

БАЛКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

**Сборник материалов
Всероссийской научно-практической конференции,
посвященной 105-летию со дня рождения
Владимира Александровича Балкова
и профессиональным праздникам Всемирный день воды,
День работников гидрометеорологической службы
(г. Уфа, 31 марта 2026 г.)**



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

БАЛКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

*Сборник материалов
Всероссийской научно-практической конференции,
посвященной 105-летию со дня рождения
Владимира Александровича Балкова
и профессиональным праздникам Всемирный день воды,
День работников гидрометеорологической службы
(г. Уфа, 31 марта 2026 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2026

УДК 556+504.06+551.5
ББК 26.222+20.17+26.23
Б20

*Публикуется по решению кафедры биологии и экологии
Института природы и человека УУНУТ.
Протокол № 6 от 02.02.2026 г.*

Редакционная коллегия:

старший преподаватель **Л. А. Курбанова** (отв. редактор);
канд. геогр. наук, доцент **Р. Г. Камалова**;
старший преподаватель **И. Ю. Лешан**;
канд. геогр. наук, доцент **Е. Н. Сайфуллина**;
старший преподаватель **Р. Ш. Фатхутдинова**

Балковские чтения: сборник материалов Всероссийской научно-практической
Б20 конференции, посвященной 105-летию со дня рождения Владимира
Александровича Балкова и профессиональным праздникам Всемирный день воды,
День работников гидрометеорологической службы (г. Уфа, 31 марта 2026 г.)
/ отв. ред. Л. А. Курбанова [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и
технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2026. – 154 с. – URL:
<https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2026/123.pdf> – Загл. с титула
экрана.
ISBN 978-5-7477-6404-0

В сборнике представлены научные статьи, посвященные проблемам гидрологии,
рационального использования водных ресурсов, охраны окружающей среды, изучения
глобальных и региональных изменений климата, а также применения ГИС-технологий
и методов дистанционного зондирования в гидрометеорологии.

Предназначен для студентов, магистрантов, аспирантов и всех интересующихся
актуальными проблемами в области гидрометеорологии.

Все материалы представлены в авторской редакции.

УДК 556+504.06+551.5
ББК 26.222+20.17+26.23

ISBN 978-5-7477-6404-0

© Уфимский университет, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Памяти Владимира Александровича Балкова.....	6
--	---

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Григорьева А.С. Изменение ровней воды и размыв берегов реки Белой: тенденции и прогноз для села Охлебинино.....	9
Гумирова А.М. Водный и уровенный режим бассейна реки Дёма.....	13
Нуриманов Р.Ф. Анализ высших уровней воды и наибольших расходов воды на реке Белая у города Уфа.....	17
Фатхутдинова Р.Ш. Динамика обмеления реки Белой в районе Уфы: причины, последствия и тенденции.....	21
Хоссейн Рокнизаде Моделирование гидрологического режима и климатическая изменчивость стока реки Тобол (Западная Сибирь) по данным ERA5.....	25

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Гумирова А.М. Динамика изменения гидрохимических показателей и комплексная оценка качества воды р. Дёма – г. Уфа.....	32
Гумирова А.М. Характеристика и использование озера Солдатское.....	35
Закиров И.В. География использования водных ресурсов в Республике Башкортостан.....	40
Кадыров Т.К. Программа расчета водного баланса.....	44
Фатхутдинова И.Ш. Динамика загрязнения нефтепродуктами водных ресурсов реки Белая в черте города Уфа.....	49
Фатхутдинова И.Ш. Мониторинг нитратного азота в водных ресурсах реки Белая (в пределах города Уфа).....	52

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Каба Джиба Оценка биомассы деревьев различными аллометрическими моделями.....	55
Фаронова Ю.В. Экологическое развитие субъектов РФ в контексте целей пространственного развития страны.....	60
Хайруллина Л.А., Белан Л.Н., Барановская Н.В., Телягисов С.Т. Микроэлементный состав костной ткани млекопитающих Республики Башкортостан.....	67

Подласкина С.Ю., Яковленко Н.В. Оценка влияния древесных насаждений на биоклиматический комфорт спортсменов на открытых теннисных кортах с использованием индекса WBGT.....	71
--	----

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ. ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ

Гумирова А.М., Нуриманов Р.Ф. Морфодинамическая трансформация микроландшафтов малой реки в условиях заболачивания (на примере реки Тюлянь).....	77
Нурмухаметова Э.З. Особенности почвенного покрова заболоченной местности.....	81
Нурмухаметова Э.З. Водный режим болотных массивов.....	84

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Маннанова А.Р. Предварительные результаты анализа внутригодового распределения стока реки Нугуш по спутникам GOOGLEEARTH.....	87
--	----

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА. КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ

Абдраимов Р. Моделирование водного баланса рек центрального Алтая (на примере рек Кучерла и Урсул).....	92
Асылова Д.Д. Исследование повторяемости скользкости на территории Удмуртской Республики.....	96
Камалова Р.Г., Адельмурзина И.Ф. Изменения гидротермических условий Учалинского района Республики Башкортостан.....	100
Козлова А.С. Влияние температурных условий зимнего периода на формирование стока реки Белой.....	107
Михайлов Р.П. Анализ частоты молний в четырех моделях СМIP6.....	113
Нарети Пассмо Пита Изменения температуры поверхности вод Индийского океана и их влияние на атмосферные процессы в Восточной Африке.....	118
Ормели Е.И., Ерова В.И. Характеристика современного режима атмосферных осадков на территории Саратовской области.....	125
Сайфуллин Р.Р. Влияние квазидвухлетних колебаний на стратосферу Арктики.....	130
Салеева Ю.Ф. Исследование временных изменений характеристик влажности на территории Забайкальского края.....	136

Тимербулатов А.А. Учет нормативных нагрузок при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий для проектирования воздушных линий электропередач.....	141
Шаймурзина А.Ф. Ветроэнергетические ресурсы Республики Башкортостан.....	146
Янгиров А.Д., Аухадеев Т.Р. Изменения основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в период 1966-2024 гг.	150



ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ БАЛКОВ
(31.03.1921 – 03.09.2009)
географ-гидролог,
доктор географических наук, профессор

Владимир Александрович Балков родился 31 марта 1921 г. в городе Кунгур Пермского края в семье железнодорожного рабочего. В 1938 г. окончил среднюю школу №73 г. Кунгура и поступил на геолого-географический факультет Пермского университета.

В 1942 г. призван в ряды Красной армии. Проходил службу в различных авиационных учебных заведениях (Ижевск, Ишим, Рига) в качестве курсанта,

служил авиамехаником по вооружению 48-го истребительного авиаполка в Приморском крае (1943–1944).

В 1946 г. после демобилизации окончил геолого-географический факультет Пермского государственного университета (ПГУ) по специальности «География».

В 1946 г. был назначен начальником проектно-изыскательской русловой партии Управления речных путей Камского бассейна.

В 1952 г. перешел на работу на кафедру физической географии Пермского университета, где работал старшим преподавателем (1952–1960), доцентом (1960–1968), профессором (1968–1969). В период 1960–1962 гг. был деканом географического факультета ПГУ.

В 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию (под руководством профессора МГУ им. В.М. Ломоносова Б.А. Анполова) на тему «Исследование весеннего стока рек водосбора Пермского водохранилища для целей прогноза».

В 1966 г. защитил докторскую диссертацию (научный консультант – профессор Г.А. Максимович) на тему «Влияние карста на сток рек в разных физико-географических условиях: на примере Европейской части СССР и Северного Кавказа».

Ученое звание профессора присуждено в 1968 году. Совместно с А.С. Шкляевым стал одним из организаторов кафедры гидрологии ПГУ. Вместе с профессорами А.С. Шкляевым и С.Н. Лаптевым считается одним из основателей школы гидрологических исследований и организаторов подготовки инженеров-гидрологов в ПГУ, которое началось с 1967 г.

В 1969 г. после защиты докторской диссертации был избран заведующим кафедрой физической географии Башкирского государственного университета (ранее – БГУ имени 40-летия Октября) и переехал в г. Уфу.

В 1975–1990 гг. – заведующий отдельной кафедрой гидрологии суши Башкирского государственного университета, после – профессор кафедры физической географии и гидрологии Башкирского государственного университета. Подготовил несколько кандидатов географических наук.

Область научных интересов А.В. Балкова – изучение влияния природных, в т.ч. карстовых и антропогенных факторов на формирование водного и солевого балансов реки многолетних колебаний их элементов на территории Урала и Приуралья. Его работы в Пермском госуниверситете были посвящены исследованию стока р. Камы и ее крупных притоков – Чусовой, Уфы, Белой, а также климату Пермской области. Разработал методы прогноза притока весенних вод в водохранилище Камской ГЭС. Установил закономерности речного стока в карстовых районах европейской части союза. В дальнейших монографиях обобщены условия формирования, современное состояние, перспективы использования и охрана водных ресурсов территории Башкортостана.

Автор более 150 научных работ, в т. ч. монографий «Исследование весеннего стока рек водосбора Пермского водохранилища для целей прогноза»

(1958), «Климат Пермской области» (1963), «Водные ресурсы Башкирской АССР (условия формирования и хозяйственная оценка)», «Инженерно-гидрологические расчеты» (1996).

Награжден медалями «За Победу над Германией» (1945), «За участие в Великой Отечественной войне» (1946), «За трудовую доблесть» (1952), «За трудовое отличие» (1971) и др. Награжден Почетными грамотами Пермского и Башкирского госуниверситетов.

Скончался 3 сентября 2009 г. в Уфе.

Библиографический список

1. Отечественные гидрологи XX в.: историко-биографическое описание: монография / под ред. Д.Е. Клименко. Екатеринбург: ООО «ИПК «Уральский рабочий», 2018. 888 с.
2. Профессора Пермского университета. 1916–2016 / под ред. В.И. Костицына. Пермь: ПГНИУ, 2016. 336 с.
3. Региональный интерактивный энциклопедический портал [Сайт] URL: <https://bashenc.online/ru/articles/81954/> (дата обращения 25.03.2026 г.).

УДК 556.537

А.С. Григорьева

студентка 4 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Ш. Фатхутдинова**

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

**ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЕЙ ВОДЫ И РАЗМЫВ БЕРЕГОВ РЕКИ БЕЛОЙ:
ТЕНДЕНЦИИ И ПРОГНОЗ ДЛЯ СЕЛА ОХЛЕБИНИНО**

Аннотация. В статье рассматриваются уровни воды реки Белая у с. Охлебинино. Проводится анализ изменения высших уровней воды и низших уровней воды за период открытого русла с 1931 по 2024 гг.

Ключевые слова. Река Белая, уровень воды, село Охлебинино, русловые деформации, размыв берега.

Исследование динамики русловых процессов является важной задачей, позволяющая не только определять изменения берегов, но и прогнозировать их развитие для минимизации рисков и планирования хозяйственной деятельности.

Жители прибрежных населенных пунктов, владельцы земельных участков становятся свидетелями и участниками событий, вызванных динамикой русла, таких как обрушение берегов вблизи населенных пунктов с угрозой разрушением домов и инфраструктуры. Освещением этих проблем занимается местные и региональные СМИ, служащие основным общественным индикатором актуальности изучения русловых процессов.

Таким образом на территории Башкирии большое внимание уделяется освещению проблем разрушения частных территорий и домов посредством обрушения берегов реки Белой. Одним из таких участков является с. Охлебинино, в котором большое количество частной территории обвалилось из-за переработки берегов рекой в 2025 г. (рис. 1).

Из рисунка 1 видны следы перемещения русла, характерные для свободно меандрирования (по классификации Государственного гидрологического института), что также объясняет активный размыв на данном участке.

На этом участке наблюдается наибольший размыв берега у с. Охлебинино. Жители села неоднократно обращались к главе республики Радю Хабирову с просьбой помочь в решении проблемы обрушения береговой линии реки Белая. На улице Первомайской, где расположены 11 домов, ситуация с каждым днем ухудшается: обвалы происходят даже зимой, а изменение русла реки угрожает жилым постройкам [До обрыва – метры..., 2025]. В апреле 2025 года снова

наблюдались размывы берегов и у 5 домов полностью были разрушены огороды (рис. 2).



*Рис. 1. Космоснимок размыва правого берега около с. Охлебино
[Яндекс.Карты, 2026]. Красным квадратом выделен участок размыва берега*



*Рис. 2. Разрушение берега р. Белой в с. Охлебино 17.04.2025 г.
[Фото очевидцев; До обрыва – метры..., 2025]*

В следствие чего авторами был проведен предварительный анализ изменения высшего уровня воды и низшего уровня воды за период открытого русла по гидрологическому посту р. Белая – с. Охлебинино с 1931 по 2024 г.

В настоящее время, как по высшим уровням воды (рис. 3), так и по низким уровням воды периода открытого русла (рис. 4) наблюдаются тенденции уменьшения данных показателей, что отражается на уравнениях линии тренда $y = -0,3497x + 164,53$ и $y = -1,5521x + 942,6$ соответственно.

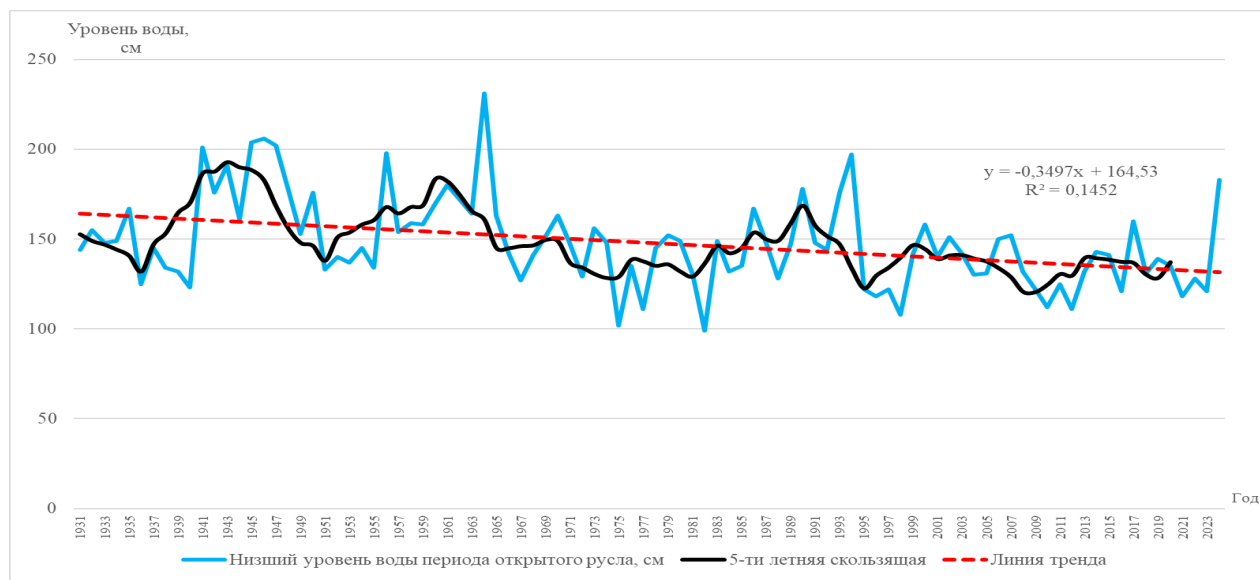


Рис. 3. Пятилетняя скользящая средняя и низшие уровни воды периода открытого русла р. Белая – с. Охлебинино в период 1931–2024 года (составлено автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»)

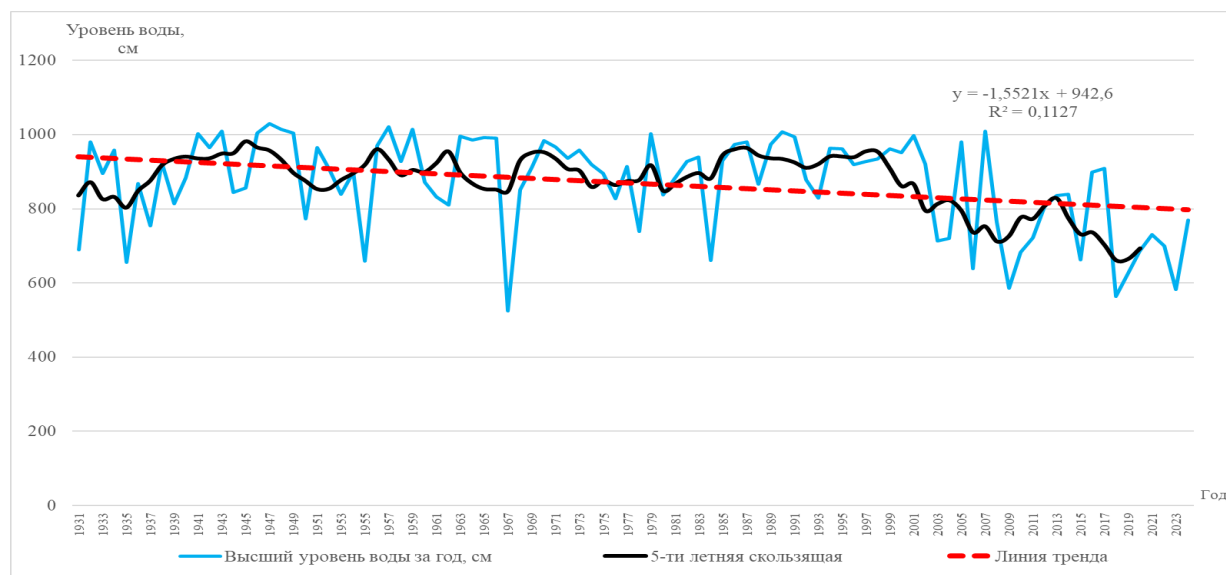


Рис. 4. Пятилетняя скользящая средняя и высшие уровни воды за год р. Белая – с. Охлебинино в период 1931–2024 года (составлено автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»)

Из этого можно сделать вывод, что в скором времени возможно прекращение размыва берега реки Белой около села Охлебинино. Однако, для полноценного прогноза необходимо проанализировать скорость вертикальных и горизонтальных русловых деформаций на данном участке.

Библиографический список

1. Галимова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш. Статистические и математические методы анализа гидрометеорологической информации // учебно-методическое пособие / Том Часть I. Уфа, 2020. 128 с.
2. До обрыва – метры. В селе под Уфой обрушается берег, где стоят дома [Электронный ресурс] URL: <https://ufa.aif.ru/incidents/details/do-obryva-10-metrov-v-sele-pod-ufoy-neskolko-let-obrushaetsya-bereg> (дата обращения 19.12.2025 г.)
3. Камалова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш., Курбанова Л.А., Фирстов А.О. Тенденция изменений температурного режима на территории Республики Башкортостан в холодный период // Известия Иркутского государственного университета. Серия: холодный период // Науки о Земле. 2023. Т. 44.С. 60–73.
4. Фатхутдинова Р.Ш., Камалова Р.Г., Курбанова Л.А. Статистические и математические методы анализа гидрометеорологической информации // Учебно-методическое пособие / Часть II. Уфа, 2022. 128 с.
5. Фондовые данные ФГБУ «Башкирское УГМС».
6. Яндекс карта [Электронный ресурс] URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения 20.03.2026 г.).

© Григорьева А.С., 2026

А.М. Гумирова

студентка 3 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научные руководители: ¹Р.Ш. Фатхутдинова, ²А.О. Фирстов¹старший преподаватель, ²ассистент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ВОДНЫЙ И УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ БАССЕЙНА РЕКИ ДЁМА

Аннотация. Изучение водного и уровня режима реки Дёма приобретает особую значимость в условиях глобальных климатических изменений, приводящих к трансформации сезонного распределения осадков и температурного фона. В статье проанализирована динамика гидрологических показателей за период 1947–2022 гг., проведено сравнение маловодного (1967 г.) и многоводного (2017 г.) периодов на реке Дёма – д. Бочкарёво. Установлено влияние климатических факторов на внутригодовое распределение стока и выявлены тенденции к изменению уровня режима.

Ключевые слова. Уровень режим, водный режим, река Дёма, глобальные климатические изменения, Республика Башкортостан.

Современные изменения глобального климата оказывают непосредственное влияние на региональные гидрологические циклы, что проявляется в смещении сроков фаз водного режима и изменении амплитуды колебаний уровней воды. Для бассейна реки Дёма – второго по величине притока реки Белой – эта проблема стоит особенно остро в связи с высокой хозяйственной освоенностью территории и чувствительностью экосистемы к дефициту водности.

Для выявления и анализа долгосрочных изменений водного режима бассейна реки Дёма был применен метод построения разностных интегральных кривых (РИК) модульных коэффициентов годового стока. Данный метод позволил выделить в многолетнем ряду наблюдений (1947–2022 гг.) выраженные фазы повышенной и пониженной водности. На основании анализа РИК были отобраны годы: 1967 г. как характерный маловодный период и 2017 г. как характерный многоводный период.

Для анализа внутригодовой динамики были построены совмещенные гидрографы расходов и уровней воды за многоводный и маловодный годы (рис. 1, рис. 2), что позволило выявить особенности изменения фаз водного режима в разные по водности периоды.

В 1967 весеннее половодье продолжалось 35 дней, начавшись после завершения зимней межени в первой декаде апреля. Максимальный расход воды в этот период достиг $135 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует экстремально высокому уровню в 560 см, зафиксированному во второй декаде апреля. Минимальный расход во время половодья составил $27,5 \text{ м}^3/\text{с}$, сопровождаясь снижением

уровня до 82 см во второй декаде мая. В остальной период весеннего половодья при расходах от 50 до 135 м³/с уровни воды колебались от 240 до 560 см, демонстрируя интенсивный рост.

Зимняя межень продолжалась 99 дней, завершившись в первой декаде апреля, минимальный расход был зафиксирован на уровне 9,02 м³/с при уровне воды около 50 см. При средних расходах около 17,9 м³/с уровень держался в районе 30–80 см, что показывает относительную стабильность межени.

Летне-осенняя межень длилась 200 дней – со второй декады мая по третью декаду ноября, при расходах воды 9,59–26,9 м³/с уровни составляли 50–82 см, показывая плавную зависимость.

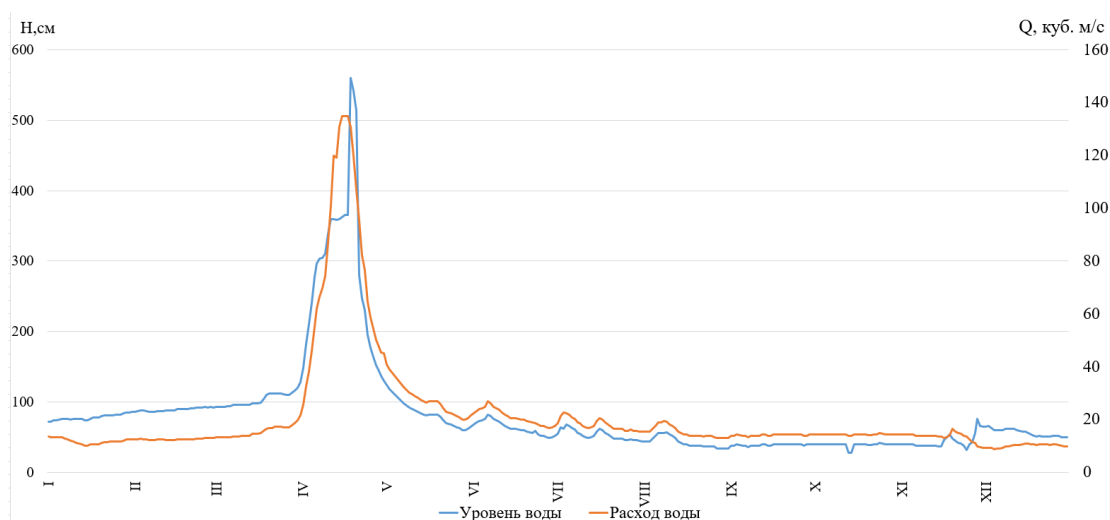


Рис. 1. График расхода и уровня воды в маловодный период за 1967 г. на р. Дема – д. Бочкарёво (составлено автором по данным [Гидрологический..., 1949])

В 2017 году в период весеннего половодья при резком увеличении расхода с 25–30 м³/с до 60–70 м³/с уровень стремительно возрастал с 170–190 см до 230–270 см. Максимальные значения наблюдались при расходах свыше 200 м³/с, когда уровень достигал 454–561 см.

В начале года в зимнюю межень при расходах около 19–20 м³/с уровни держались в пределах 132–146 см, показывая относительно стабильную зависимость расхода от уровней воды. В летне-осеннюю межень при снижении расходов до 40–50 м³/с уровни находились в пределах 120–170 см, демонстрируя плавную зависимость.

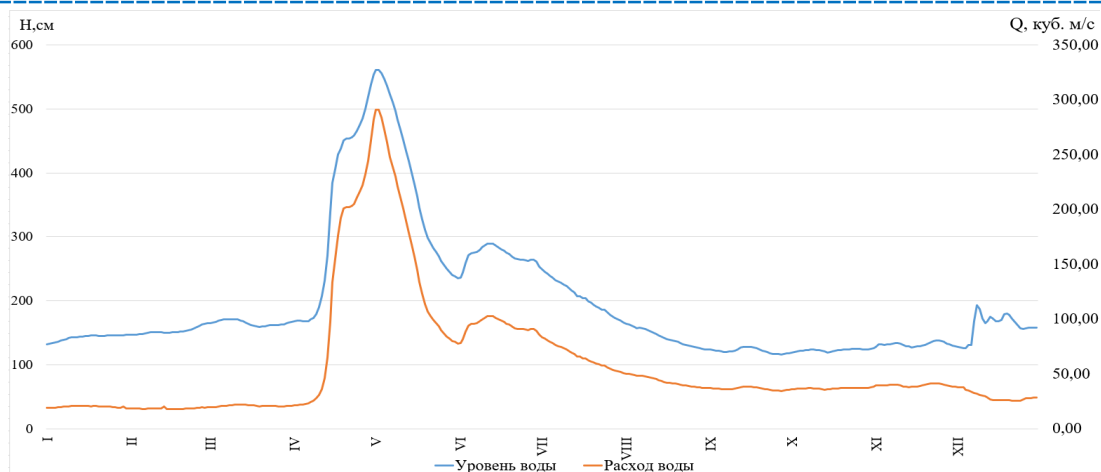


Рис. 2. График расхода и уровня воды в многоводный период за 2017 г. на р. Де́ма – д. Бочкаре́во (составлено автором по данным [АИС ГМВО, 2025])

Для анализа тренда на реке Де́ма – д. Бочкаре́во, был использован метод 5-ти летней скользящей средней, позволяющей определить направленность изменений годового стока рис. 3.

