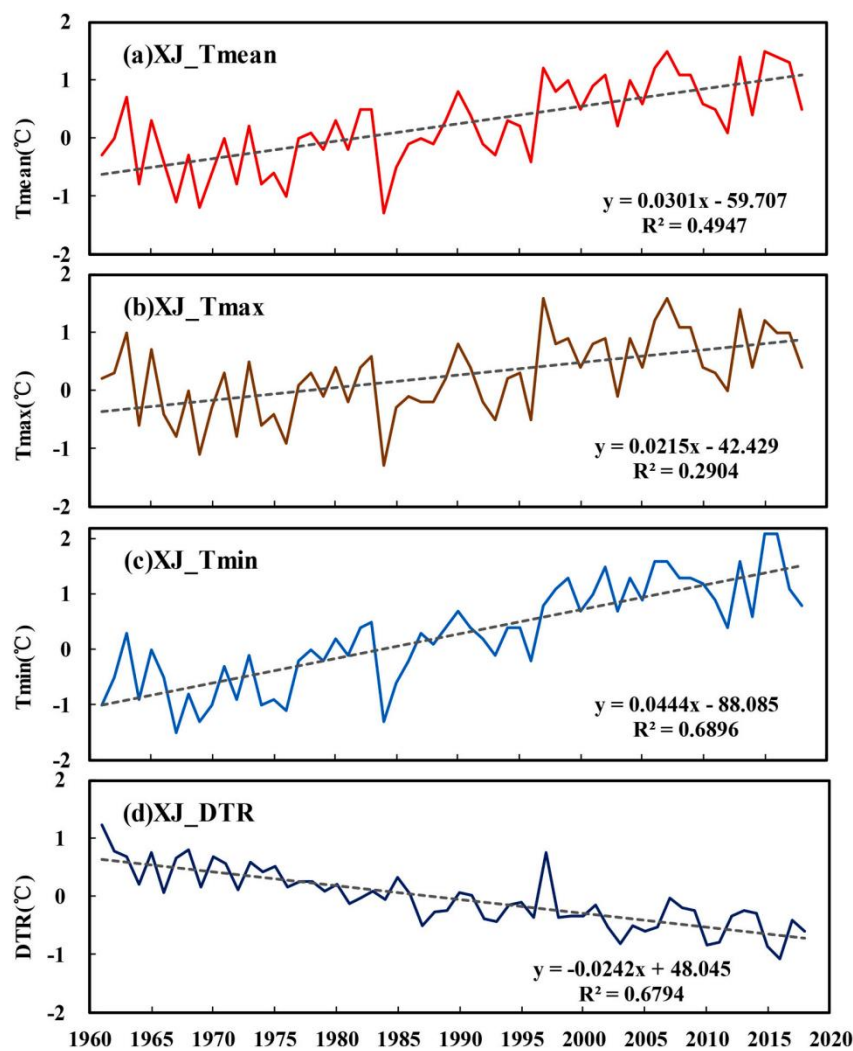


Fig. 1. Time series of annual air temperature value (Tmean, a) anomalies, maximum (Tmax, b) and minimum (Tmin, c) air temperature anomalies and DTR (d) in XJ. The anomaly was calculated based on 1971-2000 climatological data.

Source: <https://data.cma.cn/site/subjectDetail/id/101.html>

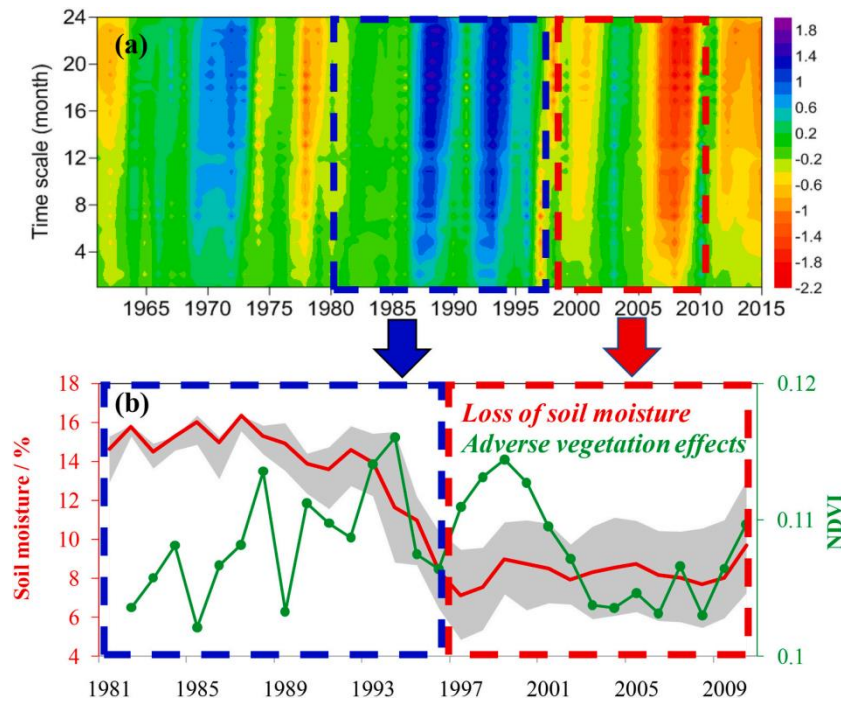


Fig. 2. (a) Change in SPEI at different timescales (1 to 24 months) in XJ during 1961- 2015. (b) Evolution of soil moisture (red solid line) and vegetation NDVI (green solid line) in XJ during 1982-2010. Red dotted line represents the warm – humid climate during 1985-1997; blue dotted line represents the climatic wet – to – dry shift since 1997. Gray shadow represents soil moisture at each depth (0 - 50 cm) in XJ.
Source: <https://data.cma.cn/site/subjectDetail/id/101.html>

Conclusions. At present, there is still a lack of first-hand monitoring data in high-altitude areas and desert hinterlands, which limits the understanding of the interaction processes and mechanisms of Xinjiang's mountain-oasis-desert climate and hydrological systems. In the future, we need to comprehensively consider the three major ecological and water cycle processes of Xinjiang's mountains, oases and deserts, establish a long-term and continuous monitoring system, and improve the impact and adaptation system of the climate-ecological-economic-social system, which will help us deal with climate warming and A comprehensive assessment of its impact on hydrology, water resources and ecological environment in Xinjiang. Make more reasonable predictions about the hydrology and climate of this special situation in Xinjiang.

References

1. Wei Guanghui. Some thoughts on water resources and ecological security in the Tarim River Basin in Xinjiang [J]. China Water Resources, 2021(05):28-30.
2. Yang Pengnian. Analysis of water resources status and response measures in Jimunai County, Xinjiang [J]. Shaanxi Water Conservancy, 2020(10):19-21.