По посту р. Де́ма – д. Бочкаре́во наблюдается тренд на увеличение среднегодовых расходов воды: $y = (0,0563x + 44,432)$. $R^2 = 0,0057$ – коэффициент детерминации близок к нулю, что указывает на отсутствие значимого линейного тренда в изменении средних уровней, что показывает сильную среднегодовую изменчивость из-за климатических факторов.

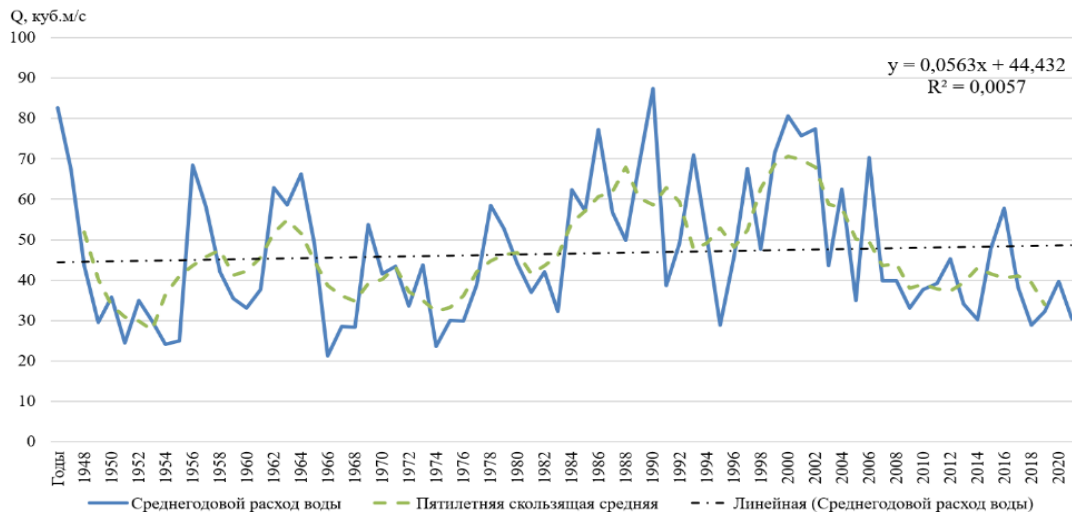


Рис. 3. Пятилетняя скользящая среднегодового расхода воды за 1947–2022 г. на р. Де́ма – д. Бочкаре́во (составлено автором по данным [Гидрологический..., 1949])

Согласно монографии «Климат Уфы в условиях глобального потепления» [Камалова и др., 2022] наблюдаемые данные об изменениях продолжительности солнечного сияния, атмосферного давления, скорости ветра и его направлений, температуры воздуха и почвы, атмосферных осадков, характеристик влажности и снежного покрова, отдельных атмосферных явлений – соответствуют

глобальным трендам, описанным Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Дальнейшие исследования авторов детализируют тренды: анализ температурного режима в холодный период на территории Республики Башкортостан также подтверждает наличие значимых климатических изменений, что непосредственно влияет на формирование снежного покрова и следственно на питание рек в весенний период [Камалова и др., 2023]. Глобальное потепление увеличивает расход и уровень воды за счёт множества вышеперечисленных климатических факторов. Однако локальные минимумы речного стока (как в 1967 г.) свидетельствуют о том, что риски засух сохраняются, особенно при сочетании повышенных температур и антропогенной нагрузки.

Библиографический список

1. АИС ГМВО [Сайт]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 18.04.2025)
2. Гидрологический ежегодник 1967 г. Том 4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Выпуски 5–7. Бассейн р. Камы / под редакцией С.Н. Боголюбова. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 285 с.
3. Камалова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш., Курбанова Л.А., Фирстов А.О. Тенденция изменений температурного режима на территории Республики Башкортостан в холодный период // Известия Иркутского государственного университета. Серия: холодный период. Науки о Земле. 2023. Т. 44. С. 60–73.
4. Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П. Климат Уфы в условиях глобального потепления: монография. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2022. 115 с.

© Гумирова А.М., 2026

Р.Ф. Нуриманов

студент 3 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Ш. Фатхутдинова**

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

АНАЛИЗ ВЫСШИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ И НАИБОЛЬШИХ РАСХОДОВ ВОДЫ НА РЕКЕ БЕЛАЯ У ГОРОДА УФА

Аннотация. В статье рассматриваются высшие уровни воды за год и наибольшие расходы воды на реке Белая в пределах города Уфа. Проводился анализ изменения представленных характеристик и выявление их дальнейших изменений.

Ключевые слова. Река Белая, город Уфа, максимальные уровни воды, максимальный расход воды, Республика Башкортостан

Река Белая является одной из главных водных артерий для миллионного города. Актуальность изучения уровня режима реки заключается в том, что при увеличении максимальных уровней воды могут быть затоплены территории следующих районов города Уфы: Дёмского, Кировского, Ленинского и Орджоникидзевского.

Актуальность работы заключается также в том, что в связи с глобальным изменением климата и антропогенной деятельностью речной сток претерпевает существенные изменения, которые в свою очередь приводят к изменению уровня режима, что грозит затоплением обширных территорий, в том числе селитебных. Поэтому важно анализировать изменение уровня режима рек, определять границы зон затопления, в том числе и потенциальных.

Анализ изменения высших уровней воды и наибольших расходов воды проводился по гидрологическому посту р. Белая – г. Уфа с 1878 по 2019 г. Пост расположен в городе, в 3,5 км выше железнодорожного моста (Башкирское ..., 2026). Долина реки трапецеидальная, шириной до 12 км. Правый склон высотой до 80 м, очень крутой, местами обрывистый, рассечен оврагами, сложен суглинками. Левый склон пологий, высотой до 20 м, сложен суглинками. Пойма только левобережная, шириной до 12 км, луговая, частично покрыта лесом.

Влияние на уровень, температурный и ледовый режим реки Белая в районе г. Уфы также оказывают такие гидротехнические сооружения как: Павловское водохранилище на реке Уфа, Юмагузинское водохранилище на реке Белая, Нугушское водохранилище на правом притоке реке Нугуш.

В пределах города Уфы правый берег реки Белая крутой, незатопляемый, переходит в склон долины. В 1969 г. правый берег от водпоста и ниже забетонировали и превратили в набережную (рис.1). Тем самым, при

увеличении максимальных уровней воды могут быть затоплены территории районов города Уфы, расположенные в основном на левом берегу реки Белая.



Рис. 1. Набережная реки Белой в г. Уфа с 1969 г. [Набережная Белой ..., 2026]

Открытие новой набережной в Уфе состоялось в 2015 году и было приурочено к проведению в городе саммитов ШОС (Шанхайской организации сотрудничества) и БРИКС (межгосударственное неформальное объединение стран с динамично развивающейся экономикой). Её протяженность составила 7 км [Набережная Белой ..., 2026].



*Рис. 2. Набережная реки Белой в г. Уфа в 2015 г.
[фото Хуснутдинов И.; Набережная Белой ..., 2026]*

Период наблюдения за уровнем воды на посту р. Белая – г. Уфа составляет 142 года, с 1878 г. по 2019 г. За этот период наибольшее значение

высшего уровня воды весеннего половодья было зафиксировано в 1882 г. (1118 см), наименьшее – в 2009 г. (330 см). Амплитуда колебаний высшего уровня воды весеннего половодья составляет 788 см. Среднее многолетнее значение высшего уровня весеннего половодья – 759 см.

Наблюдается уменьшение высших годовых уровней на посту р. Белая – г. Уфа, которое описывается уравнением тренда ($y = -1,8256x + 889,96$). Максимальные расходы воды весеннего половодья также уменьшаются с трендом ($y = -17,656x + 6871,41$). На графике также видны синхронные изменения в сторону уменьшения обоих показателей.

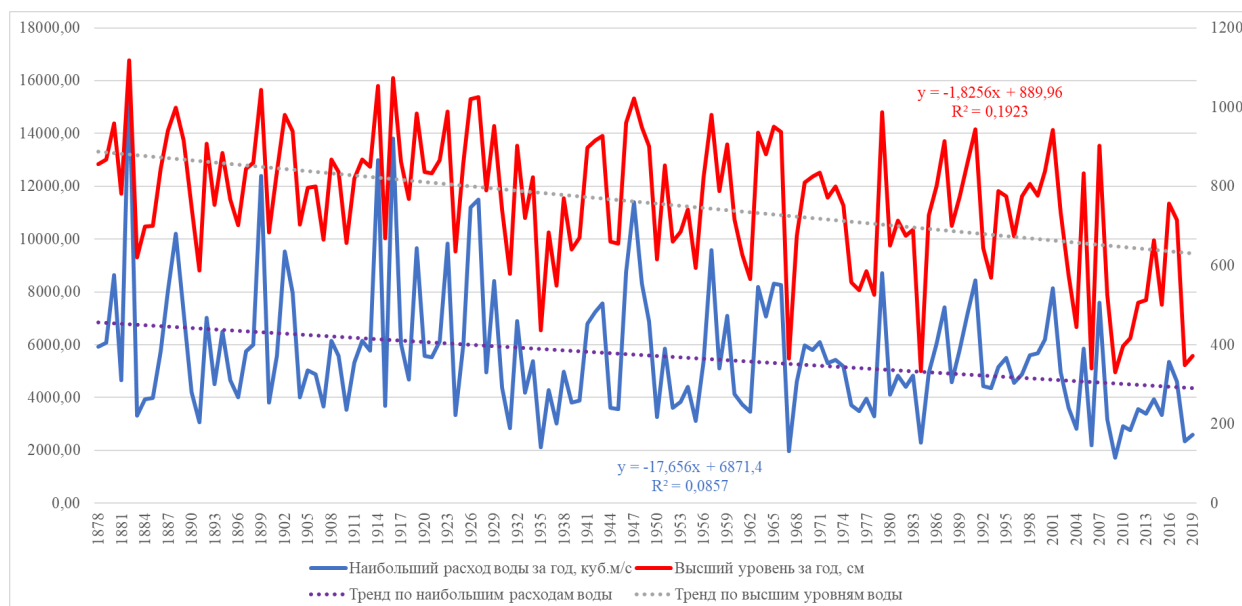


Рис. 3. Изменение наибольшего расхода воды ($\text{м}^3/\text{с}$) и высшего уровня воды (см) на реке Белая – г. Уфа с 1878 по 2019 г. (составлено автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»).

Для окружающей среды и хозяйственной деятельности негативные последствия несут как чрезмерно высокие, так и очень низкие уровни воды. При чрезвычайно высоких уровнях воды могут происходить наводнения и затопление населенных пунктов, в том числе в пределах города Уфы. Однако, в настоящее время прослеживается тенденция уменьшения высших уровней воды и уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья на реке Белая – г. Уфа.

Библиографический список

1. Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды/ Сеть гидрологических наблюдений [Сайт]. URL: <http://www.meteorb.ru/hydrology/observation-network> (дата обращения 01.03.2026 г.).
2. Галимова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш. Статистические и математические методы анализа гидрометеорологической информации: учебно-методическое пособие / Том Часть I. Уфа, 2020. 128 с.

3. Калюжный В. К. Современное состояние "посадки" уровней воды на реке Белая // Двадцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. доклады и краткие сообщения. Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ. 2011. С. 118–121.
4. Набережная Белой в Уфе [Сайт]. URL: <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/ufa/placeofinterest/38656>(дата обращения: 20.03.2026 г.).
5. Нурмухаметова Э.З., Камалова Р.Г., Богдан Е.А. Изменения температурно-влажностного режима и опасных метеорологических явлений теплого периода на территории Республики Башкортостан // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2024. С. 177-185.
6. Фатхутдинова Р.Ш., Фатхутдинова И.Ш. Количественная оценка использования поверхностных водных ресурсов в пределах территории г.Уфа // Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования. Материалы II Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2024. С. 133–136.
7. Фатхутдинова Р.Ш., Камалова Р.Г., Курбанова Л.А. Статистические и математические методы анализа гидрометеорологической информации // Учебно-методическое пособие / Часть II. Уфа, 2022. 128 с.
8. Фондовые данные ФГБУ «Башкирское УГМС».

© Нуриманов Р.Ф., 2026

Р.Ш. Фатхутдинова

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

**ДИНАМИКА ОБМЕЛЕНИЯ РЕКИ БЕЛОЙ В РАЙОНЕ УФЫ: ПРИЧИНЫ,
ПОСЛЕДСТВИЯ И ТЕНДЕНЦИИ**

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы обмеления реки Белая в Республике Башкортостан. Проводится анализ изменения низших уровней воды периода открытого русла и минимальных расходов воды летне-осенней межени на реке Белая в г. Уфа.

Ключевые слова. Река Белая, уровень воды, обмеление реки, город Уфа.

С 2010 года новости про проблемы обмеление реки Белая в Республике Башкортостан становятся все частыми. Несмотря на то, что бассейн реки Белой протекает почти по всей территории республики, основное внимание по обмелению реки направлено на участок реки около города Уфа (рис. 1). Особое внимание уделяется гидрологическому посту на реке Белая – г. Уфа и река Уфа – п. Шакша [Река Белая ..., 2026; Уровень воды ..., 2026; Белая мелеет ..., 2026; в Башкирии уровень ..., 2026].

Впервые исторический минимум уровня воды за весь 130-летний период наблюдений в регионе был зафиксирован с 21 по 29 сентября 2010 года на отметке «минус 155 см» от нуля поста. Уже в 2012 году исторический минимум уровня воды был зафиксирован на отметке «минус 161 см» от нуля поста. В 2021 году исторический минимум снова поменялся и стал «минус 167 см» от нуля поста. Таким образом, за 11 лет исторический минимум изменился три раза.



Рис. 1. Река Белая в пределах г. Уфа в 2022 г. [Острова посреди реки ..., 2026]

Данный участок был рассмотрен по гидрологическому посту река Белая – г. Уфа. С помощью метода разностно-интегральной кривой, пятилетних скользящих средних были проанализированы низшие уровни воды летне-осеннего периода и минимальные расходы воды летне-осенней межени 1877 по 2019 г (рис. 2; рис. 3) [Галимова и др., 2020].

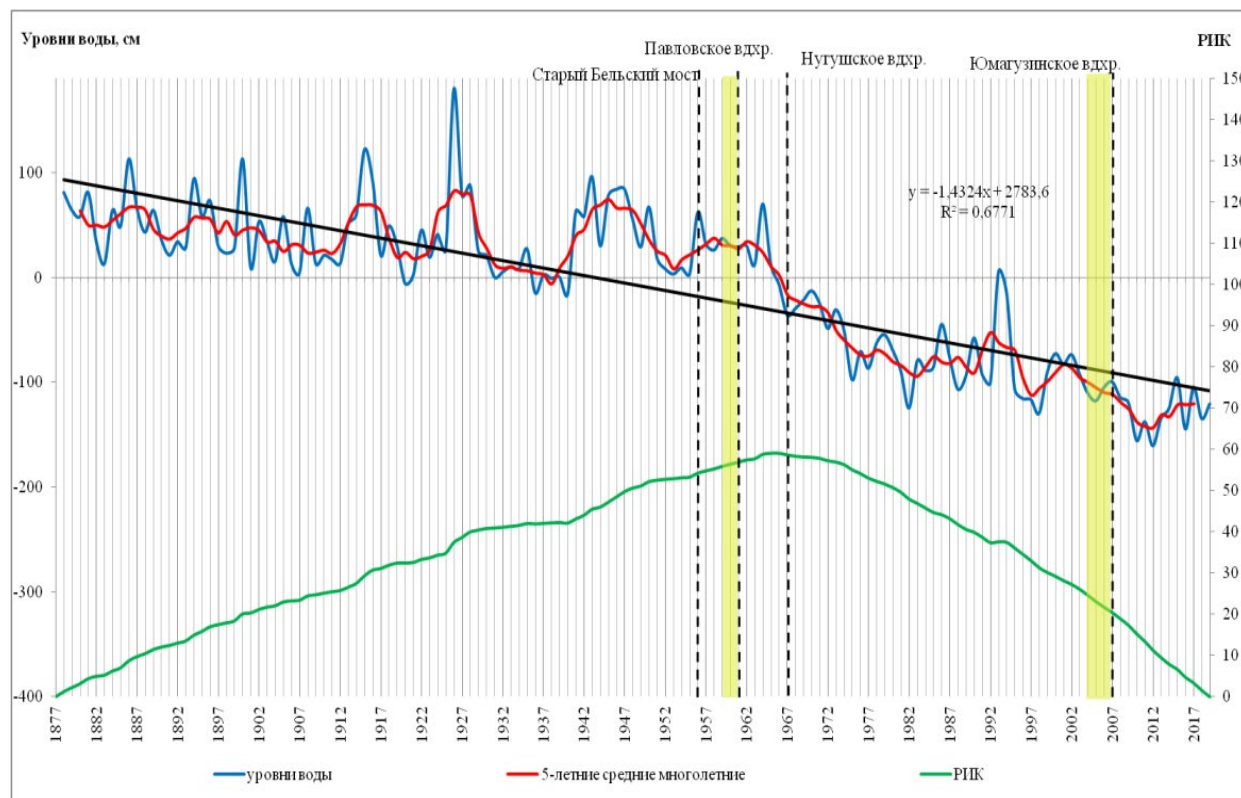


Рис. 2. График изменения низших уровней воды летне-осеннего периода на посту р. Белая – г. Уфа [ВКР Утяшев Д.И., научный руководитель – Фатхутдинова Р.Ш., 2022]

Наблюдается уменьшение низших уровней летне-осеннего периода на посту р. Белая – г. Уфа ($y = -1,4324x + 2783,6$) и увеличение минимальных расходов воды летне-осенней межени ($y = 0,2059x - 106,6$).

Некоторые причины обмеления реки:

- глобальное потепление климата на территории Республики Башкортостан [Нурмухаметова и др., 2024; Галимова, 2020];
- искусственное зарегулирование прудами и водохранилищами;
- сплошная вырубка леса в пределах водосбора реки;
- добыча полезных ископаемых (в основном, песчано-гравийном смеси) [Горячев, 2017].

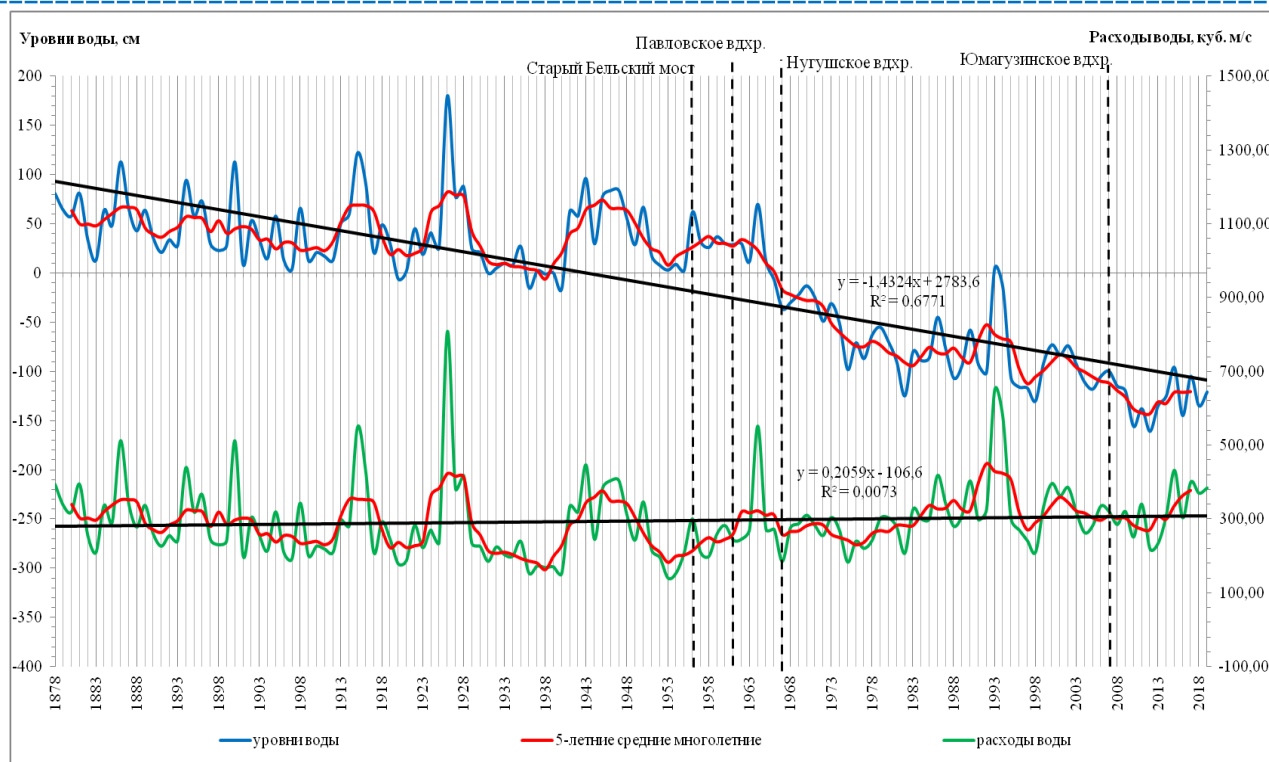


Рис. 3. Графики изменения низших уровней и минимальных расходов воды летне-осеннего периода на посту р. Белая – г. Уфа [ВКР Утяшев Д.И., научный руководитель – Фатхутдинова Р.Ш., 2022]

При сохранении тенденции уменьшения низших уровней летне-осеннего периода на посту р. Белая – г. Уфа могут обостриться следующие водные проблемы: работа водозаборных сооружений; проблемы судоходства; ухудшение условий для гидробионтов и ихтиофауны; ухудшение качества воды и др.

Библиографический список

1. Белая мелеет из-за нелегальной добычи грунта [Сайт]. URL: <https://www.ufa.kp.ru/daily/26108.4/3004252/> (дата обращения: 20.02.2026 г.).
2. В Башкирии уровень реки Белой становится ниже с каждым днем [Сайт]. URL: <https://bash.news/news/79685-v-bashkirii-uroven-reki-beloy-stanovitsya-nizhe-s-kazhdym-dnem> (дата обращения: 20.02.2026 г.).
3. ВКР Утяшев Д.И. «Оценка изменения уровня режима бассейна реки Белая» (Научный руководитель – Фатхутдинова Р.Ш.), 2022 г.
4. Галимова Р.Г. Анализ изменений температурно-влажностного режима на территории Республики Башкортостан в современный период // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30. № 1. С. 83–93.
5. Галимова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш. Статистические и математические методы анализа гидрометеорологической информации // учебно-методическое пособие / Том Часть I. Уфа, 2020. 128 с.
6. Горячев В.С. Изменение уровней воды на реках Белой и Уфе и другие негативные явления последних десятилетий, в том числе связанные с добычей песчано-гравийной смеси // Эволюция эрозионно-русловых систем, её хозяйственно-экономические и экологические

последствия, прогнозные оценки и учёт. доклады и сообщения Всероссийской научно-практической конференции и XXXII межвузовского координационного совещания. 2017. С. 26–30.

7. Нурмухаметова Э.З., Камалова Р.Г., Богдан Е.А. Изменения температурно-влажностного режима и опасных метеорологических явлений теплого периода на территории Республики Башкортостан // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2024. С. 177-185.

8. Острова посреди реки: восемь снимков, на которых видно, как обмелела Белая в Уфе [Сайт]. URL: <https://ufa1.ru/text/gorod/2022/07/23/71505452/> (дата обращения: 20.02.2026 г.).

9. Река Белая в Башкирии мелеет сильнее, чем летом [Сайт]. URL: <https://u7a.ru/articles/society/468> (дата обращения: 20.02.2026 г.).

10. Уровень воды на реке Белой близок к историческому минимуму [Сайт]. URL: <https://www.bashinform.ru/news/economy/2012-07-22/uroven-vody-na-reke-beloy-blizok-k-istoricheskomu-minimumu-2161059> (дата обращения: 20.02.2026 г.).

11. Фондовые данные ФГБУ «Башкирское УГМС».

© Фатхутдинова Р.Ш., 2026

Хоссейн Рокнизаде

магистрант 2 года обучения

Казанский федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **В.В. Гурьянов**

канд. геогр. наук, доцент

Казанский федеральный университет, г. Казань

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТОКА РЕКИ ТОБОЛ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) ПО ДАННЫМ ERA5

Аннотация. Данное исследование посвящено разработке и комплексной оценке концептуальной гидрологической модели HBV для бассейна реки Тобол – одного из крупных притоков в системе реки Обь, расположенного в Западной Сибири. Моделирование выполнялось с использованием метеорологических данных реанализа ERA5 за период 1981–2024 гг. и калибровалось по данным наблюдений за речным стоком, полученным из базы данных Глобального центра данных по речному стоку (GRDC). В ходе исследования была разработана методика приведения суточных входных данных к месячному временному шагу и обеспечения пространственно-временной согласованности между климатическими и гидрологическими рядами. Оптимизация параметров модели осуществлялась с помощью алгоритма дифференциальной эволюции, что позволило получить набор параметров, обеспечивающий высокую точность воспроизведения как сезонной, так и межгодовой изменчивости стока. Значения статистических критериев (NSE, KGE и др.) свидетельствуют о высоком соответствии смоделированного и наблюдаемого стока. Независимая валидация подтвердила способность модели надежно воспроизводить основные фазы гидрологического режима, характерные для рек Сибири, включая весеннее половодье, формирующееся за счет снеготаяния, и летнюю межень. Полученные результаты подтверждают применимость модели HBV для анализа водного баланса бассейна реки Тобол, а также для последующего сценарного моделирования гидрологических последствий изменений климата в данном регионе.

Ключевые слова. Гидрологическое моделирование, модель HBV, ERA5, GRDC, калибровка параметров, речной сток, бассейн реки Тобол.

Дефицит пресной воды усиливается во многих регионах мира под воздействием роста населения, повышения температуры и усиления климатической вариабельности, особенно в засушливых и полузасушливых зонах [Roknizadeh et al., 2022]. В условиях усиления климатической изменчивости гидрологическое моделирование является ключевым инструментом оценки водных ресурсов, особенно в регионах с выраженным снеговым питанием [Barnett et al., 2005; Bergström, 1995]. Бассейн реки Тобол, расположенный в южной части Западной Сибири и северных районах Казахстана (46–58° с. ш., 60–75° в. д.), характеризуется резко континентальным климатом и значительной сезонностью стока с доминирующей ролью весеннего половодья. Территория бассейна охватывает таёжные, лесостепные и степные

ландшафтные зоны. Климат характеризуется холодной зимой (средние температуры января $-12...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) и тёплым летом ($+20...+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ в июле). Основная часть осадков выпадает в тёплый период, однако доминирующую роль в формировании стока играет снеговое питание. Цель исследования – калибровка и валидация модели HBV для бассейна реки Тобол на основе данных ERA5 и GRDC, а также оценка современных климатических трендов и их влияния на речной сток.

Для описания климатических условий использованы суточные данные реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов (ECMWF) за период 1981–2024 гг. В анализе применялись суммарные атмосферные осадки (tp , мм/сутки) и температура воздуха на уровне 2 м ($t2m$, $^{\circ}\text{C}$). Пространственное разрешение данных составляет $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Исходные суточные данные агрегированы до месячного масштаба: осадки – в виде месячных сумм, температура – в виде среднемесячных значений. Для формирования климатического ряда использовалась ближайшая к гидрологическому посту GRDC точка сетки ERA5.

Для оценки воспроизводимости модели HBV использованы данные наблюдённого речного стока, предоставленные Global Runoff Data Centre (GRDC), в виде суточных расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$) для гидрологического поста № 2911097 на реке Тобол. Наблюдения доступны до 2017 г. Суточные расходы агрегированы до месячного масштаба для согласования с климатическими данными и снижения высокочастотного шума.

В исследовании использована концептуальная гидрологическая модель HBV, широко применяемая для расчёта водного баланса в регионах с холодным и континентальным климатом [Blöschl et al., 2017]. Модель включает снеговой модуль с температурно-индексным подходом (температурный порог T_T , коэффициент снеготаяния $CFMAX$), блок почвенной влаги (ёмкость FC , параметр нелинейности $BETA$) и блок формирования стока (быстрый и медленный резервуары с коэффициентами K_f и K_s). Период моделирования разделён на этап разгона (1981–1983 гг.), калибровки (1984–2010 гг.) и независимой валидации (2011–2017 гг.). Оптимизация параметров выполнена с использованием алгоритма дифференциальной эволюции [Gupta et al., 2009]. В качестве целевой функции использована взвешенная комбинация показателей NSE и KGE: $Obj = 0.5(1 - NSE) + 0.5(1 - KGE)$.

Климатическая сезонность в бассейне реки Тобол выражена отчётливо. Минимальные температуры наблюдаются в январе ($-14...-12\text{ }^{\circ}\text{C}$), максимальные – в июле ($+21...+22\text{ }^{\circ}\text{C}$). Основная часть атмосферных осадков выпадает в тёплый период года с максимумом в июле ($\approx 50\text{--}52\text{ мм}$). Среднемесячное распределение расхода воды на гидропосту GRDC отражает выраженный сезонный характер стока: в зимний период расходы составляют $600\text{--}800\text{ м}^3/\text{с}$, весеннее половодье достигает максимума в мае–июне ($5000\text{--}5600\text{ м}^3/\text{с}$), в летний период расходы снижаются до $2300\text{--}4000\text{ м}^3/\text{с}$.

Оптимальные параметры HBV для бассейна р.Тобол

Параметр	Описание	Ед. изм.	Оптимальное значение
FC	максимальная ёмкость почвенного влагозапаса	Мм	1957.43
BETA	коэффициент нелинейности инфильтрации	–	0.689683
LP	коэффициент снижения испарения	–	0.243392
Kf	коэффициент быстрого стока	1/сут	0.466526
Ks	коэффициент медленного стока	1/сут	0.001
Qf_frac	доля потока, направляемая в быстрый резервуар, – соотношение между быстрым и медленным компонентами стока	–	0.295813
TT	температурный порог таяния снега	°C	1.99924
CFMAX	коэффициент снеготаяния	мм/°C/сут	0.181926
S0_frac	начальная относительная влажность почвы (доля FC)	бессим. величина (0–1)	0.397574



Рис. 1. Средняя месячная температура, °C (1981–2024 гг.)



Рис. 2. Средние месячные суммарные осадки, мм (1981–2024 гг.)

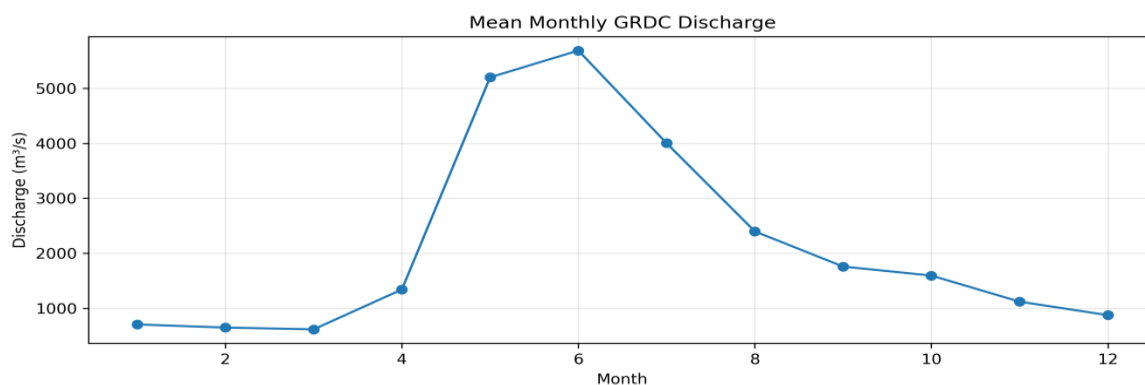


Рис. 3. Средний месячный расход воды по данным GRDC, м³/с

Анализ среднегодовой температуры воздуха за период 1981–2024 гг. с использованием теста Манна-Кендалла и оценки наклона по Сенсу выявил статистически значимый возрастающий тренд ($p = 0.003$). Наклон Сенса составил $+0.033^\circ\text{C}/\text{год}$, что соответствует увеличению средней годовой температуры примерно на 1.4°C за 44 года. Анализ годовых сумм атмосферных осадков выявил слабый отрицательный тренд, статистически незначимый ($p = 0.12$). Наклон Сенса составил $-0.93 \text{ мм}/\text{год}$.

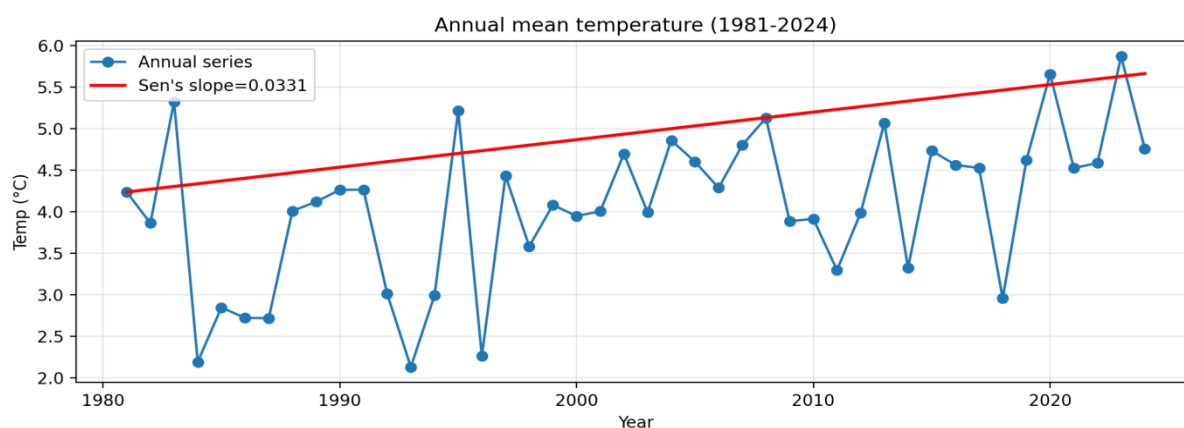


Рис. 4. Годовой тренд средней температуры воздуха и наклон Сенса (1981–2024 гг.)

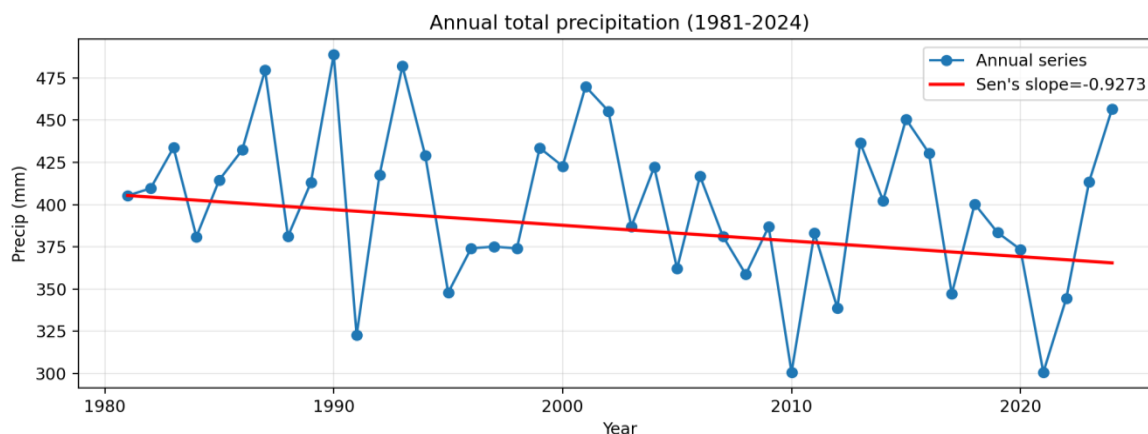


Рис. 5. Годовой тренд суммарных осадков и наклон Сенса (1981–2024 гг.)

Помесячный анализ наклонов Сенса выявил выраженную сезонную неоднородность температурных трендов. Наиболее интенсивное и статистически значимое потепление зафиксировано в весенние месяцы: март ($+0.10^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $p = 0.01$), апрель ($+0.077^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $p = 0.015$) и май ($+0.062^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $p = 0.003$). В летние и осенние месяцы температурные тренды статистически незначимы. Анализ месячных наклонов Сенса для осадков выявил статистически значимые тренды: увеличение осадков в марте ($+0.22$ мм/год, $p \approx 0.04$) и уменьшение в мае (-0.31 мм/год, $p \approx 0.04$). В летне-осенний период преобладают отрицательные тренды.

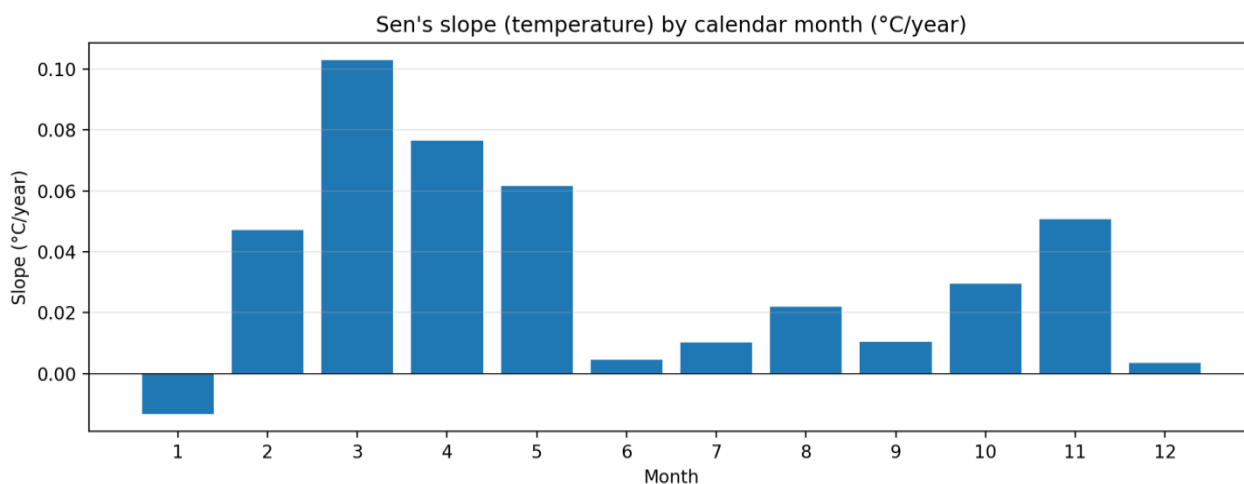


Рис. 6. Помесячные наклоны Сенса для температуры воздуха

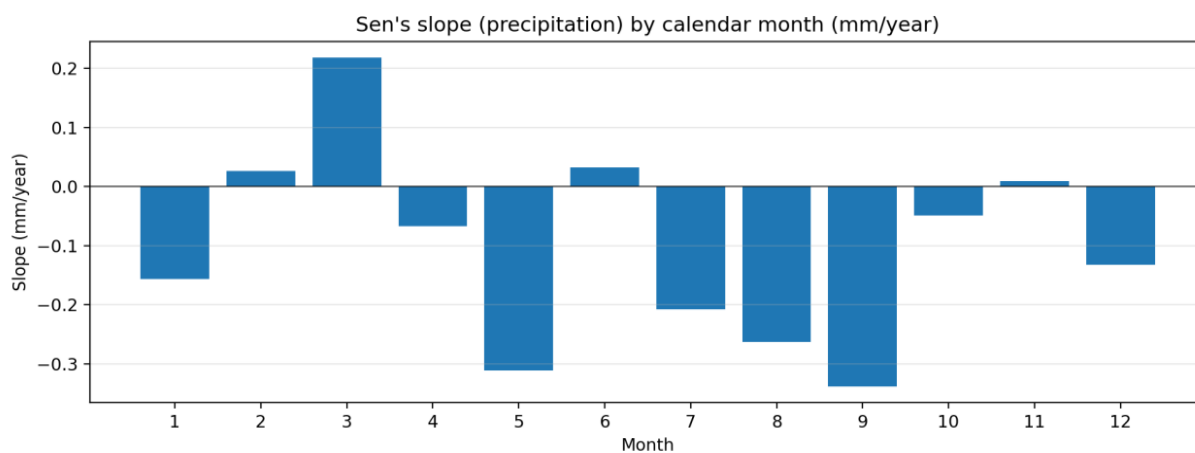


Рис. 7. Помесячные наклоны Сенса для атмосферных осадков

Калибровка модели HBV на периоде 1984–2010 гг. позволила определить параметры, обеспечивающие высокое соответствие между наблюдаемыми и моделируемыми расходами воды. Валидация на независимом периоде 2011–2017 гг. подтвердила устойчивость модели.

На гидрографах отчётливо проявляются характерные особенности снегового режима стока: резкое весеннее половодье, летняя межень и

выраженная межгодовая изменчивость расходов. Модель корректно воспроизводит сезонные колебания стока, однако амплитуда весеннего половодья в валидационный период несколько занижена, что связано с недооценкой твёрдых осадков в данных ERA5.

Таблица 2

Показатели эффективности модели HBV

Период	NSE	KGE	r	RMSE (мм)	PBIAS (%)
Калибровка (1984–2010)	0.792	0.890	0.894	1.47	0
Валидация (2011–2017)	0.719	0.726	0.902	1.68	–23.8

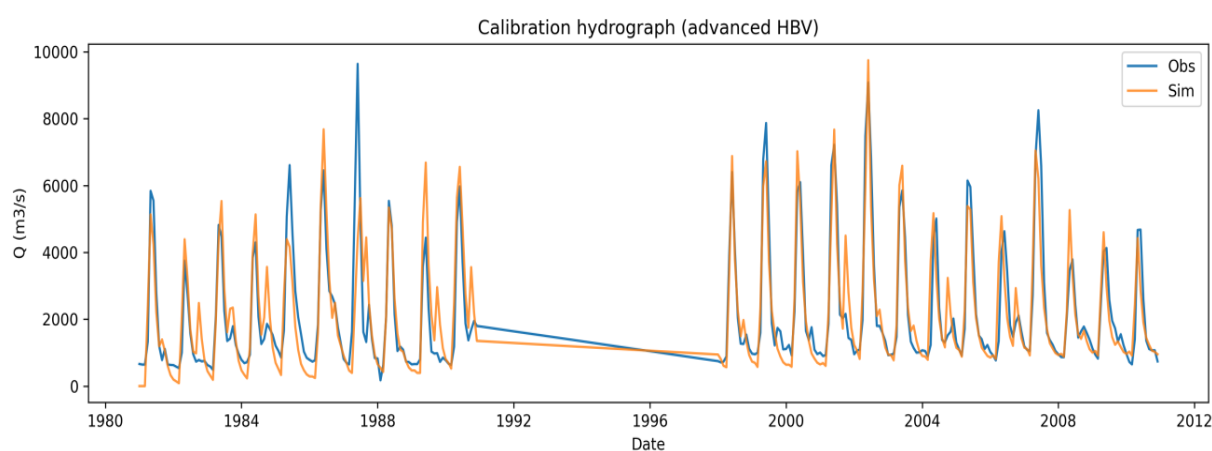


Рис. 8. Гидрограф наблюдаемого и моделируемого стока за период калибровки (1984–2010 гг.)

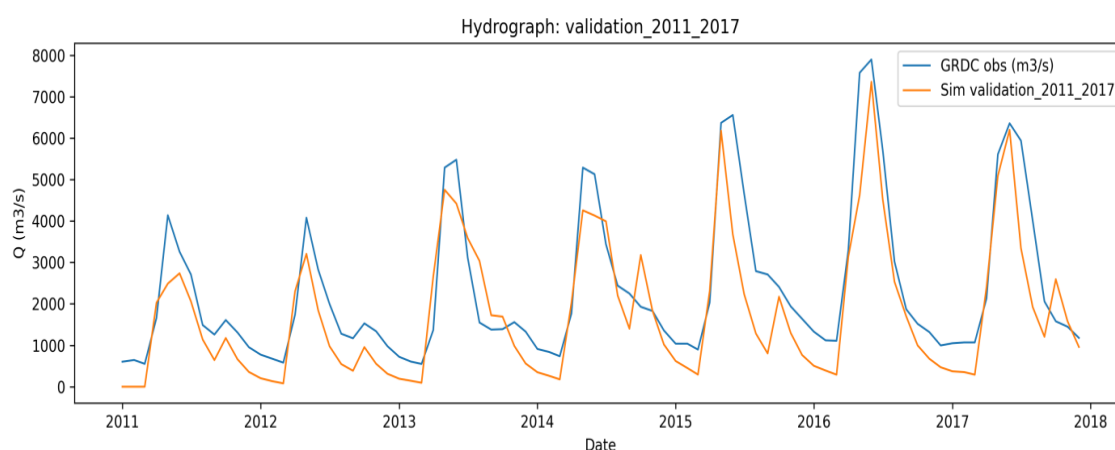


Рис. 9. Гидрограф наблюдаемого и моделируемого стока за период валидации (2011–2017 гг.)

Полученные значения NSE и KGE (0.72–0.89) соответствуют высокому качеству гидрологического моделирования для крупных снеговых бассейнов

[Hersbach et al., 2020; Milly et al., 2008]. Основным источником неопределённости являются осадки реанализа ERA5, для которых в северных широтах характерна недооценка твёрдой фазы, приводящая к занижению зимнего накопления снега и весеннего половодья. Это согласуется с выявленным в валидационный период смещением ($PBIAS = -23.8 \%$). Выявленные климатические тенденции – рост температуры, особенно выраженный в весенние месяцы, – указывают на возможную трансформацию режима половодья (более раннее начало), что характерно для снеговых рек в условиях современного изменения климата [Seibert, 2000]. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются применение методов коррекции смещения (biascorrection) для осадков ERA5 и использование суточного временного масштаба для более детального воспроизведения экстремальных гидрологических событий.

В работе выполнено гидрологическое моделирование стока реки Тобол (Западная Сибирь) с использованием концептуальной модели HBV и данных реанализа ERA5. Калибровка и независимая валидация подтвердили высокую эффективность модели в воспроизведении сезонной и межгодовой динамики стока: $NSE = 0.79$ (калибровка) и 0.72 (валидация), $KGE = 0.89$ и 0.73 соответственно. Анализ климатических изменений выявил статистически значимый рост температуры воздуха ($+0.033 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $p = 0.003$) при отсутствии значимого тренда годовых осадков, что отражается в трансформации режима весеннего половодья. Результаты подтверждают применимость модели HBV для анализа водного баланса бассейна реки Тобол и создают основу для дальнейших прогнозных расчётов стока в условиях климатических изменений.

Библиографический список

1. Barnett T.P., Adam J.C., Lettenmaier D.P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions // *Nature*. 2005. Vol. 438, No. 7066. P. 303–309.
2. Bergström S. The HBV model. Water Resources Publications, 1995.
3. Blöschl G., Hall J., Parajka J., Perdigão R.A.P., Merz B., Arheimer B., Viglione A. Changing climate shifts timing of European floods // *Science*. 2017. Vol. 357, No. 6351. P. 588–590.
4. Gupta H.V., Kling H., Yilmaz K.K., Martinez G.F. The goodness-of-fit criterion for hydrological models: Why is it important to have several metrics? // *Water Resources Research*. 2009. Vol. 45. W08406.
5. Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. The ERA5 global reanalysis // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2020. Vol. 146, No. 730. P. 1999–2049.
6. Milly P.C.D., Betancourt J., Falkenmark M. et al. Stationarity is dead: Whither water management? // *Science*. 2008. Vol. 319, No. 5863. P. 573–574.
7. Roknizadeh H., Eslamian S., Maleki M. Water scarcity and stress in the twentieth century and solutions to achieve global water security // *New Researches in Sustainable Water Engineering*. 2022. Vol. 1, No. 1. P. 45–57.
8. Seibert J. Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2000. Vol. 4. P. 215–224.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 556.55:504.064

А.М. Гумирова

студентка 3 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **И.Ю. Лешан**

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ Р. ДЁМА-Г. УФА

Аннотация. В статье представлена комплексная оценка изменения качества воды в нижнем течении реки Дёма за период 2000-2014 гг. Проанализировано влияние ключевых промышленных объектов Дёмского промышленного узла на гидрохимический состав воды реки Дёма. На основе расчёта удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ) выявлены основные загрязняющие вещества и прослежена динамика изменения класса качества воды в период за 2000–2014 гг.

Ключевые слова. Река Дёма, Дёмский промышленный узел, гидрохимические показатели, УКИЗВ, динамика загрязнения, антропогенное воздействие, Республика Башкортостан.

Река Дёма, являясь трансграничным объектом, на протяжении всего своего течения испытывает антропогенное воздействие, которое объясняется близостью к Дёмскому промышленному узлу города Уфы. Исследуемый створ характеризуется аккумуляцией загрязняющих веществ, поступающих как от рассредоточенных источников выше по течению, так и от локальных объектов Дёмского промышленного узла.

Основными факторами антропогенной нагрузки на данной территории являются следующие предприятия: станция «Дёма» с локомотивным депо и пунктами подготовки цистерн, а также производственные объекты ООО «Компания Крус», ООО ЛОЦ «Энергетик» (лечебно-оздоровительный центр), ООО «Юмил» (пищевая промышленность) и муниципальные инженерные сети. Данные предприятия формируют специфический профиль загрязнения, в котором доминируют нефтепродукты, фенолы и продукты азотной группы.

Комплексная оценка степени загрязнённости поверхностных вод проведена в соответствии с руководящим документом [РД 52.24.643–2002..., 2020]. В основу метода положен расчёт удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ), объективно отражающий экологическое состояние водного объекта. Для комплексной оценки изменения состояния реки в практической части работы проведён анализ динамики индекса УКИЗВ в створе р. Дёма – г. Уфа за 2000–2014 г.

График динамики индекса УКИЗВ позволяет выделить тренд изменения качества воды: рост загрязнения (2009–2014 гг.). Начиная с 2009 года на рис. 1. отчетливо виден восходящий тренд. Индекс последовательно растёт, преодолевая в 2012 году отметку индекса УКИЗВ в 3,0 (границу между разрядами «а» и «б»). К 2014 году значение индекса достигает 3,31, что подтверждает прогрессирующее ухудшение экологического состояния реки.

Проведённый детальный расчёт УКИЗВ за период 2000–2014 гг. выявил, что антропогенная нагрузка на реку Дёма в районе г. Уфа остаётся стабильно высокой. Основной вклад в загрязнение вносят следующие элементы (табл.1.): металлы (Mn, Cu, Fe) и периодические сбросы нефтепродуктов. Марганец во все годы наблюдений классифицируется как критический показатель загрязнённости (КПЗ).

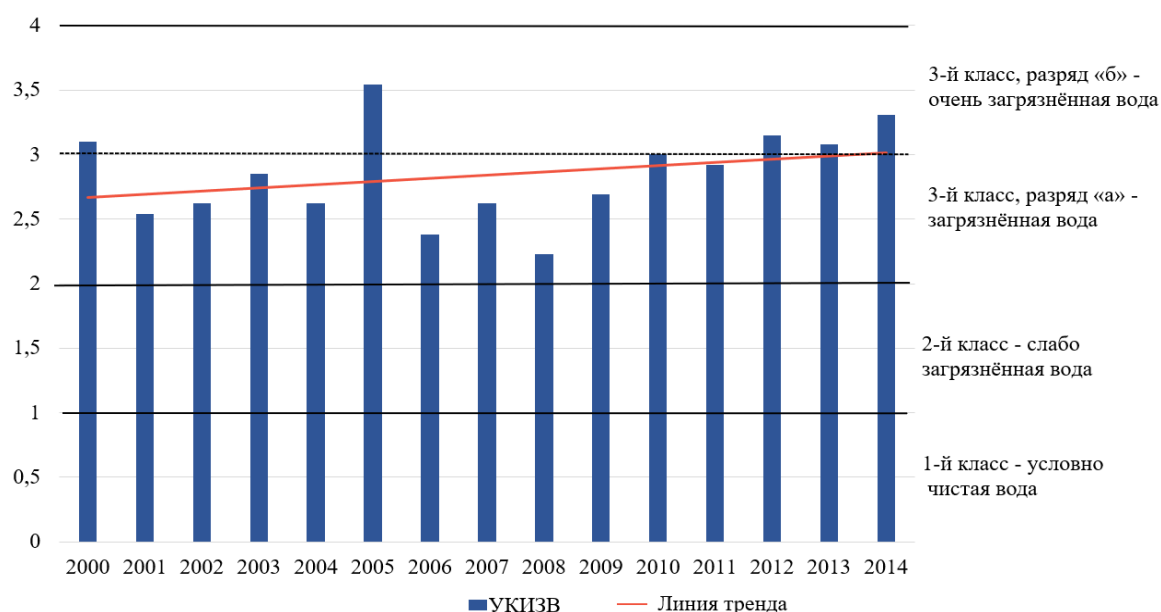


Рис. 1. Динамика значений УКИЗВ за 2000-2014 гг.
по р. Дёма – г. Уфа (составлено автором)

Таблица 1

Обобщение результатов расчёта индекса
УКИЗВ для р. Дёма – г. Уфа (составлено автором)

Период	Средний УКИЗВ	Класс качества	Основная причина загрязнения
2000–2004	2,59	3 «а» (загрязнённая)	стабильное влияние металлов (Mn, Cu)
2005	3,54	3 «б» (очень загрязнённая)	экстремальный сброс марганца и меди
2006–2011	2,64	3 «а» (загрязнённая)	период относительной стабилизации
2012–2014	3,18	3 «б» (очень загрязнённая)	рост концентрации нефтепродуктов и марганца

Ухудшение качества воды до разряда 3 «б» в последние годы наблюдений связано с наложением хронического загрязнения металлами и эпизодических залповых сбросов нефтепродуктов. Река Дёма нуждается в серьёзных водоохранных мероприятиях, так как значения индекса в последние из рассмотренных лет (2012–2014) имеют тенденцию к росту.

Наиболее критическая ситуация фиксируется по содержанию нефтепродуктов и железа общего, баллы по которым достигают максимального значения. Основным источником данных загрязняющих веществ выступает железнодорожная станция «Дёма» (локомотивное депо и промывочно-пропарочные пункты).

Высокие баллы по фенолам обосновываются с наличием предприятий нефтехимического типа, таких как ООО «Компания Крус». В то же время рост показателей органического загрязнения (БПК₅) и нитритного азота обусловлен деятельностью инженерных сетей ТВК (Товарищество «Водоснабжения и канализации») и пищевых предприятий (ООО «Юмил»). Нитритный азот является маркером хозяйственно-бытового и промышленного загрязнения, свидетельствуя о превышении мощностей очистных сооружений коммунального сектора. Стабильно высокие баллы марганца подтверждают его природное происхождение, связанное с вымыванием из почвы региона, однако не стоит отрицать наложение техногенного фактора на фоновое загрязнение.

Подобная негативная динамика свидетельствует о нарастании кумулятивного эффекта техногенного давления со стороны предприятий Дёмского промышленного узла. Основными факторами, препятствующими самоочищению реки, являются низкая скорость течения в предустьевой части и постоянный приток биогенных элементов.

В заключение следует отметить, что для стабилизации экологической обстановки необходимо внедрение систем замкнутого водооборота на промышленных объектах Дёмского района и модернизация ливневой канализации. Река Дёма в черте г. Уфа нуждается в усиленном мониторинге, так как её состояние напрямую влияет на качество вод реки Белой ниже по течению, создавая дополнительные риски для водопользования в регионе.

Библиографический список

1. Ежегодники качества поверхностных вод по территории деятельности Башкирского УГМС за 2000–2014 гг. Уфа, 2001-2015.
2. РД 52.24.643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002.

© Гумирова А.М., 2026

А.М. Гумирова

студентка 3 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: Л.А. Курбанова

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ХАРАКТЕРИСТИКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗЕРА СОЛДАТСКОЕ

Аннотация. В данной статье приводится комплексная физико-географическая и гидрологическая характеристика озера Солдатское, расположенного в черте города Уфы. На основе натурных обследований и анализа литературных источников описаны морфометрические параметры водоема, его происхождение, водный режим и биологическое разнообразие. Рассмотрены основные направления хозяйственного и рекреационного использования озера, а также выявлены ключевые проблемы его экологического состояния в условиях интенсивной антропогенной нагрузки.

Ключевые слова. Озеро Солдатское, карстовый водоем, гидрология, морфометрия, рекреация, антропогенное воздействие, город Уфа, Республика Башкортостан

Озеро Солдатское (рис. 1) является одним из наиболее известных и посещаемых водных объектов города Уфы. Оно расположено на территории парка культуры и отдыха имени Ивана Якутова в Советском районе города.

Географические координаты объекта: $54^{\circ}44'30''$ северной широты и $55^{\circ}57'08''$ восточной долготы. Водоем находится в центральной части Уфимского полуострова на абсолютной высоте уреза воды около 160 метров над уровнем моря [Антонов, 2020].

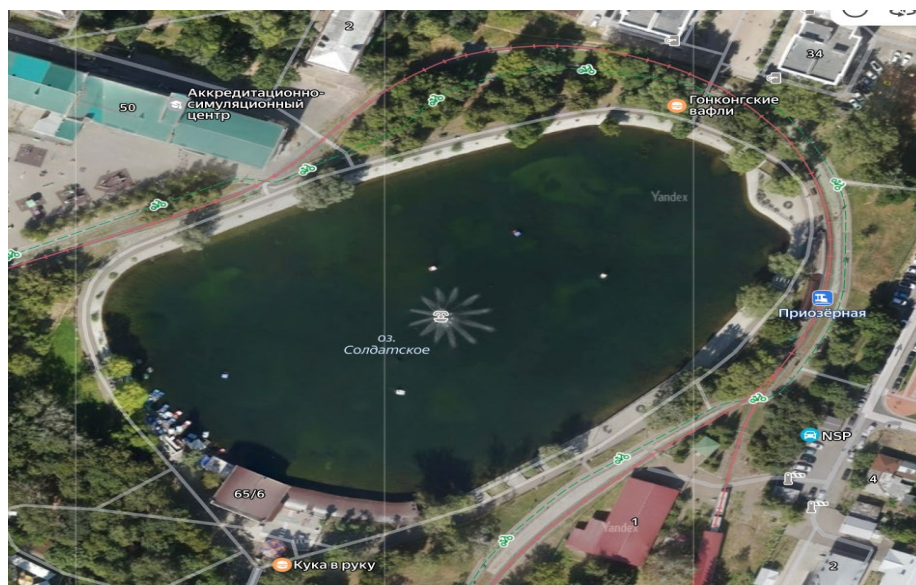


Рис. 1. Озеро Солдатское (Яндекс карты..., 2025)

Местное название Солдатское – это устоявшееся название среди местных жителей. В советский период озеру пытались присвоить название «Комсомольское», но оно не прижилось и почти не упоминается. В народе его также называют «народное озеро». Первое его название «Парк народной трезвости». В 1918 году парку было дано имя революционера Ивана Якутова (рис. 2).

Котловина озера имеет карстово-суффозионное происхождение. Оно расположено в бортовой части древней карстовой воронки, которая в процессе геологического развития была заполнена рыхлыми отложениями. Дно озера сложено преимущественно илами с подстилающими акчагыльскими глинами, которые выполняют роль водоупора. Рельеф окружающей местности характеризуется как плоский, слабо пересеченный, что типично для благоустроенных парковых зон [Карст Башкортостана, 2002].

Морфометрическая характеристика. Озеро имеет округлую форму, близкую к правильной. Береговая линия по всему периметру укреплена бетонными плитами и прогулочными дорожками (рис. 3), что придает ему вид искусственного бассейна. Основные количественные показатели водоема представлены в табл. 1.

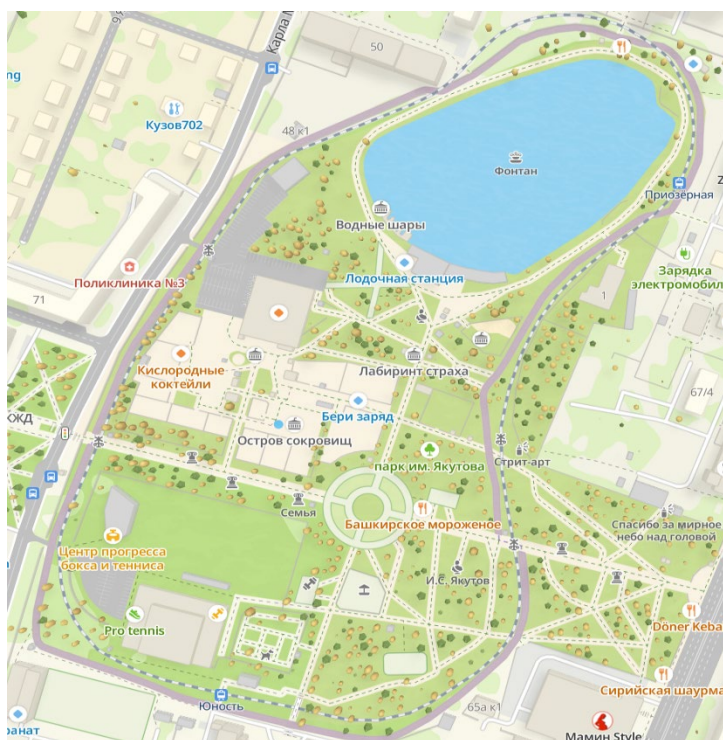


Рис. 2. Карта-схема парка им. И. Якутова (Яндекс карты..., 2025)

Согласно гидрологическим данным, глубина озера существенно менялась в течение последнего столетия. В начале XX века фиксировались глубины до 7–8 метров, однако в результате заиливания и прекращения естественного подземного питания средние глубины стабилизировались на отметке 3 метра.



Рис. 3. Деревянный пирс на озере Солдатское (фото автора)

Таблица 1

Морфометрические показатели озера Солдатское

Параметр	Значение
Средний диаметр зеркала воды, м	250
Длина береговой линии (периметр), м	530
Средняя глубина, м	3
Максимальная глубина (историческая), м	до 8

Уровень воды в озере нестабилен и может значительно меняться. При засушливых годах или отсутствии подпитки озеро мелеет, частично зарастает травой и кустарником, в отдельные годы его площадь становится существенно меньше. Озеро имеет угрозу заболачивания в связи с зарастанием его дна. Периодически происходит очистка вод озера и его берегов [Солдатское озеро..., 2025; Рискуют стать..., 2025; Что нашли..., 2025].

По признакам водообмена Солдатское озеро является бессточным. По минерализации оно относится к пресным водоемам (менее 1‰). Питание осуществляется за счет атмосферных осадков и подземных вод (верховодки). До 1990-х годов в озере функционировала система принудительной подкачки воды из реки Белой для поддержания уровня, однако в настоящее время она не действует [Синенко, 2007].

Ледовый режим характеризуется устойчивым ледоставом, который длится с ноября по апрель. Толщина льда в суровые зимы может достигать 0,7 м [Хабибов, 1999]. Температурный режим воды в летний период характеризуется хорошим прогревом. Температура поверхности воды в июле достигает 24–25°C. Прозрачность воды невысокая и составляет в среднем 20–40 см по диску Секки, что обусловлено высокой концентрацией взвешенных веществ. Цвет воды варьируется от светло-зеленого до темно-коричневого (грязного).

Флора прибрежной зоны озера насчитывает около 90 видов растений. Основу древесной растительности составляют ива, клен американский, тополь и береза, травянистый покров представлен клевером луговым, подорожником и мятликом. Водная растительность представлена преимущественно элодеей канадской, ряской малой и различными видами водорослей, вызывающих периодическое «цветение» воды. Фауна озера включает в себя представителей ихтиофауны (карась, плотва, ротан) и водоплавающих птиц. Озеро является традиционным местом обитания кряквы (рис. 4), популяция которой поддерживается за счет подкормки посетителями парка [Салимова, 2022].

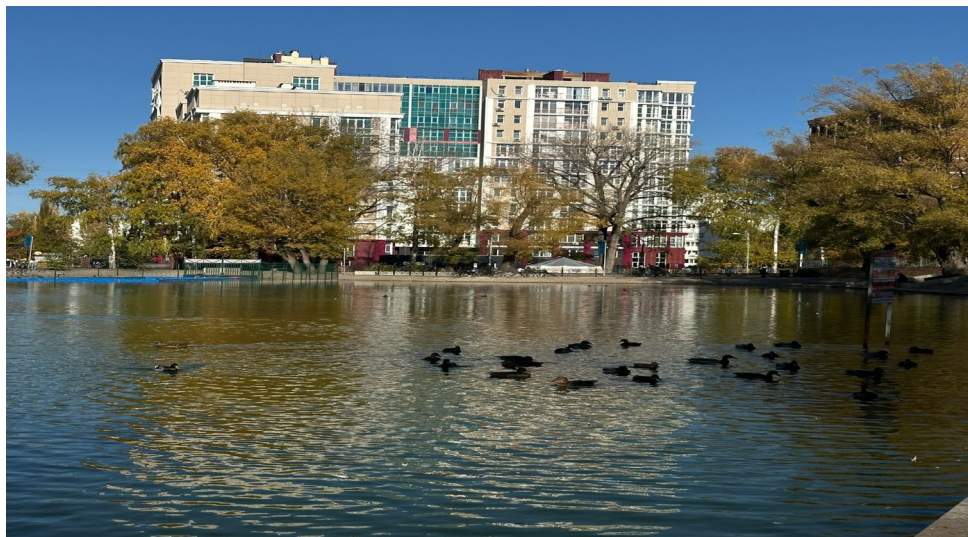


Рис. 4. Дикая утка (кряква) на акватории озера Солдатское (фото автора)

Использование озера и антропогенная нагрузка. История названия озера уходит в XIX век, когда здесь располагались солдатские казармы, а военнослужащие использовали водоем для стирки белья и купания лошадей [Синенко, 2007]. В современном периоде озеро используется исключительно в рекреационных целях:

1. Прогулочный отдых – по периметру обустроена пешеходная зона.
2. Водный досуг – действует лодочная станция, предоставляющая прокат лодок и катамаранов.
3. Оздоровление – на северном берегу расположена база любителей зимнего плавания с оборудованными мостками и купальней (рис. 5).
4. Эстетическая функция – в центре акватории установлен плавающий фонтан с подсветкой.

Несмотря на статус памятника природы, озеро испытывает серьезное антропогенное давление. К основным проблемам относятся –замусоривание берегов и дна бытовыми отходами, загрязнение нефтепродуктами от близлежащих дорог и ливневых стоков, а также эвтрофикация (переуплотнение органикой), приводящая к дефициту кислорода и деградации экосистемы.

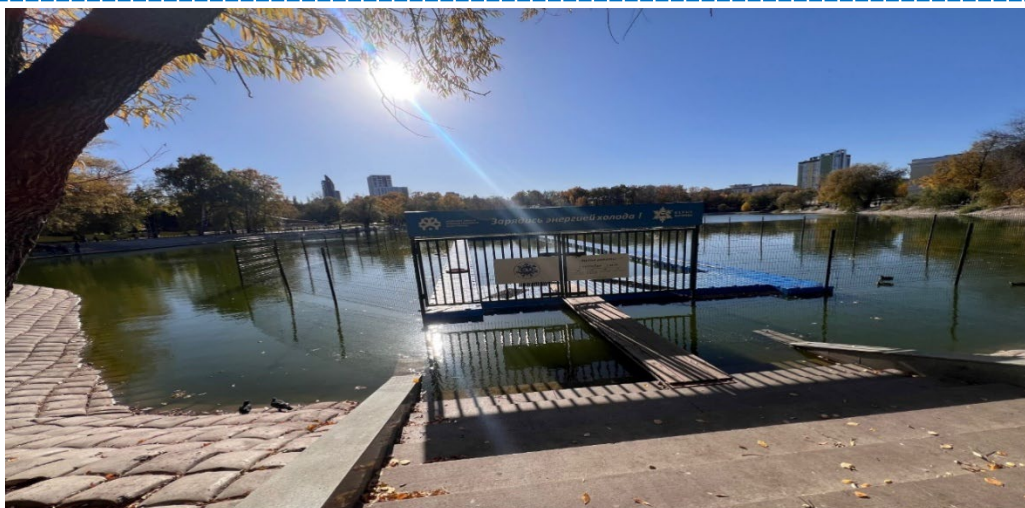


Рис. 5. Оборудованное место для зимнего купания на озере Солдатское (фото автора)

Солдатское озеро представляет собой ценный природно-антропогенный комплекс, нуждающийся в регулярном мониторинге и природоохранных мероприятиях. Для сохранения водоема необходимо восстановление системы фильтрации и подпитки, а также строгий контроль за состоянием прибрежной защитной полосы, в том числе ежегодная расчистка дна и берегов от ила, водорослей и мусора.

Библиографический список

1. Антонов К.В. Основы геологии: учебная геологическая практика: учебное пособие. 3-е изд. Уфа: РИЦ БашГУ, 2020. 290 с.
2. Карст Башкортостана: [Монография] / [Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов и др.]; Рос. акад. наук. Уф. науч. центр, Ин-т геологии. Уфа, 2002. 382.
3. «Рискует стать болотами». Эксперт – о будущем озер в Уфе | АиФ Уфа [Электронный ресурс] URL: <https://clcl.i/vfRLx> (дата обращения: 28.10.2025 г.).
4. Салимова И.Р. Флора парка им. Ивана Якутова г. Уфа. НАУКА В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа. Атерна, 2022. С. 4–6.
5. Синенко С.Г. Уфа старая и новая. Уфа: Государственное республиканское издательство «Башкортостан», 2007. 272 с.
6. Солдатское озеро в Уфе очищают от ила и мусора [Электронный ресурс] URL: <https://clcl.i/EKoqD> (дата обращения: 27.10.2025 г.).
7. Хабибов А.Г., Широков В.М. Водные ресурсы Республики Башкортостан и их использование. Уфа: Гилем, 1999. 520 с.
8. Что нашли водолазы на дне Солдатского озера в парке Якутова? Новости Уфа UTV [Электронный ресурс]. URL: <https://clcl.i/dKTYA> (дата обращения: 27.10.2025 г.).
9. Яндекс карты [Электронный ресурс]. URL: <https://clcl.i/jiUdJ> (дата обращения: 18.10.2025 г.).

© Гумирова А.М., 2026

И.В. Закиров

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ГЕОГРАФИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Аннотация. Рассмотрены особенности использования водных ресурсов в Республике Башкортостан. Приведена постановка проблемы и обоснована актуальность изучаемой темы. Подчеркиваются географические аспекты исследования: территориальное распределение водных ресурсов, различия в обеспеченности водой административных районов, крупное водопотребление в городах. По результатам анализа сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова. Водные ресурсы, использование водных ресурсов, обеспеченность водными ресурсами, забор воды.

Водные ресурсы в социально-экономической (общественной) географии – это возобновляемые, но неравномерно распределенные в пространстве и времени запасы поверхностных и подземных вод, которые при данном уровне развития технологий могут быть вовлечены в хозяйственный оборот и оказывают непосредственное влияние на территориальную организацию производительных сил, специализацию регионов и качество жизни населения. Для географа-обществоведа водные ресурсы – это не только реки, озера, подземные воды и т. п., но и возможность использования в жизнедеятельности человека и хозяйственной деятельности запасов поверхностных и подземных вод. При анализе водных ресурсов учитываются:

- территориальное распределение,
- доступность и стоимость добычи, использования,
- качество,
- возможности восполнения.

Таким образом, в социально-экономической (общественной) географии водные ресурсы рассматриваются не только как фактор размещения производительных сил, но и важнейший источник жизни человека. В связи с истощением и загрязнением поверхностных и подземных вод водная проблема стала одним из глобальных вызовов в мире. Поэтому научные исследования, связанные с водными ресурсами, в настоящее время носят междисциплинарный характер и весьма актуальны.

Республика Башкортостан сравнительно обеспечена водными ресурсами. Однако, по обеспеченности водными ресурсами республика (8750 м^3 в год на 1 человека) уступает среднероссийскому показателю (29380 м^3 в год) в 3,4 раза и показателям некоторых регионов [Закиров, 2016]. Наиболее обеспечены водой Белорецкий, Бурзянский, Зилаирский, Нуримановский районы, менее – Абзелиловский, Бакалинский, Буздякский, Давлекановский районы [Балков и

др., 2006].

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы в Башкортостане составляют в среднем 35 км³, из них на территории республики формируются 25,5 км³ [Закиров, 2017].

Основные источники водных ресурсов в Республике Башкортостан – это реки (более 12700 рек общей длиной 57 тыс. км), озера (более 2 тыс. озер), водохранилища и пруды (943 единиц) и болотные комплексы. Используются также подземные воды, в основном для питьевых целей. По состоянию на 1 января 2025 года прогнозные ресурсы подземных вод на территории Республики Башкортостан остаются в объеме 17 818,8 тыс. м³ / сутки [Государственный..., 2026].

В 2024 г. в Республике Башкортостан забрано из природных источников 834 млн. м³ свежей воды, из них использовано 772 млн. м³ (табл. 1). Наибольшая доля забора пришлась на бассейн р. Кама – 96,8%, доля р. Урал составила 2,6% и р. Обь – 0,6%. Раньше забор воды из поверхностных источников был несколько больше, например, в 2010-х годах из общего объема свежей воды, забранной из природных водных объектов, доля поверхностных вод составила 53,0%, подземных – 47,0% [Гареев, 2012]. В 2024 г. ситуация изменилась: воды было забрано больше из подземных источников (51,2% всего объема).

Таблица 1

Динамика использования водных ресурсов
Республики Башкортостан, млн. м³

Показатели	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2024 г.
Забрано всего	947	838	791	814	724	834
Использовано, в т.ч. на	880	778	743	756	657	772
промышленные нужды	447	419	396	379	392	423
хозпитьевые нужды	343	287	242	195	164	167
орошение	10	11	7	5	3	2
с/х водоснабжение	48	21	11	8	5	3
другие нужды	32	40	87	169	93	177

Главными потребителями водных ресурсов являются города Республики Башкортостан (табл. 2). Этому способствуют наличие в городах крупных промышленных и коммунальных предприятий, значительная численность населения.

Использование водных ресурсов
по городам Республики Башкортостан в 2024 году, млн. м³

№	Города	Использование пресной воды			
		всего	в том числе		
			на хозяйственные нужды	на производственные нужды	на прочие нужды
1.	Уфа	243,24	69,01	173,4	0,83
2.	Стерлитамак	127,5	20,98	106,28	0,24
3.	Салават	58,49	14,18	41,13	3,18
4.	Нефтекамск	29,08	7,48	19,58	2,02
5.	Ишимбай	14,11	3,4	10,44	0,27
6.	Белорецк	12,66	4,31	7,52	0,83
7.	Благовещенск	10,25	1,63	8,06	0,56
8.	Учалы	8,88	1,92	6,73	0,23
9.	Октябрьский	7,49	3,27	0,45	3,77
10.	Кумертау	6,59	2,55	4,03	0,01
11.	Мелеуз	6,51	2,32	3,89	0,3
12.	Белебей	6,13	2,55	3,52	0,06
13.	Туймазы	3,96	3,07	0,25	0,64
14.	Сибай	3,36	1,86	0,58	0,92
15.	Бирск	1,37	0,98	0,04	0,35
16.	Дюртюли	1,28	1,28	0,0	0,0
17.	Янаул	0,99	0,67	0,26	0,06
18.	Межгорье	0,64	0,45	0,11	0,08
19.	Агидель	0,59	0,13	0,01	0,45
20.	Давлеканово	0,59	0,51	0,0	0,08
21.	Баймак	0,23	0,15	0,02	0,06
	Всего по РБ	771,56	167,2	423,33	181,03

Выводы

1. Высокая территориальная дифференциация водопотребления. Наблюдается значительный разрыв в структуре и объемах использования воды между западной (равнинной) и восточной (горной) частями республики, а также между крупными промышленными узлами и сельской периферией. Основной объем забора воды приходится на густонаселенные и промышленно развитые районы, формируя зоны «водного дефицита» и высокой антропогенной нагрузки.

2. В структуре водопользования республики традиционно преобладают производственные нужды, связанные с топливно-энергетическим комплексом и нефтехимией. Сложившаяся модель водопотребления в городах (Уфа, Стерлитамак, Салават) характеризуется экстенсивным характером и высокой долей оборотного водоснабжения, которое, однако, не всегда решает проблему накопления загрязненных стоков.

3. Контрасты в обеспеченности и качестве водоснабжения населения. Имеются существенные различия в доступе населения к качественной питьевой

воде. Если в крупных городах централизованное водоснабжение охватывает практически всех жителей, то в сельской местности и малых городах сохраняется высокая зависимость от подземных источников, качество которых в условиях интенсивного сельского хозяйства и отсутствия зон санитарной охраны часто не соответствует нормативам. Это усиливает социальное неравенство в территориальном разрезе.

4. Влияние урбанизации и рекреации. Рост городов и развитие туризма создают «пульсирующую» нагрузку на водные объекты. Сезонный характер рекреации приводит к локальным пикам загрязнения в курортных местностях, что требует особых подходов к планированию инфраструктуры очистки, не рассчитанной на пиковые нагрузки.

5. Трансграничный контекст и экологические риски. Географическое положение республики в бассейне крупной транзитной реки (Белая) определяет ответственность региона за качество вод, поступающих в нижележащие субъекты Российской Федерации. Накопленный экологический ущерб (шламонакопители, отстойники) в густонаселенной части региона представляет собой отложенный риск не только для локальных экосистем, но и для всего бассейна Камы.

6. Необходимость совершенствования территориального планирования. Современная география использования водных ресурсов в Башкортостане свидетельствует о недостаточной синхронизации схем территориального планирования с программами развития водохозяйственного комплекса. Назрела необходимость перехода от отраслевого принципа управления водными ресурсами к бассейновому (интегрированному) с учетом интересов всех водопользователей и плотности населения в конкретных речных бассейнах.

Библиографический список

1. Балков В.А., Загорский В.А. Водные ресурсы // Башкирская энциклопедия. В 7 т. / гл. ред. М.А. Ильгамов. Т. 2: В–Ж. Уфа: Башкирская энциклопедия, 2006. С. 87–88.
2. Гареев А.М. Реки, озера и болотные комплексы Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2012. 248 с.
3. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2024 году // Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан [Сайт]. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/> (дата обращения: 06.03.2026 г.).
4. Закиров И.В. Природно-ресурсный потенциал Республики Башкортостан: структура, роль и перспективы использования: монография. Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. 148 с.
5. Закиров И.В. Природные ресурсы Республики Башкортостан: монография/ Академия наук Республики Башкортостан. Уфа: Башкирская энциклопедия, 2017. 104 с.

© Закиров И.В., 2026

Т.К. Кадыров

студент 1 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **А.О. Фирстов**

ассистент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ВОДНОГО БАЛАНСА

Аннотация. В статье рассматривается понятие водного баланса водоёма и его основное уравнение. Описан процесс разработки программы для автоматического расчёта водного баланса по семи компонентам: осадкам, поверхностному и подземному притоку, испарению, водозабору, поверхностному и подземному оттоку. Программа реализована в виде HTML-файла и работает в браузере без установки дополнительного программного обеспечения. Результатом расчёта является таблица с компонентами баланса и значением изменения запасов воды ΔS .

Ключевые слова. Водный баланс, уравнение водного баланса, гидрология, веб-программирование, HTML, JavaScript, расчёт водного баланса.

Понимание соотношения между поступлением воды в водоём и её расходом необходимо для оценки водных ресурсов, анализа внутригодовой и многолетней изменчивости стока, а также для решения прикладных задач водопользования, мелиорации и прогнозирования экстремальных гидрологических явлений.

В рамках курса общей гидрологии изучается водный баланс водоёмов – одна из базовых категорий гидрологического режима. Параллельно с теоретическим изучением темы возникла идея разработать программу, автоматически рассчитывающую водный баланс по заданным исходным. При небольшом числе расчётов это несложно выполнить вручную, однако при многократной проверке вариантов входных параметров программная реализация обеспечивает более высокую скорость, удобство и снижение вероятности арифметических ошибок. Также не существует подобных программ в сети интернет.

Водный баланс представляет собой количественное соотношение между приходными и расходными компонентами водного объекта за определённый интервал времени. В основе этого понятия лежит закон сохранения массы: изменение водных запасов может быть объяснено только разностью между поступлением и оттоком воды [Чеботарёв, 1978].

В гидрологии уравнение водного баланса применяют для рек, озёр, болот, водохранилищ, водосборов. В зависимости от особенностей объекта отдельные составляющие уравнения могут отсутствовать или приниматься равными нулю.

$$P+Q_{\text{п}}+Q_{\text{п.подз}}-E-W-Q_{\text{о}}-Q_{\text{о.подз}}=\Delta S \dots\dots\dots (1),$$

где P – атмосферные осадки на поверхность водоёма; $Q_{\text{п}}$ – поверхностный приток; $Q_{\text{п.подз}}$ – подземный приток; E – испарение с поверхности воды; W – хозяйственный водозабор; $Q_{\text{о}}$ – поверхностный отток; $Q_{\text{о.подз}}$ – подземный отток; ΔS – изменение запасов воды за расчётный период.

Положительное значение ΔS означает накопление воды в системе, отрицательное – уменьшение запасов, а нулевое – равенство прихода и расхода. Для различных типов водных объектов отдельные компоненты уравнения могут отсутствовать или приниматься равными нулю (например, отсутствие поверхностного оттока у бессточных озёр, незначительность подземного притока для ряда болотных систем).

Программная реализация выполнена в формате одного HTML-файла, что обеспечивает кроссплатформенность решения и возможность его использования в любом современном веб-браузере без установки дополнительного программного обеспечения. Такой подход удобен для учебных целей и обмена инструментом между студентами и преподавателями.

В разработке применены стандартные средства веб-технологий: HTML используется для задания структуры страницы (заголовки, поля ввода, кнопки, области вывода), CSS – для визуального оформления интерфейса, JavaScript – для реализации алгоритма расчёта водного баланса, обработки вводимых данных и динамического формирования результатов на странице.

Верстка веб-страницы (рис. 1) включает несколько логически обособленных блоков: заголовков, информационный блок с уравнением водного баланса, форму ввода исходных данных, кнопку запуска вычислений и область вывода результатов. Для каждого компонента уравнения предусмотрено отдельное поле ввода, что обеспечивает прозрачность структуры исходных данных и удобство работы пользователя.

Тип полей ввода `number` ограничивает ввод только числовыми значениями и тем самым снижает вероятность ошибок при заполнении. Каждое поле имеет уникальный идентификатор, который используется в сценарии на JavaScript для обращения к соответствующим значениям и выполнения расчётов.

Основная вычислительная логика сосредоточена в функции `calculate`, вызываемой при нажатии кнопки расчёта. Алгоритм функции включает три основных этапа: считывание и приведение вводимых значений к числовому типу, вычисление приходной и расходной частей баланса и определение изменения запасов воды ΔS , а также формирование и вывод таблицы результатов.

На первом этапе данные считываются из полей по их идентификаторам и преобразуются к числовому типу с использованием `number`, что необходимо для корректного выполнения арифметических операций в JavaScript.

На втором этапе рассчитываются суммарный приход (сумма соответствующих компонентов) и суммарный расход, затем определяется ΔS как разность между приходом и расходом.

Расчёт водного баланса водоёма

Формула: $P + Q_{\text{п}} + Q_{\text{п.позд}} - E - W - Q_{\text{о}} - Q_{\text{о.позд}} = \Delta S$

Введите данные:

Количество осадков (P):

Поверхностный приток (Qп):

Подземный приток (Qп.позд):

Испарение (E):

Расход / забор воды (W):

Отток поверхностный (Qо):

Отток подземный (Qо.позд):

Рассчитать

Рис. 1. Интерфейс вводной части (составлен автором)

На третьем этапе формируется HTML-представление таблицы (рис. 2) с исходными данными и итоговыми величинами, после чего оно динамически вставляется в область результатов без перезагрузки страницы. Дополнительно применяется цветовая индикация: итоговые строки таблицы выделяются, а текстовая интерпретация значения ΔS окрашивается в разные цвета в зависимости от знака баланса, что повышает наглядность и соответствует принципам визуализации результатов расчётов, используемым в учебных пособиях по гидрологии и водному хозяйству [Михайлов и др., 1991].

Для выполнения расчёта водного баланса пользователь открывает HTML-файл в браузере, вводит числовые значения семи компонентов уравнения и нажимает кнопку «Рассчитать». В результате на странице формируется таблица, содержащая введённые значения, суммарный приход, суммарный расход и вычисленное значение ΔS , а также текстовая интерпретация состояния баланса (накопление, убыль или равновесие).

Показатель	Обозначение	Тип	Значение
Количество осадков	P	Приход	12
Поверхностный приток	Qп	Приход	10
Подземный приток	Qп.позд	Приход	5
Испарение	E	Расход	8
Расход (забор воды)	W	Расход	0
Отток поверхностный	Qо	Расход	14
Отток подземный	Qо.позд	Расход	3
Итого приход	—	Приход	27
Итого расход	—	Расход	25
Изменение запасов воды	ΔS	Результат	2

Вывод: запасы воды увеличиваются ($\Delta S = +2$)

Рис. 2. Интерфейс итоговой части (составлен автором)

Единицы измерения компонентов водного баланса (например, миллиметры слоя осадков, объёмы в кубических метрах или кубических километрах) пользователь выбирает самостоятельно, при этом условием корректности расчёта является выражение всех составляющих в одних и тех же единицах, что полностью соответствует требованиями учебной и нормативной литературы по расчётам водных и водохозяйственных балансов [Гареев, 2001]. В случае отсутствия какой-либо составляющей для конкретного водного объекта в соответствующее поле вводится нулевое значение.

В работе рассмотрен водный баланс как один из фундаментальных инструментов гидрологического анализа и приведена реализация программы для автоматизированного расчёта элементов уравнения водного баланса по заданным исходным данным. Водный баланс трактуется как количественное выражение закона сохранения воды применительно к конкретному водному объекту, позволяющее оценить направленность изменения водных запасов и величину вклада отдельных компонентов.

Разработанная программа представляет собой компактное веб-приложение в виде одного HTML-файла, функционирующего в браузере без установки дополнительного программного обеспечения. Такой подход обеспечивает простоту внедрения в учебный процесс, позволяет оперативно выполнять серию расчётов и снижает риск арифметических ошибок в сопоставлении с ручными вычислениями.

Практическая значимость выполненной работы заключается в углублении понимания теоретических основ уравнения водного баланса и в освоении базовых приёмов веб-программирования, что может быть использовано при

дальнейшей разработке учебных и прикладных гидрологических программных продуктов. В перспективе возможна модернизация программы за счёт добавления выбора типа водного объекта, расчёта баланса за серию временных периодов и построения графиков изменения запасов воды, что соответствует современным тенденциям в визуализации гидрологических данных.

Библиографический список

1. Гареев А.М. Реки и озёра Башкортостана. Уфа: Китап, 2001. 260 с.
2. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. М.: Высшая школа, 1991. 368 с.
3. Чеботарёв А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.

© Кадыров Т.Ф., 2026

И.Ш. Фатхутдинова

магистрант 2 года обучения

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Ш. Фатхутдинова**

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕКИ БЕЛАЯ В ЧЕРТЕ ГОРОДА УФА

Аннотация. В статье рассматривается динамика загрязнения нефтепродуктами водных ресурсов реки Белая в черте города Уфа. Всего было проанализировано 4 пункта с 1999 по 2021 год.

Ключевые слова. Уфимский промышленный узел, нефтепродукты, река Белая, Уфа, качество воды, Республика Башкортостан.

На реку Белая, в пределах города Уфа, оказывает огромное влияние Уфимский промышленный узел, в котором сосредоточено огромное количество хозяйственных, коммунально-бытовых, промышленных объектов. На территории Уфимского промышленного узла находятся и функционируют 23 предприятия, осуществляющих забор и сброс сточных вод в природные водные объекты. Основная нагрузка приходится на реку Белая, Дема и Уфа [Курбанова, 2021]. В Уфе сосредоточено около 200 крупных и средних промышленных предприятий различных промышленности [Фатхутдинова и др., 2024].

Самая развитая промышленность в Уфимском районе, в пределах Уфимского промышленного узла, это химическая и нефтехимическая, имеющая множественные филиалы ОАО «АНК Башнефть» на территории района, а также машиностроительная и металлообрабатывающая, к нему относится такой крупный завод, как ПАО «ОДК – УМПО», выпускающий двигатели для авиации [Фатхутдинова и др., 2024].

Высокая степень концентрации промышленных предприятий на довольно малую и вытянутую территорию города Уфа в дальнейшем создает определенную сильную нагрузку на окружающую среду. В дальнейшем это может привести к экологическим проблемам на данной территории.

Для анализа динамики загрязнения нефтепродуктами водных ресурсов реки Белая в черте города Уфа были выбраны 4 пункта: река Белая – г. Уфа (6 км выше города); река Белая – г. Уфа (в черте города, 1 км ниже речного порта); река Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического водозабора); река Белая – г. Уфа (22,2 км ниже города (3,5 км ниже д. Тугай)).

На рисунке 1 (А) приведено изменение содержания нефтепродуктов на пункте река Белая – г. Уфа (6 км выше города), а на рисунке 1 (Б) -р. Белая – г. Уфа (в черте города, 1 км ниже речного порта) в период с 1999 по 2021 гг.

Предельно допустимая концентрация для нефтепродуктов составляет 0,05 мг/л. Наблюдается превышение ПДК по нефтепродуктам. В основном, это отмечается в период с 2006 по 2017 гг. В среднем содержание нефтепродуктов выше 0,05 мг/л. Максимальное значение в обоих пунктах отмечаются в 2012 году. 2012 год в целом характеризовался как теплый, с некоторым дефицитом осадков [Камалова, 2023]. По данным ФГБУ «Башкирское УГМС» из 12 месяцев 2012 года один оказался аномально холодным, один – холодным, два – близкими к норме, из остальных – три были теплыми и пять – аномально теплыми [Нурмухаметова, Камалова, 2023], что также стало одной из причин максимальной концентрации нефтепродуктов в воде. С 2017-2018 годов содержание нефтепродуктов в воде уменьшается, а уже с 2019 года становятся минимальными.

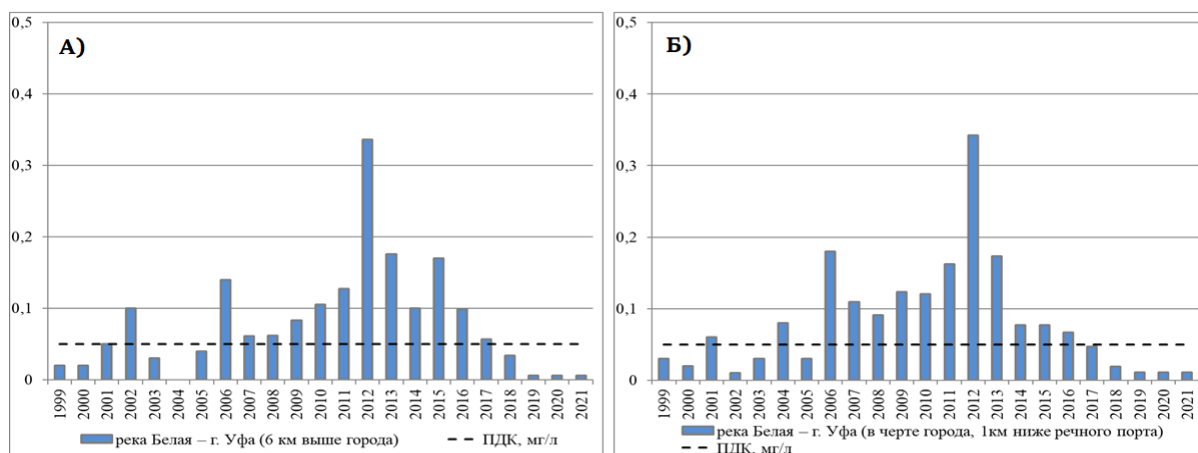


Рис. 1. Изменение содержания нефтепродуктов: А) р. Белая -г. Уфа (6 км выше города), мг/л; Б) р. Белая – г. Уфа (в черте города, 1 км ниже речного порта), мг/л (составлен автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»)

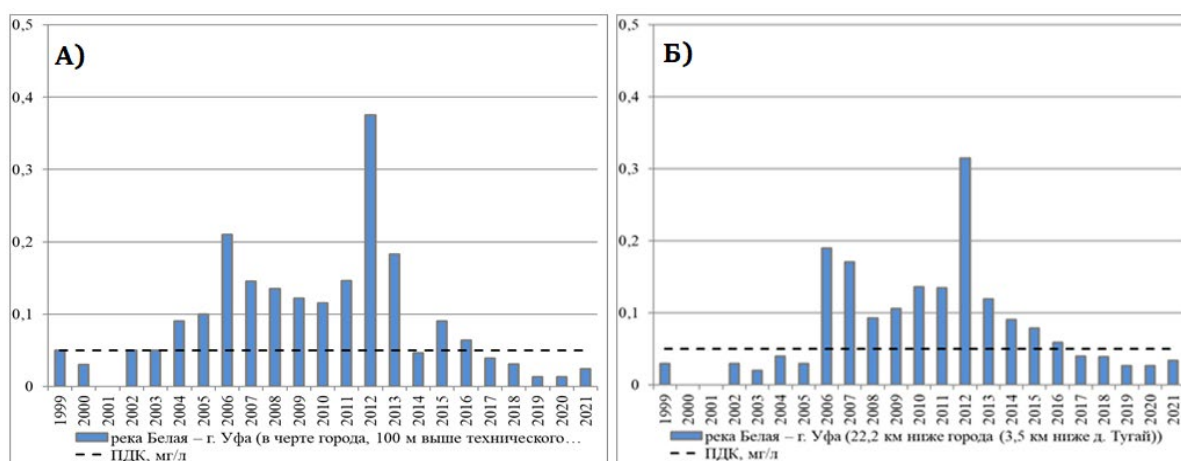


Рис. 2. Изменение содержания нефтепродуктов:

А) р. Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического водозабора), мг/л;
Б) река Белая – г. Уфа (22,2 км ниже города (3,5 км ниже д. Тугай))
(составлен автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»)

На рисунке 2 (А) приведено изменение содержания нефтепродуктов на пункте река Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического

водозабора), а на рисунке 2 (Б) – река Белая – г. Уфа (22,2 км ниже города (3,5 км ниже д. Тугай)) в период с 1999 по 2021 гг. Предельно допустимая концентрация для нефтепродуктов составляет 0,05 мг/л. На обоих пунктах также наблюдается превышение ПДК по нефтепродуктам. В основном, это отмечается в период с 2004 (рисунок 2 (А)) и с 2006 (рисунок 2 (Б)) по 2016 гг. В среднем содержание нефтепродуктов выше 0,05 мг/л. Максимальное значение в обоих пунктах также отмечаются в 2012 году. С 2015–2016 годов содержание нефтепродуктов в воде уменьшается, а уже с 2017 года становятся минимальными.

Из всех 4 исследуемых пунктов, самое максимальное значение наблюдалось в 2012 году на р. Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического водозабора).

Подводя итоги, по данным из наблюдаемых пунктов в пределах города Уфы и Уфимского района, можно заметить в последние года влияние загрязняющих веществ значительно снижается. Это может происходить по ряду причин, например, установка более эффективных очистных сооружений на предприятиях, уменьшение количества сброса, путем возникновения новых технологий оборотного использования воды, а также уменьшение количества респондентов, осуществляющих сброс в реки Уфимского промышленного узла.

Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан с 2004 по 2021 год [Электронный сайт]. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/> (дата обращения 21.03.2026 г.).
2. Камалова Р.Г. Современные климатические изменения в городе Уфа // Актуальные проблемы наук о Земле и туризма в условиях меняющегося мира. сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной профессиональным праздникам наук о Земле и туризма. Уфа, 2023. С. 202–208.
3. Курбанова Л.А. Водопотребление на территории Республики Башкортостан // Геосфера. Современные проблемы естественных наук. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 214–217.
4. Нурмухаметова Э.З., Камалова Р.Г. Температурные аномалии на территории Республики Башкортостан // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование. сборник материалов IX Международной научно-практической конференции. Киров, 2023. С. 91–94.
5. Фатхутдинова Р.Ш., Фатхутдинова И.Ш. Количественная оценка использования поверхностных водных ресурсов в пределах территории г. Уфа // В сборнике: Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования. Материалы II Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2024. С. 133–136.
6. Фатхутдинова И.Ш., Фатхутдинова Р.Ш. Динамика качества речных вод, находящихся под влиянием промышленных сбросов в пределах города Уфа // В сборнике: Экологические чтения – 2024. Сборник материалов XV Национальной научно-практической конференции. Омск, 2024. С. 704–708.
7. Фондовые данные ФГБУ «Башкирское УГМС».

И.Ш. Фатхутдинова

магистрант 2 года обучения

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Ш. Фатхутдинова**

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

МОНИТОРИНГ НИТРАТНОГО АЗОТА В ВОДНЫХ РЕСУРСАХ РЕКИ БЕЛАЯ (В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА УФА)

Аннотация. В статье рассматривается динамика загрязнения нитратным азотом водных ресурсов реки Белая в черте города Уфа. Всего было проанализировано 4 пункта с 1999 по 2021 год.

Ключевые слова. Река Белая, Уфа, Уфимский промышленный узел, азот нитратный, качество воды, Республика Башкортостан.

Актуальность проведения мониторинга нитратного азота в водных ресурсах реки Белая в пределах Уфимского промышленного узла обуславливается большим сосредоточением хозяйственных объектов на изучаемой территории, а также не малыми показателями водопотребления и водоотведения, что впоследствии приводит как к качественным, так и к количественным истощениям водных ресурсов.

Уфимский промышленный узел, расположенный в сердце Республики Башкортостан, представляет собой ключевой центр промышленности и экономического развития региона, оказывающий непосредственное влияние на качество водных ресурсов реки Белая.

На территории Уфимского промышленного узла находятся и функционируют 23 респондента, осуществляющих забор и сброс сточных вод в природные водные объекты [Курбанова, 2019, 2021]. Основная нагрузка приходится на реку Белая, Дема и Уфа. В Уфе сосредоточено около 200 крупных и средних промышленных предприятий различных промышленности [Фатхутдинова и др., 2020, Фатхутдинова и др., 2024].

К тому же нитратный азот оказывает значительное влияние на качество воды в реке Белая, как с экологической, так и с санитарной и биологической точек зрения. Для анализа динамики загрязнения азотом нитратным водных ресурсов реки Белая в черте города Уфа были выбраны 4 пункта: река Белая – г. Уфа (6 км выше города); река Белая – г. Уфа (в черте города, 1 км ниже речного порта); река Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического водозабора); река Белая – г. Уфа (22,2 км ниже города (3,5 км ниже д. Тугай)).

На рисунке 1 (А) приведено изменение содержания азота нитратного на пункте река Белая – г. Уфа (6 км выше города), а на рисунке 1 (Б) –р. Белая – г.Уфа (в черте города, 1 км ниже речного порта) в период с 1999 по 2021 гг. На

рисунке 2 (А) приведено изменение содержания азота нитратного на пункте река Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического водозабора), а на рисунке 2 (Б) -река Белая – г. Уфа (22,2 км ниже города (3,5 км ниже д. Тугай)) в период с 1999 по 2021 гг.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) азота нитратного составляет 9,0 мг/л. Превышение ПДК по азоту нитратному не наблюдается ни по одному из пунктов на реке Белая.

В среднем содержание азота нитратного колеблется от 1,0 до 3,0 мг/л. Максимальные значения отмечаются с 2014 по 2016 год. Качество воды на реке Белая за этот период в целом ухудшилось за счет незначительного снижения водности речных бассейнов.

С 2017 по 2020 год содержание азота нитратного в воде уменьшается, но в 2021 году снова возрастает до 2,5–3,0 мг/л.

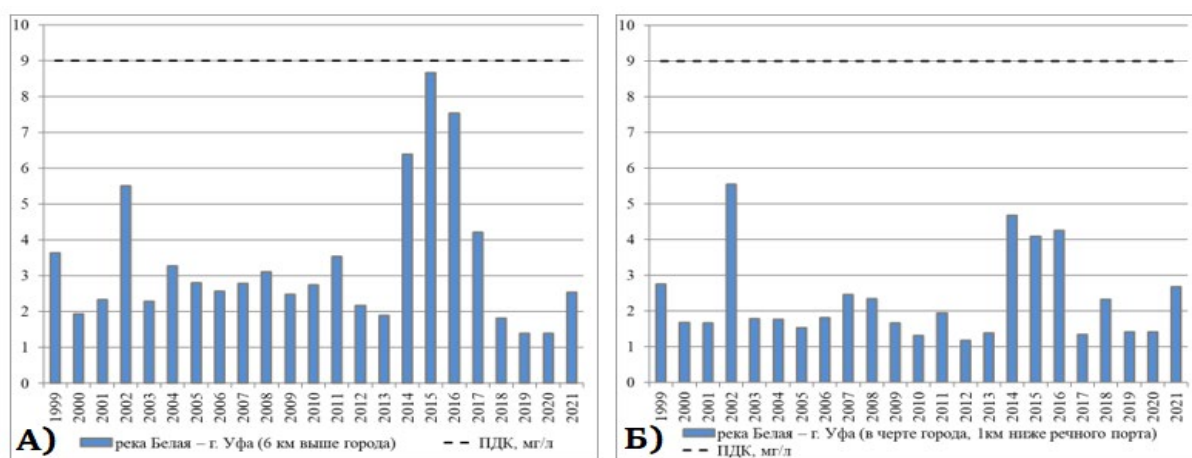


Рис. 1. Изменение содержания азота нитратного: А) р. Белая -г. Уфа (6 км выше города), мг/л; Б) р. Белая – г. Уфа (в черте города, 1 км ниже речного порта), мг/л (составлен автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»)

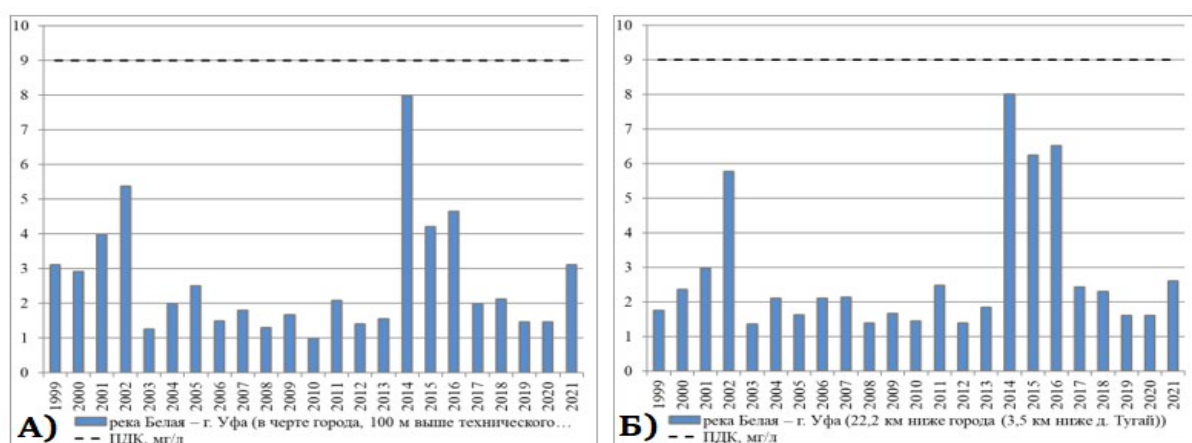


Рис. 2. Изменение содержания азота нитратного:
А) р. Белая – г. Уфа (в черте города, 100 м выше технического водозабора), мг/л;
Б) река Белая – г. Уфа (22,2 км ниже города (3,5 км ниже д. Тугай))
(составлен автором по фондовым данным ФГБУ «Башкирское УГМС»)

Из всех 4 исследуемых пунктов, самое максимальное значение наблюдалось в 2015 году на р. Белая –г. Уфа (6 км выше города), почти достигло значения ПДК.

С 1999 по 2021 год азот нитратный по всем 4 пунктам не превышает предельно допустимую концентрацию. Ведь его увеличение и превышение ПДК могло бы привести к «цветению водоема» или эвтрофикации, нарушению функционирования природных экосистем, снижению растворённого кислорода в воде и др.

Тенденция уменьшения азота нитратного в воде может происходить по ряду причин, например, установка более эффективных очистных сооружений на предприятиях, уменьшение количества сброса, путем возникновения новых технологий оборотного использования воды, уменьшение применения удобрений в сельском хозяйстве, а также уменьшение количества респондентов, осуществляющих сброс в реки Уфимского промышленного узла.

Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан с 2004 по 2021 год [Электронный сайт]. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/> (дата обращения 21.03.2026 г.).
2. Камалова Р.Г., Козлова А.С., Фирстов А.О. Современные изменения агроклиматических ресурсов в природно-сельскохозяйственных зонах Республики Башкортостан в теплый период // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2023. Т. 33. №4. С. 434–444.
3. Курбанова Л.А. Водопотребление на территории Республики Башкортостан // Геосфера. Современные проблемы естественных наук. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 214–217.
4. Курбанова Л.А. Источники поступления загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты на территории Республики Башкортостан // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии, водном хозяйстве и геоэкологии. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Международному Дню воды, 100-летию Республики Башкортостан и 110-летию Башкирского государственного университета. Башкирский государственный университет. 2019. С. 102–104.
5. Фатхутдинова И.Ш. Содержание ионов нитритов и сульфатов в воде реки Шугуровка в период с 2003 по 2018 год // ГЕОСФЕРА. сборник научных статей студентов, магистрантов и аспирантов. 2020. С. 190–191.
6. Фатхутдинова И.Ш., Фатхутдинова Р.Ш. Динамика качества речных вод, находящихся под влиянием промышленных сбросов в пределах города Уфа // Экологические чтения - 2024. Сборник материалов XV Национальной научно-практической конференции. Омск, 2024. С. 704-708.
7. Фатхутдинова Р.Ш., Фатхутдинова И.Ш. Количественная оценка использования поверхностных водных ресурсов в пределах территории г. Уфа // Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования. Материалы II Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2024. С. 133–136.
8. Фондовые данные ФГБУ «Башкирское УГМС».

© Фатхутдинова И.Ш., 2026

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 630.52:630.56

Каба Джиба

студент 2 курса магистратуры

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **В.Е. Прохоров**

канд. биол. наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ОЦЕНКА БИОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ РАЗЛИЧНЫМИ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ

Аннотация. В работе выполнен сравнительный анализ трёх подходов к оценке объёма стволовой древесины: упрощённой модели ($V=0,001d^2$), модели цилиндра с видовым числом и видоспецифичной аллометрической модели. Исследование проведено на основе данных натурных измерений (диаметр на высоте груди и высота), полученных на пробных площадях в древостое с преобладанием липы мелколистной (*Tiliacordata* Mill.). Выявлены систематические расхождения в оценках объёма. Установлено, что наиболее простые модели склонны к завышению результатов по сравнению с аллометрической. Анализ структуры древостоя показал доминирование средневозрастных особей и дефицит молодого подроста, что характерно для зрелых городских насаждений. Рекомендовано применение видоспецифичных аллометрических моделей для повышения точности учёта углеродных запасов и управления лесными экосистемами.

Ключевые слова. Аллометрия, биомасса, *Tiliacordata*, объем ствола, моделирование, углерод.

Оценка запасов стволовой древесины и фитомассы является фундаментальной задачей современной экологии и лесоводства. Точность такой оценки критически важна не только для экономических расчетов, но и для мониторинга углеродного цикла, климатических рисков и устойчивого управления природными ресурсами. Исторически подходы к оценке объема древесины прошли путь от простых эмпирических коэффициентов до сложных статистических моделей. На смену упрощенной формуле $V = k \cdot d^2$ и геометрически обоснованной формуле цилиндра $V = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h \cdot f$ пришли аллометрические уравнения вида $V = a \cdot H^b \cdot D^c$, учитывающие видоспецифичные особенности роста деревьев [Демаков и др., 2015; McTague et al., 2020]. Цель данной работы – провести сравнительный анализ этих трех подходов на примере древостоя с доминированием липы мелколистной (*Tiliacordata* Mill.) и оценить структуру насаждения для выработки рекомендаций по совершенствованию методов учета и управления.

Исследование основано на данных натурных измерений, проведенных на четырех пробных площадях (размером 50×50 м) в период с июня по июль 2024 года в окрестностях г. Казань (Республика Татарстан). На каждой площади выполнялся сплошной пересчет деревьев с фиксацией таксономической принадлежности и морфометрических показателей.

Для каждого дерева регистрировались: диаметр на высоте 1,3 м (Stem_diameter_cm, см) и высота дерева (Height_m, м). В анализ включены данные по следующим видам: *Tiliacordata*, *Acerplatanoides*, *Ulmusglabra*, *Betulapendula*, *Quercusrobur*.

Для оценки объема ствола были применены три модели:

1. Упрощенная модель (V_1): $V = 0,001 \cdot d^2$, (1)
где d – диаметр (см).

2. Модель цилиндра с видовым числом (V_2): $V = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h \cdot f$,(2)
где h – высота (м), f – видовое число (принято равным 0,5 для липы и 0,45 для остальных лиственных пород).

3. Аллометрическая модель (V_3): $V = a \cdot 10^{-5} \cdot H^b \cdot (D + 1)^2$,(3)
где H – высота (м), D – диаметр (см), a и b – видоспецифичные параметры [Тишин, 2011; Габделхаков, 2025]. Для *Tiliacordata* использованы параметры $a = 4,591$ и $b = 0,910$.

Статистическая обработка данных, расчет описательных статистик, построение гистограмм распределения и графиков рассеяния выполнены в среде Python.

Расчет средних значений объема ствола по трем моделям для всей выборки выявил систематические расхождения. Упрощенная модель (V_1) дает наиболее высокие средние оценки (1,228 м³), модель цилиндра (V_2) – промежуточные (1,135 м³), а аллометрическая модель (V_3) – наиболее консервативные (1,048 м³). Визуальный анализ графиков рассеяния (рис. 1) показывает, что аллометрическая модель (V_3) демонстрирует лучшее соответствие распределению эмпирических данных, особенно в области крупных диаметров, где расхождения между моделями максимальны (рис. 4). Это согласуется с выводами о том, что использование упрощенных моделей может вести к значительным завышениям оценок биомассы [Вайс, 2013; Zhang et al., 2025].

Распределение диаметров стволов липы (рис. 2) является унимодальным с пиком в классе 30–40 см и положительной асимметрией. Отмечается крайне низкая представленность молодых деревьев (диаметр < 20 см), что указывает на ограниченное естественное возобновление. Наличие «хвоста» распределения из крупных особей (диаметр > 50 см) свидетельствует о сохранении старовозрастного ядра.

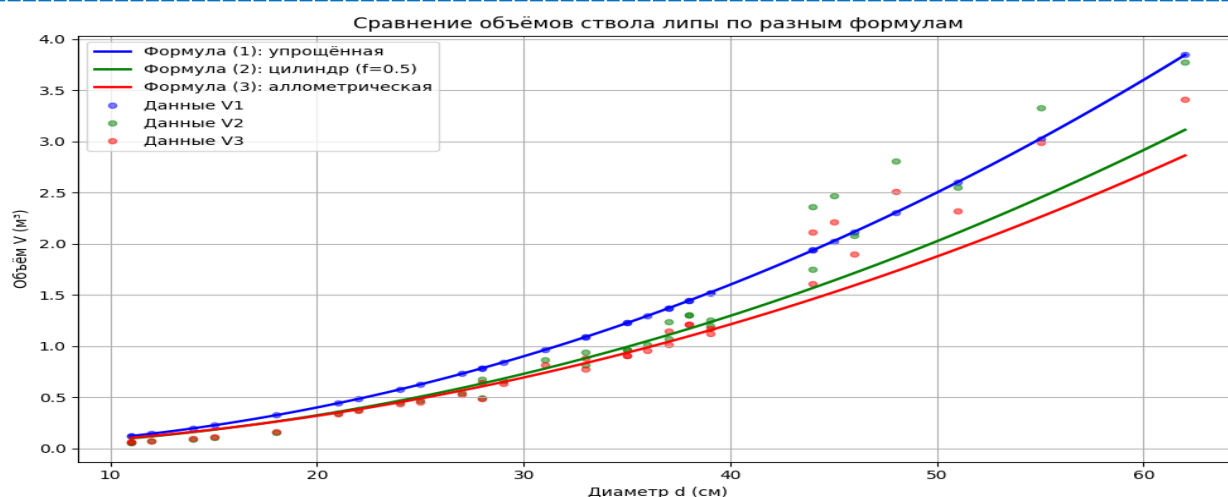


Рис. 1. Расчёт объёмов ствола липы по разным формулам (составлен автором)

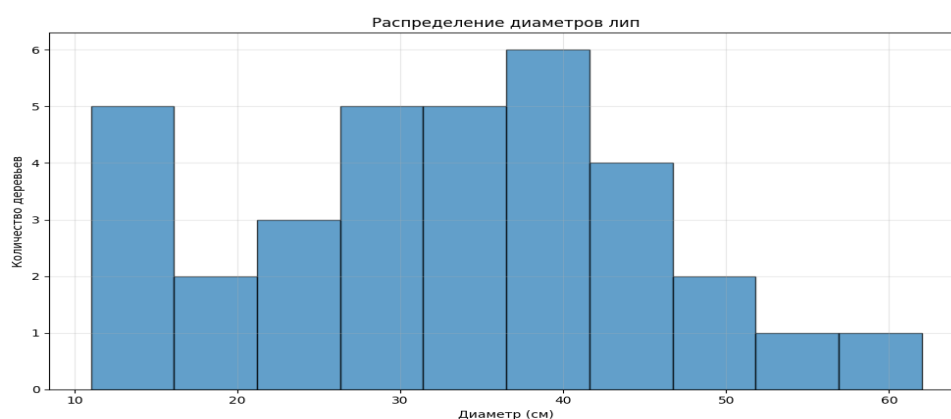


Рис. 2. Распределение диаметров липы (составлен автором)

Анализ распределения высот (рис. 3) также демонстрирует высокую однородность древостоя: большинство особей сконцентрировано в узком интервале 17,5–20,0 м. Отсутствие деревьев высотой менее 10 м подтверждает вывод о дефиците подроста. Такая структура характерна для зрелых искусственных или регулируемых насаждений и создает риски для долгосрочной устойчивости популяции в условиях городской среды или при изменении климата [Андреев, 2017; Guo et al., 2023].

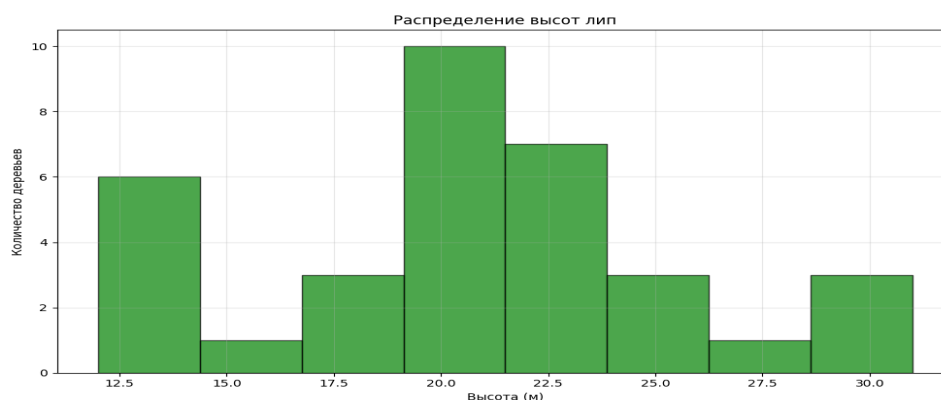


Рис. 3. Распределение высот липы (составлен автором)

Сравнение оценок аллометрической (V_3) и цилиндрической (V_2) моделей (рис. 4) показывает общую согласованность, но наличие систематического смещения, которое усиливается с ростом размеров дерева. Это подчеркивает, что выбор уравнения является значимым источником неопределенности, особенно при оценке запасов старовозрастных насаждений [Уфимцева, Шевелёв, 2014; Hnida et al., 2025].

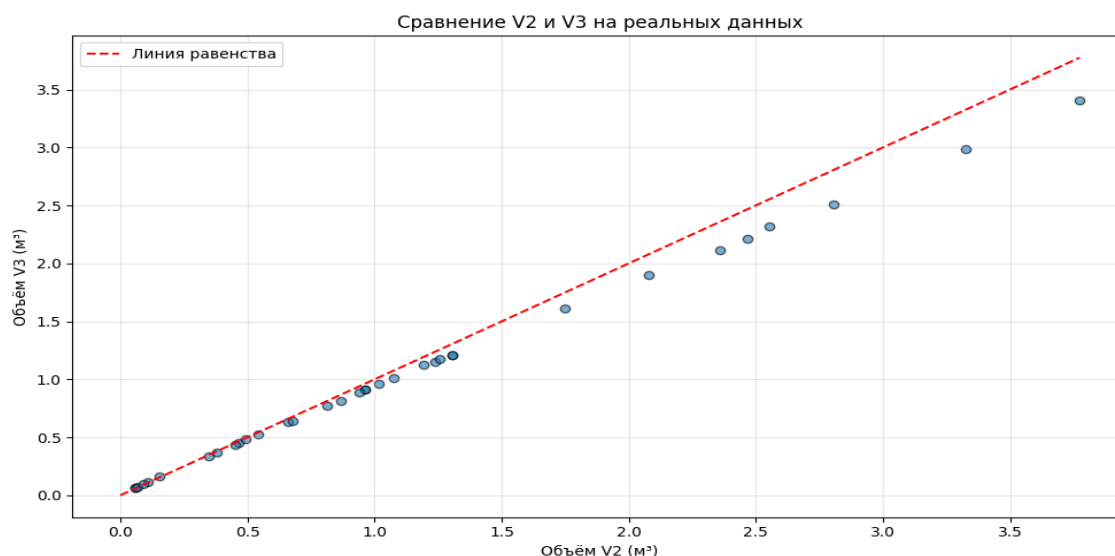


Рис. 4. Сравнение V_2 и V_4 для реальных данных (составлен автором)

В результате проведенного исследования установлено, что применяемые модели оценки объема стволовой древесины дают несовпадающие результаты. Видоспецифичная аллометрическая модель (V_3) является наиболее предпочтительным инструментом для точной оценки биомассы и запасов углерода, так как она в большей степени учитывает биологические закономерности роста и развития деревьев по сравнению с упрощенными геометрическими моделями.

Анализ популяции *Tiliacordata* выявил её зрелую структуру с критически низким уровнем естественного возобновления. Для обеспечения непрерывности древесного покрова и сохранения экосистемных услуг необходима реализация активных мер по посадке молодых деревьев. Сохранение старовозрастных экземпляров также должно оставаться приоритетом как носителей биологического и генетического разнообразия.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании мониторинга городских лесов, инвентаризации углеродных запасов и разработке программ адаптации к климатическим изменениям.

Библиографический список

1. Андреев Г.В. Вычисление объёма древесного ствола и его прироста тонкомерной сосны на болоте // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 10 (156).

2. Вайс А.А. Регрессионный метод определения объема срубленного дерева лиственницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 8 (15). С. 107–108.
3. Габделхаков А.К. Точность объемной таблицы для таксации древостоя липы мелколистной // Journal of Agriculture and Environment. 2025. № 5 (57). С. 1–18.
4. Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л., Черных Л.В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2 (26). С. 19–36.
5. Тишин Д.В. Оценка продуктивности древостоев. Казань: Казанский университет, 2011. 31 с.
6. Уфимцева Е.А., Шевелёв С.Л. Закономерности изменения формы стволов подроста сосны в условиях северного склона Восточного Саяна // Вестник КрасГАУ. 2014. № 4.
7. Fang W., Zhang F., Cai Y., et al. A remote sensing-based assessment of biomass carbon global temporal trends in urban forests // Sustainable Production and Consumption. 2025. Vol. 58. P. 267–276.
8. Guo C., Hu Y., Qin J., Xu L., Chu M., Wang H. Image-based estimation of crown volume of individual street trees by plane calculation of angle disparity // Urban Forestry & Urban Greening. 2023. Vol. 86. 128029.
9. Hnida Y., Mahraz M.A., Riffi J., Achebour A., Yahyaouy A., Tairi H. Transfer learning-enhanced deep learning for tree crown geometric analysis and crop yield estimation using UAV imagery // Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2025. Vol. 39. 101663.
10. Kwak M., Lee J., Cheng H., et al. Allometric equations for orchard and vineyard trees: enhancing AFOLU-based climate change mitigation // Frontiers in Plant Science. 2025. Vol. 16. 1663283.
11. McTague J.P., Scolforo H.F., Scolforo J.R.S. Early volume formulas, taper, implicit volume ratio, and auxiliary information: A new system of volume equations invariant to silvicultural practices, site, and genetic pedigree // Forest Ecology and Management. 2020. Vol. 475. 118412.
12. Molto Q., Rossi V., Blanc L. Error propagation in biomass estimation in tropical forests // Frontiers in Forests and Global Change. 2020. Vol. 3. 12.
13. Sileshi G.W. A critical review of forest biomass estimation models, common mistakes and corrective measures // Forest Ecology and Management. 2014. Vol. 329. P. 348–359.
14. Zhang Z., Yang X., He P., Jiang L. Simultaneous density-integral system for estimating stem profile, volume, wood density, and biomass of fourteen tree species in northeast China // Computers and Electronics in Agriculture. 2025. Vol. 236. 110453.

© Каба Джиба, 2026

Ю.В. Фаронова

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СУБЪЕКТОВ РФ В КОНТЕКСТЕ
ЦЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ СТРАНЫ**

Аннотация. Использован индексный метод для оценки экологического развития субъектов Российской Федерации в контексте обозначенных целей пространственного развития страны.

Ключевые слова. Волга, Дон, Амур, Урал, субъекты, Российская Федерация.

Введение и постановка проблемы. В пространственном развитии Российской Федерации поставлено достижение таких задач как «сокращение объема выбросов опасных загрязняющих веществ в атмосферный воздух в городах – участниках федерального проекта «Чистый воздух», в первую очередь на территории Дальневосточного и Сибирского федеральных округов; снижение объемов сброса загрязненных сточных вод и экологическое оздоровление основных водных объектов, в первую очередь реки Волга, реки Дон, реки Амур и реки Урал; внедрение принципов экономики замкнутого цикла и ресурсосберегающих подходов; учет реализуемых мероприятий по адаптации к изменению климата при формировании документов территориального планирования» [Стратегия..., 2024].

Сущность экологического развития в Российской Федерации раскрывается основами экологической политики. «Стратегической целью государственной политики в области экологического развития является решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики, снижение удельных показателей выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, образования отходов по видам экономической деятельности, инвентаризация территорий с целью установления районов с неблагоприятной экологической ситуацией, предупреждение и сокращение образования отходов, их вовлечение в повторный хозяйственный оборот» [Основы..., 2012].

В связи с обозначенными приоритетами возникает научный интерес к динамике экологического развития субъектов РФ.

Методы и методики исследований. Для пространственной аналитики экологического развития субъектов Российской Федерации были использованы статистические показатели Росстата (табл. 1).

Таблица 1

Перечень показателей Росстата для аналитики экологического развития субъектов Российской Федерации за 2000 и 2024 гг.

№	Показатели (i)	Обоснование актуальности показателя
1	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников	Оценка динамики выбросов от промышленных предприятий
2	Улавливание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников	Оценка технологических возможностей для улучшения качества воздуха
3	Доля уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферу веществ в общем количестве отходящих загрязняющих веществ от стационарных источников	Оценка уровня загрязнения воздуха
4	Объем оборотной и последовательно используемой воды	Оценка развития замкнутых циклов в использовании ресурсов
5	Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты	Оценка качества водной среды

Расчет коэффициентов и формирование рейтинга экологического развития: методика.

1) расчет коэффициента динамики статистического показателя по РФ:

$$IPF = P2024/P2000, \quad (1),$$

где I_{jRF} – коэффициент динамики каждого из 5 статистических показателей, $P2024$ – значение показателя за 2024 г., $P2000$ – значение показателя за 2000 г.

2) расчет коэффициента динамики статистического показателя по каждому субъекту РФ:

$$I_j = P2024/P2000, \quad (2),$$

где I_j – коэффициент динамики каждого из 5 статистических показателей по субъектам РФ (j)

3) уровень экологического развития субъекта РФ по каждому из 5 статистических показателей:

$$Li = I_j/IPF \quad (3),$$

4) ранжирование субъектов РФ по уровню экологического развития (для каждого статистического показателя) (R_j)

5) интегральный ранг субъектов РФ по уровню экологического развития:

$$R = (R1 + R2 + R3 + R4 + R5)/5 \quad (4),$$

6) ранжирование субъектов РФ по R – интегральному рангу.

Обсуждение результатов. С экономико-географической точки зрения динамика экологического развития зависит от динамики отраслевой структуры промышленности, динамики технико-экономических показателей промышленного производства, износа основных фондов в промышленности, инвестиций в очистные сооружения.

По итогам ранжирования были определены субъекты–лидеры РФ по динамике экологического развития (табл. 2).

Таблица 2

Субъекты–лидеры РФ по динамике экологического развития

субъект РФ	ранг	субъект РФ	ранг	субъект РФ	ранг	субъект РФ	ранг
Пермский край	1	Челябинская область (У)	11	Тюменская область без АО	21	г. Москва	31
Калининградская область	2	Омская область	12	Алтайский край	22	Курганская область	32
Республика Дагестан	3	Краснодарский край	13	Республика Коми	23	Иркутская область	33
Новгородская область	4	Ульяновская область (В)	14	Архангельская область	24	Республика Карелия	34
Республика Бурятия	5	Приморский край	15	Смоленская область	25	Нижегородская область (В)	35
Саратовская область (В)	6	Астраханская область (В)	16	Ямало-Ненецкий АО	26	Пензенская область	36
Вологодская область	7	Рязанская область	17	Тульская область (Д)	27	Волгоградская область (В)	37
Мурманская область	8	Забайкальский край (А)	18	Свердловская область	28	Воронежская область (Д)	38
Ханты-Мансийский АО – Югра	9	Республика Хакасия	19	Кемеровская область	29	Костромская область (В)	39
Липецкая область (Д)	10	Республика Мордовия	20	Амурская область (А)	30	Псковская область	40

Примечание: (В – субъекты, по территории которых протекает Волга; А – Амур; Д – Дон; У – Урал)

По итогам ранжирования были определены субъекты–аутсайдеры РФ по динамике экологического развития (табл. 3).

Таблица 3

Субъекты–аутсайдеры РФ по динамике экологического развития

Субъект РФ	Ранг	Субъект РФ	Ранг	Субъект РФ	Ранг	Субъект РФ	Ранг
Республика Татарстан (В)	41	Новосибирская область	51	Ивановская область (В)	61	г. Санкт-Петербург	71
Красноярский край	42	Тамбовская область	52	Ленинградская область	62	Брянская область	72

Орловская область	43	Ростовская область (Д)	53	Белгородская область	63	Карачаево-Черкесская Республика	73
Республика Адыгея	44	Чувашская Республика (В)	54	Самарская область (В)	64	Курская область	74
Республика Марий Эл (В)	45	Тверская область (В)	55	Республика Тыва	65	Томская область	75
Оренбургская область (У)	46	Республика Башкортостан (У)	56	Республика Саха (Якутия)	66	Ярославская область (В)	76
Сахалинская область	47	Хабаровский край (А)	57	Калужская область	67	Республика Калмыкия (В)	77
Магаданская область	48	Чукотский автономный округ	58	Московская область (В)	68	Камчатский край	78
Ставропольский край	49	Кировская область	59	Владимирская область	69	Кабардино-Балкарская Республика	79
Удмуртская Республика	50	Еврейская автономная область (А)	60	Республика Алтай	70	Республика Северная Осетия – Алания	80

Выводы

1. Из 15 субъектов РФ, через территорию которых протекает Волга, 6 вошли в первые 40 субъектов по экологическому развитию (это Саратовская, Ульяновская, Астраханская, Нижегородская, Волгоградская, Костромская области), 9 вошли во вторые 40 субъектов по экологическому развитию (Республика Татарстан, Республика Марий Эл, Чувашская Республика, Тверская область, Ивановская область, Самарская область, Московская область, Ярославская область, Республика Калмыкия).

2. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Волга, по индексу сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты отражён на рис. 1. Субъекты с позитивным развитием имеют индекс менее 1 (интенсивность сокращения сбросов в субъекте выше, чем сокращение сбросов в целом по РФ); это 10 из 15 рассматриваемых «волжских» субъектов РФ.

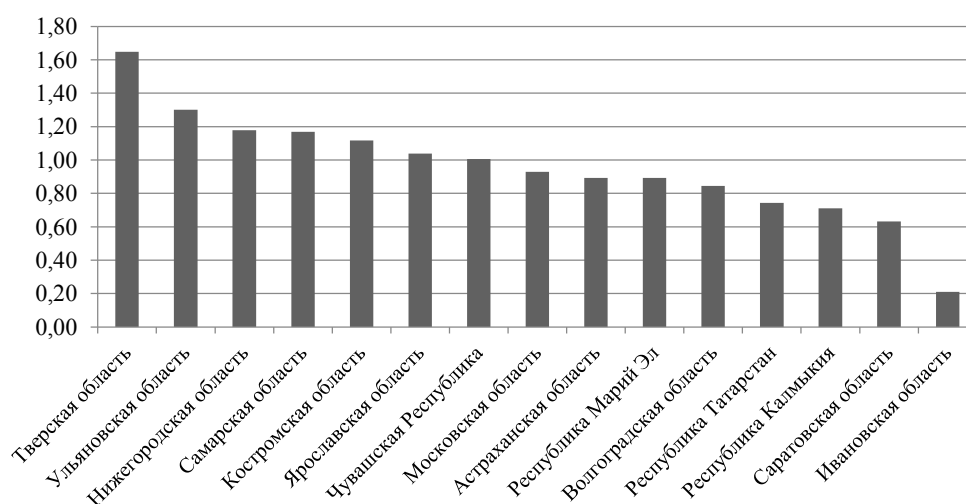


Рис. 1. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Волга, по индексу сброса загрязненных сточных вод (составлен автором)

3. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Дон, по индексу сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты отражён на рис. 2. Субъекты с позитивной динамикой по сбросу сточных вод относительно РФ: Волгоградская и Липецкая области.

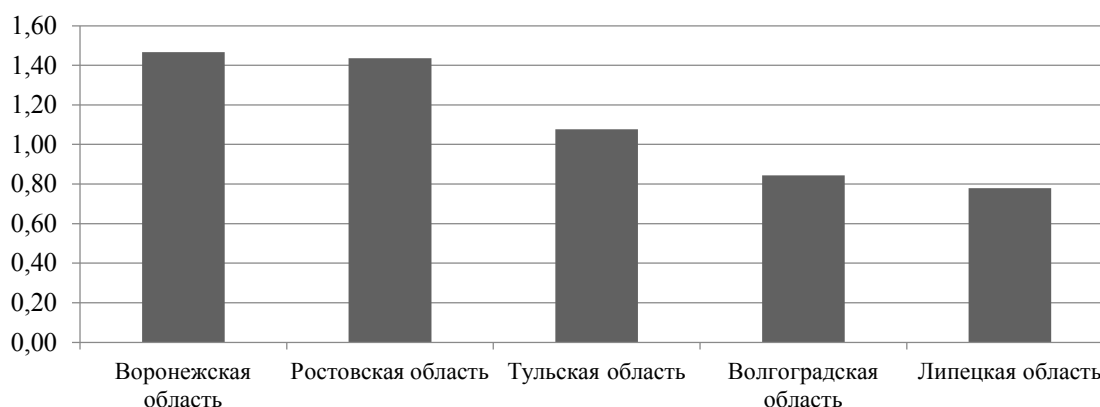


Рис. 2. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Дон, по индексу сброса загрязненных сточных вод (составлен автором)

4. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Амур, по индексу сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты отражён на рис. 3. Все пять «амурских» субъектов РФ отличаются негативной динамикой по сбросу сточных вод: индекс более 2.

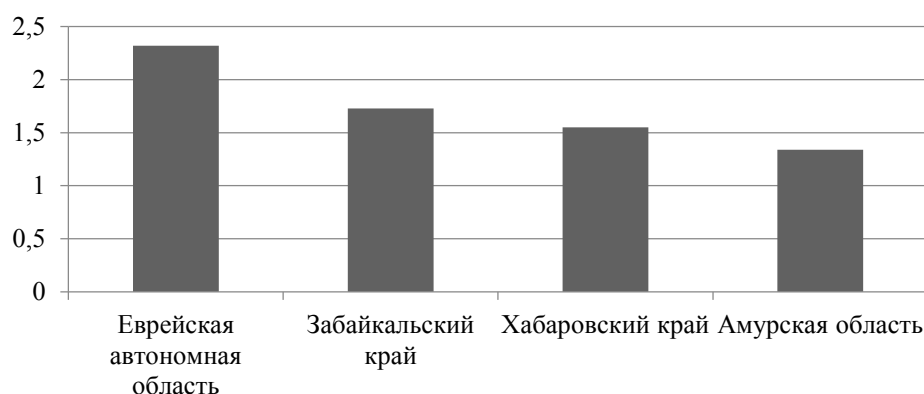


Рис. 3. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Амур, \ по индексу сброса загрязненных сточных вод (составлен автором)

5. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Урал, по индексу сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты отражён на рис. 4.

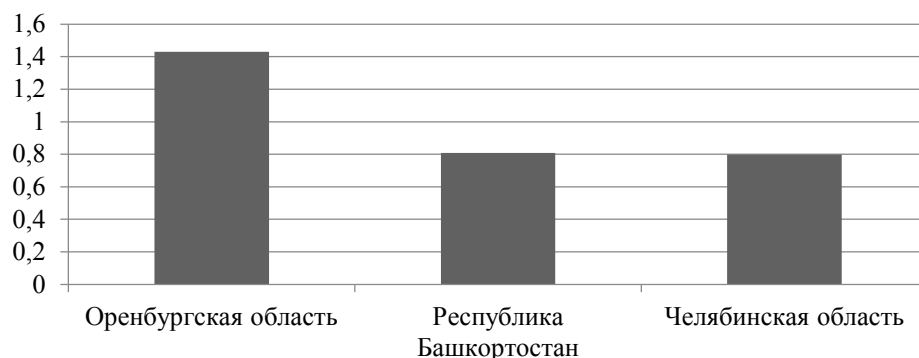


Рис. 4. Рейтинг субъектов РФ, по территории которых протекает Урал, по индексу сброса загрязненных сточных вод (составлен автором)

6. По индексу объема оборотной и последовательно используемой воды лидировали Южный (2,5), Северо-Западный (1,3), Дальневосточный федеральные округа (1,1) (отнесены к регионам с позитивной динамикой). В остальных федеральных округах (отнесены к регионам с негативной динамикой) индекс был менее 1 (в Центральном и Приволжском – по 0,9, в Уральском – 0,8; наихудшие показатели – в Сибирском (0,76) и в Северо-Кавказском (0,71) ФО).

7. По индексу доли уловленных загрязняющих атмосферу веществ лидировали Приволжский (1,2), Уральский (1,1) ФО (отнесены к регионам с позитивной динамикой). В остальных ФО индекс варьировал в пределах 0,95-0,91 (отнесены к регионам с негативной динамикой).

8. По индексу выбросов загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников в 5 из 8 федеральных округов была негативная динамика (Южный, Дальневосточный, Северо-Кавказский, Центральный,

Сибирский ФО). 45 % выбросов сконцентрированы в Тюменской области, Красноярском крае, Кемеровской, Иркутской, Свердловской областях.

9. Республика Башкортостан заняла 56 место по индексу экологического развития. Вошла в число субъектов РФ с низким индексом улова загрязняющих веществ от стационарных источников (ЗВСИ) (0,66), с низким индексом доли уловленных ЗВСИ (0,64).

В Российской Федерации утверждены планы адаптации к климатическим изменениям в 82 субъектах страны, в том числе в 71 субъекте страны разработаны уровни опасности климатических рисков. В РФ принят «ГОСТР ИСО 14090-2019. Адаптация к изменениям климата» [Адаптация..., 2025]. Выпущен «Рейтинг регионов России по необходимости адаптации к изменению климата» [Макаров и др., 2025] с анализом видов рисков в субъектах РФ.

Библиографический список

1. Адаптация к изменению климата в России– 2025. С атласом опасных климатических рисков в регионах России. Фонд «Центр стратегических разработок». URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/f42/lgp0sbzzehiygmfw4wu5wwjdqgksdcqj.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).
2. Макаров И.А., Чернокульский А.В., Анискина Т.А., Виноградова В.В., Краев Г.Н., Куричев Н.К., Рацеева С. С., Смолвик Е.В., Чистиков М.Н., Шелудков А.В., Юдова О.А. Рейтинг регионов России по необходимости адаптации к изменению климата. Москва: НИУ ВШЭ, 2025. URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/1099343686.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).
3. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утверждены 30 апреля 2012 г.). URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/15177> (дата обращения: 01.03.2026).
4. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года (утверждена 28 декабря 2024 г.). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411143583/> (дата обращения: 01.03.2026).

© Фаронова Ю.В., 2026

Л.А. Хайрулина^{1,2}, Л.Н. Белан^{1,2}, Н.В. Барановская³, С.Т. Телягисов¹
¹старший преподаватель; д.г.-м.н., профессор;
аспирант 1 года обучения, ассистент
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
²младший научный сотрудник; директор
МНОЦ «Кафедра ЮНЕСКО «Геопарки и территории устойчивого развития»,
³д.б.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КОСТНОЙ ТКАНИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Аннотация. Изучен макроэлементный состав костной ткани лося (*Alces alces*), кабана (*Sus scrofa*) и косули (*Capreolus pygargus*) Республики Башкортостан. Анализ 31 пробы методом ИСП-МС выявил видовые особенности накопления элементов. Наиболее существенные различия обнаружены для К (снижение у лося) и S (повышение у косули). Результаты подтверждают перспективность использования костной ткани млекопитающих как биоиндикатора эколого-геохимической ситуации региона и могут быть применены при оценке состояния популяций в районах с различной эколого-геохимической специализацией.
Ключевые слова. Макроэлементный состав, костная ткань, млекопитающие, биоиндикация, *Alces alces*, *Sus scrofa*, *Capreolus pygargus*.

Макроэлементы – это химические элементы, которые необходимы организму в больших количествах, поскольку участвуют в большинстве важнейших процессов жизнедеятельности организма. По классификации химических элементов E. Underwood к макроэлементам относятся Na, Mg, P, S, Cl, K и Ca [Барановская и др., 2015; Стрепетов и др., 2024].

Твёрдые ткани организма млекопитающих, такие как кость или зубы, обладают наименьшей скоростью обновления и способны депонировать и концентрировать большой спектр химических элементов на протяжении длительного времени [Glimcher, 2006; Demesko, 2019]. Например, биологический период полувыведения микроэлементов из костной ткани человека составляет до 30 лет, а содержание тяжёлых металлов в костях может достигать 90% от их общего содержания в организме [Zaichick, 2011]. Дефицит или нехватка элементов может вызывать многие проблемы в развитии организмов [Афтанас, 2013; Скальный и др., 2016; Злобина и др., 2023].

Целью данной работы являлось выявление особенностей макроэлементного состава костных тканей лося (*Alces alces*), кабана (*Sus scrofa*) и косули (*Capreolus pygargus*), ареал которых приурочен к территориям Республики Башкортостан, характеризующихся разным геологическим строением и геохимическим фоном [Отчет НИР, Долгих и др., 2013]. Пробы для

исследования были отобраны с территорий относящихся к платформенным Восточно-Европейской и Южно-Предуральской провинциям, а также к коллизионным Западно-Уральской и Магнитогорской областям по данным карты минерагенического районирования Республики Башкортостан (рис. 1) [Хайрулина и др., 2025].

Для достижения поставленной цели образцы костной ткани были проанализированы методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Результаты анализа были обработаны с помощью программы Microsoft Excel. Всего было проанализировано 31 проба костей – по одной бедренной кости от каждого организма. В качестве среднего использовались медианные значения в связи с высокой дифференциацией химических элементов в живых организмах.

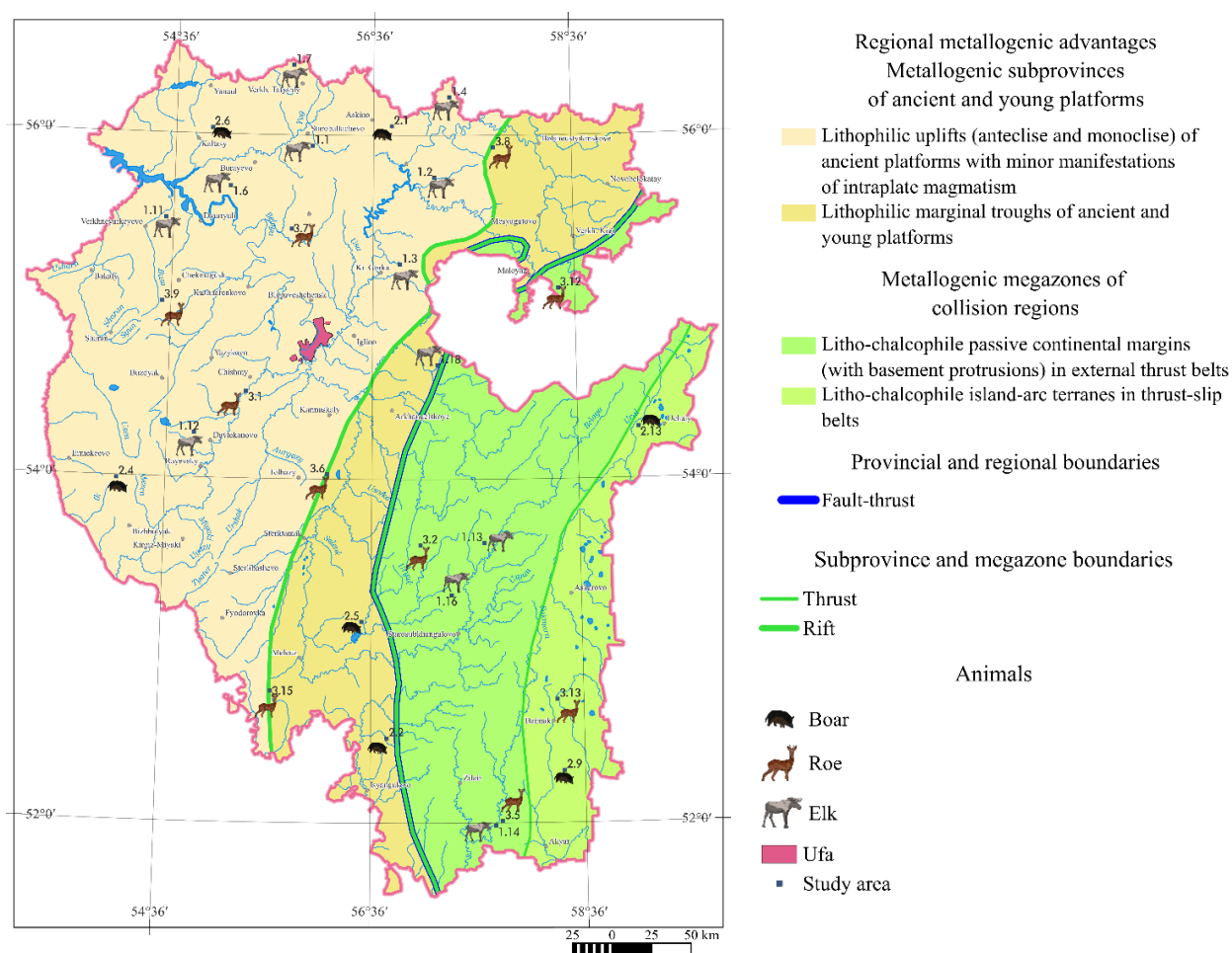


Рис. 1. Карта минерагенического районирования Республики Башкортостан с авторскими дополнениями (места отбора проб костной ткани лось *Alcesalces* (elk), кабан *Susscrofa* (boar), косуля *Capreoluspygargus* (roe)). Масштаб 1:2 100 000

При сравнении медианных значений макроэлементов в костной ткани исследованных видов животных, было установлено, что наиболее существенные различия наблюдаются в содержании К и S (табл. 1).

Таблица 1

Медианные значения концентраций макроэлементов в костной ткани, мг/кг

Виды	Ca	Mg	Na	K	P	S	Cl
Лось (<i>Alcesalces</i>) 13 проб	172803	3648	3550	426	47999	3026	1143
Кабан (<i>Susscrofa</i>) 7 проб	180923	4081	3496	910	49347	1161	970
Косуля (<i>Capreoluspygargus</i>) 11 проб	194931	4306	3441	909	58956	4708	1765

На основе полученных данных проведён сравнительный анализ медианных значений концентраций макроэлементов в костной ткани.

1. Кальций (Ca) и фосфор (P) – основные минеральные компоненты костной ткани – максимальные значения зафиксированы у косули, минимальные – у лося. Данная закономерность может отражать видовые особенности минерального обмена.

2. Калий (K) выявлен как элемент с наиболее выраженной межвидовой дифференциацией – концентрация у лося (426) более чем в два раза ниже, чем у кабана (910) и косули (909).

3. Сера (S) демонстрирует контрастную картину – максимальное содержание отмечено у косули (4 708), минимальное – у кабана (1 161).

4. Магний (Mg), натрий (Na) и хлор (Cl) показывают относительно стабильные значения между видами (различия в пределах 10–20%).

Получены данные о макроэлементном составе костной ткани *Alcesalces*, *Susscrofa*, *Capreoluspygargus*, обитающих на территориях Республики Башкортостан. Результаты характеризуются как видовыми, так и элемент-специфичными особенностями. Наиболее существенные межвидовые различия выявлены для калия (снижение у лося) и серы (повышение у косули, снижение у кабана). Выявленные различия могут быть связаны с видовыми особенностями минерализации костного матрикса, а также с различиями в геохимическом фоне мест обитания. Необходимо проведение дополнительных исследований с сопоставительным анализом элементного состава компонентов экосистем (почвы, кормовые растения, вода).

Полученные результаты исследования макроэлементного состава костной ткани *Alcesalces*, *Susscrofa*, *Capreoluspygargus* в Республике Башкортостан дают основание полагать, что сера (S) и калий (K), содержащиеся в костной ткани указанных видов животных могут служить маркерами для оценки эколого-геохимической специализации региона.

Библиографический список

1. Афтанас Л.И., Киселев М.Ф. Элементный статус населения Приволжского и Уральского федеральных округов. Ч. 4. 2013. 575 с.
2. Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Игнатова Т.Н. и др. Очерки геохимии человека. Томск:

Издательство Томского политехнического университета, 2015. 378 с.

3. Злобина А.Н., Фархутдинова Л.М., Фархутдинов И.М., Беляновская А.И., Барановская Н.В., Чесалова Е.И., Фархутдинов А.М., Хайрулина Л.А., Крестьянникова Е.В. Закономерности формирования регионального уранового статуса на примере Республики Башкортостан. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 10. С. 153–168.

4. Отчет НИР по теме: составление схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Республики Башкортостан. Киров 2013. Руководитель и ответственный исполнитель НИР - с.н.с. А.В.Долгих. Отчет 13135 с., 57 ч., 60 рис., 1679 табл., 140 источников, 2 прил.
<https://docs.cntd.ru/document/543715730?marker=24НЕСКН§ion=text>

5. Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г. Эколого-физиологическая оценка элементного статуса взрослого населения Республики Башкортостан // Гигиена и санитария. 2016. №6. С. 39–44.

6. Стрепетов Д.А. Макроэлементный состав организма благородных оленей (*Cervuselaphus*) на территориях рекреационных зон приморского края. В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXVIII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 125-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева и 130-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова. Томск, 2024. С. 273–274.

7. Хайрулина Л.А., Белан Л.Н., Барановская Н.В. Эколого-геохимические особенности территории Республики Башкортостан, по результатам сканирующей электронной микроскопии костного материала лося *Alcesalces* (Linnaeus, 1758). В сборнике: Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы. Материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции. Томск, 2025. С. 651–654.

8. Demesko J., Markowski J., Demesko E. et al. Ecotype Variation in Trace Element Content of Hard Tissues in the European Roe Deer (*Capreolus capreolus*). Arch Environ Contam Toxicol 76, 76–86 (2019).

9. Glimcher M.J. Bone: nature of the calcium phosphate crystals and cellular, structural, and physical chemical mechanisms in their formation. Rev Mineral Geochem 64:223–282 (2006).

10. Zaichick S., Zaichick V. The effect of age on Ag, Co, Cr, Fe, Hg, Rb, Sb, Sc, Se, and Zn contents in intact human prostate investigated by neutron activation analysis. Applied Radiation and Isotopes 69 (6), 827–833 (2011).

© Хайрулина Л.А., Белан Л.Н., Барановская Н.В., Телягисов С.Т., 2026

С.Ю. Подласкина¹, Н.В. Яковенко²¹соискатель, ²профессорВоронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ КОМФОРТ СПОРТСМЕНОВ
НА ОТКРЫТЫХ ТЕННИСНЫХ КОРТАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСА WBGT

Аннотация. Теннис относится к видам спорта с высокими аэробными нагрузками, а продолжительность матча может достигать 3–5 часов, что в условиях высокой инсоляции создает угрозу теплового удара. Несмотря на рекомендации ITF использовать индекс WBGT, роль зеленых насаждений как естественного регулятора комфорта изучена недостаточно. Цель работы – количественная оценка влияния различных типов озеленения на биоклиматический комфорт спортсменов на открытых кортах. Микроклиматические параметры измерялись на пяти участках: открытый корт, корт с липой, корт с елью, зона под дубом и открытая парковка. Установлено, что плотные посадки ели колючей снижают температуру воздуха на 4,4°C, а нагрев поверхности – на 10,1°C по сравнению с контролем. Индекс WBGT под пологом ели составил 26,8°C (зеленая зона), тогда как на открытом корте достиг 31,2°C (красная зона, запрет матчей). Ключевым фактором улучшения условий является радиационное экранирование плотным пологом хвойных пород. Полученные данные обосновывают необходимость включения защитных зеленых полос в проекты реконструкции открытых кортов.

Ключевые слова. Теннисные корты, микроклимат, тепловой стресс, индекс WBGT, зеленые насаждения, *Tiliacordata*, *Picea pungens*, *Quercus robur*, биоклиматический комфорт, инсоляция.

Введение и постановка проблемы. В условиях глобального потепления проведение массовых спортивных мероприятий на открытом воздухе сопряжено с возрастающими рисками для здоровья атлетов, поскольку экстремальная жара может привести к тепловому истощению и опасному для жизни тепловому удару [Armstrong и др., 2007]. Международные спортивные федерации, включая ITF (теннис), признают эту угрозу и внедряют политики безопасности, основанные на объективной оценке теплового стресса с использованием термических индексов. Наиболее распространенным инструментом для этой цели является индекс WBGT (WetBulbGlobeTemperature), разработанный в 1950-х годах для армии США и впоследствии адаптированный для спорта; он учитывает комплексное воздействие температуры, влажности, ветра и солнечной радиации [Budd, 2008]. Однако исследователи отмечают, что существующие индексы, включая WBGT, могут не в полной мере отражать физиологическое напряжение спортсменов из-за высокого метаболического теплопродукции и не учитывают индивидуальный уровень акклиматизации [Périard и др., 2015]. Физиологические

адаптации к теплу, такие как улучшение потоотделения и кожного кровотока, подробно изучены [Gerrett и др., 2019], однако стратегии снижения внешней тепловой нагрузки на спортивных объектах исследованы меньше. Искусственные покрытия, которые сегодня часто используют на открытых кортах, могут усиливать тепловую нагрузку. Согласно данным [Grundstein и др., 2018], поверхность таких полей способна нагреваться до температур, при которых возрастает риск ожогов и ухудшается тепловое состояние спортсменов. Разрабатываются инженерные решения, позволяющие снижать этот эффект, но роль естественного озеленения как пассивного способа регуляции микроклимата на спортивных объектах пока изучена слабо. В отечественной литературе вопросы ландшафтной организации спортсооружений поднимаются, например, в работе [Сунгуровой и др. 2023]. Авторы подчёркивают важность зелёных насаждений для создания комфортной среды, однако количественных оценок того, как разные типы растительности влияют на тепловой стресс, они не дают. Экономические аспекты тоже затрагиваются: [Зуев, Кудрявцева, 2024] показывают, что наличие качественных зелёных зон повышает привлекательность городских территорий, что косвенно говорит о значимости озеленения и для рекреации, и для спорта. В то время как большинство федераций рекомендует меры, такие как перенос игр на вечернее время или увеличение интервалов между сетами, вопрос целенаправленного применения древесной растительности для снижения индекса WBGT на теннисных кортах остается практически не исследованным в научной литературе. Общие принципы влияния зелёных насаждений на микроклимат городских пространств обсуждаются в ряде публикаций, однако количественная оценка их влияния на тепловой стресс спортсменов с использованием интегральных индексов еще не проводилась. В связи с этим, задача количественного анализа воздействия различных типов озеленения на биоклиматический комфорт спортсменов с применением индекса WBGT представляется актуальной и практически значимой.

Цель исследования – количественная оценка влияния различных типов озеленения на биоклиматический комфорт спортсменов на открытых теннисных кортах с использованием индекса WBGT.

Методы. Исследование микроклиматических параметров проводилось на пяти разнотипных участках: открытый корт (контроль), корт с разреженной посадкой липы (*Tiliacordata*), корт с плотной посадкой ели (*Piceapungens*), рекреационная зона под дубом (*Quercusrobur*, эталон) и открытая парковка (модель перегрева). Измерения выполнялись в июле в часы максимальной инсоляции (14:00–15:00). Регистрировались температура и влажность воздуха, скорость ветра, а также температура поверхности покрытия. Оценка тепловой нагрузки производилась путем расчета индекса WBGT для уличных условий (с поправкой на солнечную радиацию).

Обсуждение результатов.

В ходе натурных измерений были получены данные, позволяющие количественно оценить влияние различных типов озеленения на параметры микроклимата. На рисунке 1 представлены средние значения температуры воздуха и температуры поверхности для пяти исследуемых участков, зафиксированные в период максимальной солнечной активности.

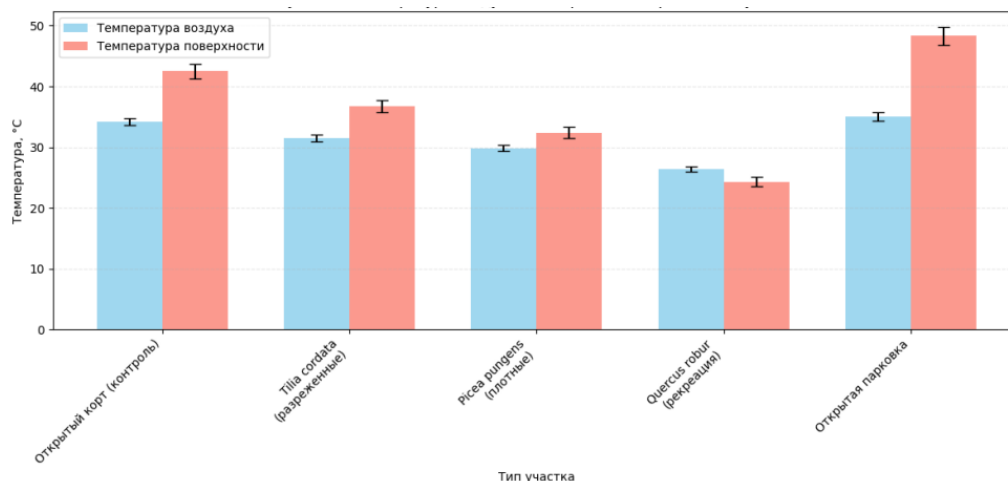


Рис. 1. Микроклиматические параметры (температура воздуха и поверхности) на участках с разным типом озеленения (составлен автором)

Установлено, что максимальные температуры поверхности зафиксированы на открытой парковке ($48,3 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) и контрольном дворе ($42,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$), что создает опасность термических ожогов при падении спортсменов и ускоряет деградацию покрытий. Под пологом *Picea pungens* температура поверхности снижается до $32,4 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$, что на $10,1^{\circ}\text{C}$ ниже контроля. Температура воздуха в зонах под хвойными насаждениями оказывается ниже ($29,8 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$), чем в контрольных участках ($34,2 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$).

Наименьшие температурные показатели зафиксированы в рекреационной зоне под пологом *Quercus robur*, где воздух прогревался лишь до $26,4 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, а температура поверхности не превышала $24,3 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

Под плотными кронами *Picea pungens* влажность воздуха достигает $48 \pm 2\%$ – это заметно выше, чем на открытом дворе ($38 \pm 3\%$). Скорость ветра здесь снижается до $1,4 \pm 0,2$ м/с против $2,8 \pm 0,4$ м/с на контроле. Умеренное повышение влажности в таких условиях не мешает потоотделению, а ослабление ветра уменьшает неприятные ощущения от обдува. Ещё более выраженные изменения зафиксированы под *Quercus robur*: влажность поднимается до $56 \pm 3\%$, ветер падает до $0,8 \pm 0,2$ м/с. На парковке, напротив, ветер почти не отличается от контроля, а влажность остаётся минимальной ($36 \pm 4\%$).

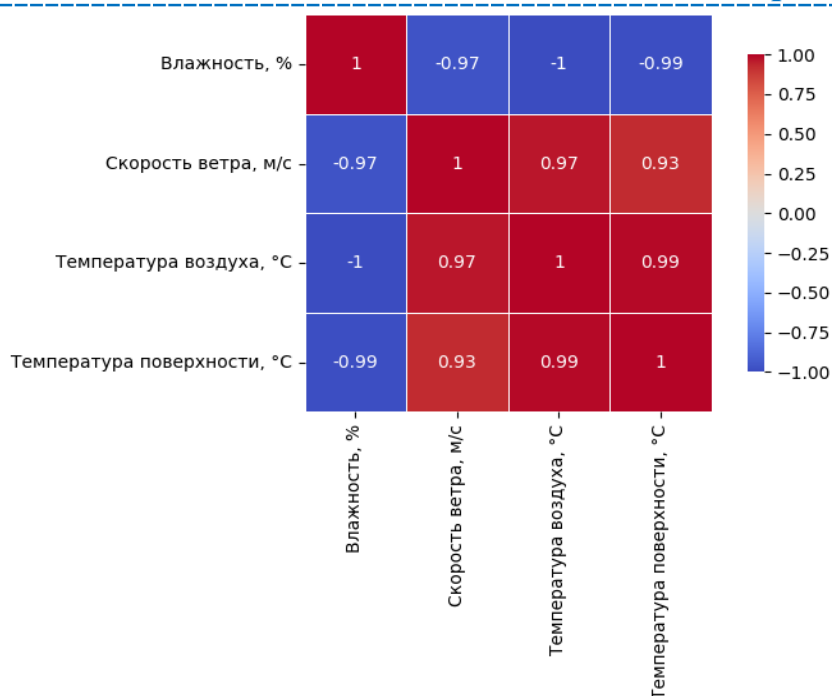


Рис. 2. Корреляционная матрица параметров озеленения и микроклимата (составлен автором)

Корреляционный анализ подтверждает связь между структурой насаждений и микроклиматом. Сомкнутость крон тесно связана и с температурой воздуха ($r = -0,89$), и с влажностью ($r = 0,92$). Плотность посадок даёт сходные показатели: $r = -0,82$ для температуры и $r = 0,86$ для влажности. Сама зависимость между температурой и влажностью близка к линейной ($r = -0,95$) (рис.3). Иначе говоря, чем выше сомкнутость и плотность насаждений, тем меньше тепловая нагрузка.

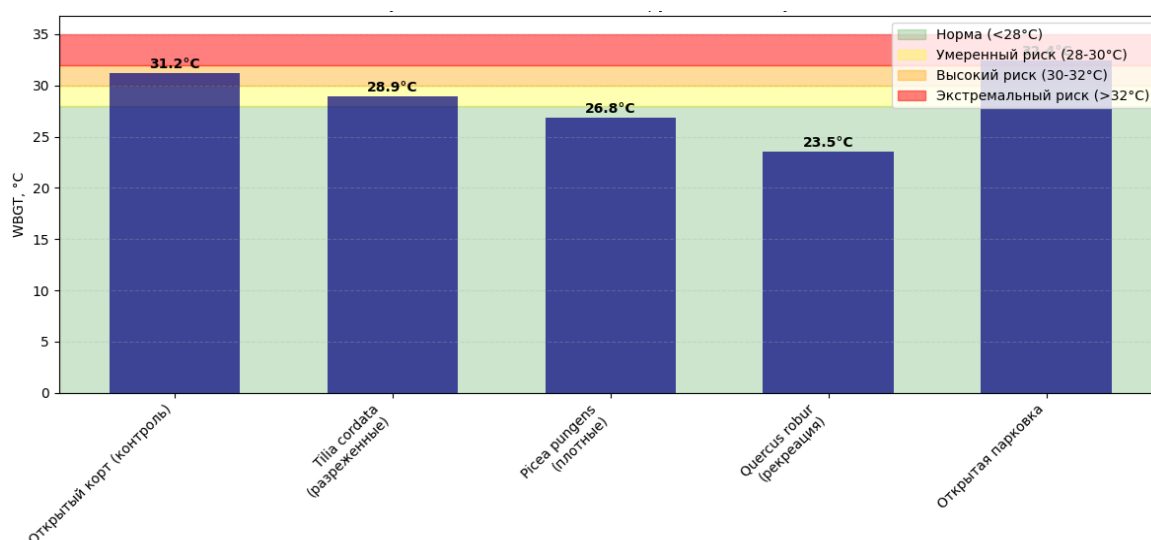


Рис. 3. Индекс тепловой нагрузки WBGT на участках разного типа (составлен автором)

Использование интегрального индекса WBGT (рис. 3) позволило консолидировать три параметра в единую меру теплового риска для спортсменов. На контрольном открытом корте значение достигло 31,2°C, что соответствует «красной зоне», при которой проведение игр не рекомендуется из-за высокого риска теплового удара. В условиях насаждений мелколистной липы WBGT снизился до 28,9°C, переводя ситуацию в зону повышенной тепловой нагрузки, где обязательны перерывы каждые 60 минут. В то же время под плотным насаждением ели колючей WBGT составил 26,8°C – нормальная для физической активности температура зелёной зоны. Пик комфорта – рекреационная зона под черешчатым дубом с индексом 23,5°C. Напротив, открытая площадка у парковки оказалась «красной зоной» с критическим значением WBGT 32,4°C, что сопоставимо с опасным перегревом. То есть густой хвойный массив снижает WBGT на 4,4 °C по сравнению с открытым участком, принося его в зону комфортных условий. На открытом пространстве преобладающую долю в тепловой нагрузке (20% от WBGT) формирует температура глобуса ($T_g = 42,5$ °C), отражающая непосредственный солнечный радиационный нагрев. Под пологом *Picea pungens* прямая радиация затенена, T_g снижается до 32,4 °C, радиационная составляющая уменьшается, и WBGT падает на 4,4 °C. Температура смоченного термометра (T_w), которая показывает режим влажности, меняется совсем незначительно – с 26,5 до 23,8 °C. И достигает всего 4,4 °C. Таким образом, наиболее весомым фактором, определяющим биоклиматический комфорт выступает радиационное охлаждение под плотным пологом хвойных пород.

Заключение.

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что характер и структура озеленения могут существенно влиять на микроклиматические параметры открытых спортивных площадок и, соответственно, на тепловое состояние спортсменов. Использование индекса WBGT, признанного международными спортивными организациями, позволяет перейти от разрозненных метеорологических показателей к интегральной оценке теплового стресса. Установлено, что эффективность озеленения определяется прежде всего плотностью посадок и степенью сомкнутости крон. Наибольший эффект обеспечивают хвойные породы с густой кроной, формирующие устойчивое затенение на протяжении всего вегетационного периода. Ключевым механизмом улучшения биоклиматических условий выступает блокировка прямой солнечной радиации, в то время как изменение влажности и ветровой режим играют весьма подчинённую роль. Разреженные посадки лиственных пород способствуют незначительному снижению температуры, и при экстремальных значениях инсоляции не обеспечивают перехода условий в безопасный диапазон.

Таким образом, возникает необходимость включения защитных зелёных полос в проекты нового строительства и реконструкции открытых кортов в регионах с жарким климатом. Практические рекомендации могут быть

адресованы как проектировщикам спортивных объектов, так и организаторам соревнований при разработке регламентов с учётом локальных климатических особенностей. На перспективу исследования целесообразно продолжить в направлении анализа сезонной и многолетней динамики микроклиматических эффектов, сравнительное изучение различных пород и схем посадки. Немаловажным моментом является также подготовка нормативных документов по озеленению спортивных сооружений с учётом специфики видов спорта и интенсивности физических нагрузок.

Библиографический список

1. Сунгурова Н.Р., Страздаускене С.Р., Стругова Г.Н., Макаров С.С. Ландшафтная организация территории спортивных сооружений в г. Архангельске // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Санкт-Петербург, СПбГЛТУ, 2023. Вып. 245. С. 140–158.
2. Зуев К.А., Кудрявцева О.В. Влияние близости и размера зеленых насаждений на стоимость недвижимости в Москве // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2024. Т. 16, № 3(53). С. 59–76. URL: <https://archive.econ.msu.ru/journal/issues/2024/3> (дата обращения: 17.03.2026).
3. Armstrong L.E., Casa D.J., Millard-Stafford M., Moran D.S., Pyne S.W., Roberts W.O. Exertional heat illness during training and competition // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007. Vol. 39, No. 3. P. 556–572.
4. Budd G.M. Wet-bulb globe temperature (WBGT) – its history and its limitations // *Journal of Science and Medicine in Sport*. Elsevier, 2008. Vol. 11, No. 1. P. 20–32.
5. Gerrett N., Kingma B.R.M., Sluijter R., Daanen H.A.M. Ambient conditions prior to Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Games: considerations for acclimation or acclimatization strategies // *Frontiers in Physiology*. Lausanne, Frontiers Media S.A., 2019. Vol. 10. Article 414.
6. Grundstein A.J., Williams J.D., Saha M.L. Assessment of the Australian Bureau of Meteorology wet bulb globe temperature model using weather station data // *International Journal of Biometeorology*. Springer, 2018. Vol. 62, No. 12. P. 2205–2213.
7. Nurhartonosuro I.M., Tamrin S.B.M., Suadi Nata D.H.M., Karuppiah K., Ng Y.G. Comparison of indices to estimate heat exposure to human: a review in tropical regions // *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*. Selangor, Universiti Putra Malaysia Press, 2022. Vol. 18, No. 1. P. 303–315.
8. Périard J.D., Racinais S., Sawka M.N. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. Wiley, 2015. Vol. 25, No. S1. P. 20–38.
9. Roberts W.O., Armstrong L.E., Sawka M.N., Yeargin S.W., Heled Y., O'Connor F.G. ACSM expert consensus statement on exertional heat illness: recognition, management, and return to activity // *Current Sports Medicine Reports*. Philadelphia, Wolters Kluwer, 2023. Vol. 22, No. 4. P. 134–149.
10. Zare S., Hasheminejad N., Baneshi M., Shams H.E. Limitations of WBGT index for application in industries: a systematic review // *International Journal of Occupational Hygiene*. Tehran, Tehran University of Medical Sciences, 2022. Vol. 14, No. 1. P. 51–63.

© Подласкина С.Ю., Яковенко Н.В., 2026

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ. ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ

УДК 551.435.1

¹А.М. Гумирова, ²Р.Ф. Нуриманов

^{1,2} студенты 3 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: А.О. Фирстов

ассистент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МИКРОЛАНДШАФТОВ МАЛОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТЮЛЯНЬ)

Аннотация. В данной работе представлен анализ пространственной изменчивости микроландшафтов русла реки Тюлянь в Давлекановском районе Республики Башкортостан. На основе полевых исследований, проведенных в мае 2025 года, выявлены ключевые морфологические участки русла, описаны процессы трансформации гидрографической сети при приближении к болоту Берказан-Камыш. Особое внимание уделено биотическому воздействию на структуру долины.

Ключевые слова. Микроландшафт, река Тюлянь, болото Берказан-Камыш, русло реки, морфодинамические зоны, Республика Башкортостан.

Изучение микроландшафтов малых рек позволяет проследить тонкие механизмы взаимодействия гидрологических и биологических факторов. Река Тюлянь, протекающая вблизи уникального болотного комплекса Берказан-Камыш, представляет особый интерес из-за высокой динамичности русловых процессов и выраженной смены растительных сообществ на коротких дистанциях.

На основе экспедиционного обследования, проведенного в мае 2025 года, выделены следующие морфодинамические зоны (табл. 1).

Анализ показал, что русло р. Тюлянь характеризуется чередованием участков с четкой морфологией (рис. 1) и зон невыявленного русла (рис. 2), что обусловлено высокой степенью естественной зарегулированности стока. Наличие черной ольхи на пересохших участках свидетельствует о значительном влиянии лесистости поймы на сохранение гидрологической связи с подземными водами даже при отсутствии поверхностного стока в межень. [Фирстов, 2019].

Морфодинамические зоны р. Тюлянь

Участок / Точка	Геоморфологические и гидрологические особенности	Биотические и антропогенные факторы
Верхний створ	Русло слабо выражено, преобладает диффузный сток	Линейная посадка (ряд) ольхи
Зона лесной топи	Повышение уровня воды относительно верхнего створа. Течение практически отсутствует	Формирование лесного болота, высокая влажность почвенного покрова
Предболотный лесной массив	Высокое залегание грунтовых вод. Русло морфологически не оформлено, отмечается высокая заиленность	Густые заросли ивы (ивняк). Обилие древесного детрита (опавшие листья, стволы)
Участок активного выпаса скота	Русло четко выражено, фиксируется слабое течение. Берега подвержены механической деформации	Интенсивная зоогенная нагрузка (выпас КРС), берега сильно истоптаны
Зона вблизи ручья на холме	Смена гидрографической структуры, приток ручья со стороны возвышенности	Интенсивное зарастание русла макрофитами
Зона смены доминантов растительности	Сохранение морфологии русла при минимальных скоростях течения	Смена растительной ассоциации: сокращение доли ольхи, доминирование ивы
Озерная часть	Максимальные параметры ширины русла. Течение слабое, режим близок к озерному	Технологический переход для техники. Следы кабанов (крупные особи, отпечатки до 15 см)
Постканальный участок	После пересечения осушительного канала русло деформировано, ширина до 3 м. Течение отсутствует, дно илистое	Сочетание следов выпаса скота и техногенного изменения рельефа – земляные насыпи осушительного канала
Периодический водоток	Пересохшее русло, функционирующее преимущественно в период половодья	Присутствие черной ольхи (<i>Alnus glutinosa</i>) как индикатора стабильного увлажнения
Нижний створ	Восстановление морфологической четкости русла, выявлено заметное течение	Заросшие берега, стабилизация береговой линии



Рис. 1. Участок на р. Тюлянь с хорошо выраженным руслом (нижний створ)

Значительную роль в деформации берегов имеет крупнорогатый скот [Гумирова, Нуриманов, 2024] (рис. 2), что в сочетании с низкими скоростями течения ускоряет процессы заиления и заболачивания, которые выступают факторами дополнительного перераспределения стока внутри года.



Рис. 2. Участок на р. Тюлянь со слабовыраженным руслом
(участок активного выпаса скота)

Инженерные сооружения (осушительные каналы, переправы из досок) дополнительно делят русло, создавая препятствия для перемещения наносов.

Выводы

1. Трансформация микроландшафтов р. Тюлянь обусловлена антропогенным вмешательством, при этом естественная заболоченность и лесистость продолжают выступать ключевыми факторами, определяющими специфику гидрологического режима.

2. Майские наблюдения подтверждают неустойчивый характер стока, где участки с выраженным течением сменяются застойными зонами.

3. Биотические индикаторы позволяют точно выделить долину реки даже в условиях сильной деформации и заболоченности русла.

Библиографический список

1. Гумирова А.М., Нуриманов Р.Ф. Измерение некоторых гидрологических характеристик реки Тюлянь // Современные проблемы биологии, наук о земле, спорта и туризма: сб. ст. II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Уфа: УУНиТ, 2024. С. 127–128.
2. Фирстов А.О. Влияние заболоченности и лесистости территорий на естественное зарегулирование речного стока средних и малых рек // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии, водном хозяйстве и геоэкологии. Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. С. 81-82.

© Гумирова А.М., Нуриманов Р.Ф., 2026

Э.З. Нурмухаметова

магистрант 2 года обучения

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Г. Камалова**

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗАБОЛОЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Аннотация. В статье рассматривается территория распространения заболоченной местности Ханты-Мансийского автономного округа. Особенность заболоченной местности в том, что почвы из которой она складывается, играет большую роль в формировании гидрологического режима вод.

Ключевые слова. Болото, заболоченная местность, почва.

При проектировании сооружений на заболоченной местности необходимо учитывать, что будут иметься специфические требования подготовки проектной и рабочей документации для строительства.

Например, в составе инженерных изысканий для выбора направления трассы автомобильных и железных дорог проводят обследования пересекаемых трассой болот (с целью установления уровня высоких вод и границ затопления), соответственно должны представляться схемы участков трасс с нанесением линий стока и т.д.

В геоморфологическом отношении территории с заболоченной местностью относятся к аккумулятивным равнинам. Западно-Сибирская равнина является известным одним из таких, так как образовалась в результате длительного накопления отложений

По почвенно-географическому районированию изучаемая территория лежит в среднетаежной подзоне Западно-Сибирской провинции подзолистых и болотных почв.

Формирование разных типов почв заболоченных районов определяется взаимодействием следующих факторов:

- особенностями мезорельефа;
- механического состава почвообразующих пород;
- степенью дренируемости;
- современными процессами заболачивания.

Взаимодействие этих факторов определяет формирование разных типов почвенного покрова, различающихся не только набором почв (в автоморфном и полугидроморфном рядах), но и неодинаковым качественным и количественным их соотношением.

Изменение типов почв в пространстве довольно четко сопряжено со сменой элементов рельефа, микроклимата, водного режима и растительности.

В соответствии с классификационными схемами [Хренов, 2002] на территории исследования в зависимости от условий почвообразования выделено 2 подтипа почв – подзолисто-глеевые и болотные торфяные (табл. 1).

Таблица 1

Типы почв на исследуемом участке

Ствол	Отдел	Подтип	Местонахождение
Органогенные	Торфяные	Болотные торфяные	На водоразделах и верхних террасах речных долин
Постлитогенные	Текстурно-дифференцированные	Подзолистые эллювиально-глеевые	На слабо дренируемых водоразделах и в понижениях рельефа

Болотные торфяные почвы (верховых болот) наиболее распространены в области. Наибольшее же распространение в комплексе с перегнойно-торфянисто-глеевыми они получили в Сургутской и Кондинской низменностях и в комплексе с болотными мерзлотными (торфяными и остаточнo-торфяными) – в районах северной тайги.

Они развиваются на водоразделах и верхних террасах речных долин, формируются в условиях застойного увлажнения атмосферными водами под олиготрофной растительностью, произрастающей при почти полном отсутствии кислорода в воде, крайне небольшом количестве питательных элементов и сильноокислой реакции. Имеют выпуклую караваеобразную форму – наибольшая мощность торфяной толщи в центре болота. Наиболее характерные растения-индикаторы: сфагновые мхи, сосна, обычно сильно угнетенная, карликовая береза, багульник, кассандра, морошка, клюква, шейхцерия, пушица. Древесная растительность на болотных почвах чахнет и довольно быстро погибает.

Для болотных верховых почв характерна высокая кислотность (рН сол. 2,5–3,8), зольность торфа низкая – 2,4–6,5 %, степень разложения до 20–25 %, небольшая плотность почвы (0,03–0,1), высокая влагоемкость (700–1500 %). Содержание Са, К и Р низкое, насыщенность основаниями составляет всего 10–50 %.

Подзолисто-глеевые почвы диагностируются по наличию глеевого горизонта в нижней части профиля и признаков оглеения в текстурном горизонте, а иногда и по всему профилю. Особенностью этих почв является отсутствие, несмотря на его переувлажнение, торфяного горизонта. Имеется лишь подстильно-торфяной горизонт мощностью до 10 см. Эллювиальный горизонт серовато-белесый, иногда с сизоватым оттенком, может иметь ржавые разводы и содержать крупные Mn-Fe конкреции округлой формы. Горизонт заметно уплотнен, имеет грубую плитчатую структуру. Переход к текстурному горизонту часто языковатый. Текстурный горизонт отличается наличием сизых

и грязно-коричневых кутан на поверхности педов, присутствием конкреций округлой и удлиненной формы. По основным аналитическим показателям почвы близки к типу подзолистых почв. Характерно накопление оксидов железа в элювиальном горизонте главным образом за счет сегрегации в конкреции. В почвенном покрове часто сочетаются с подзолистыми и торфяно-подзолисто-глеевыми почвами. Формируются на слабо дренируемых водоразделах и в понижениях рельефа.

Учет почвенного покрова на территории изысканий необходимо для предусмотра мероприятий при проектировании. В соответствии с требованиями [ГОСТ 17.4.3.02-85, 2008] и [ГОСТ 17.5.3.06-85, 2015] производится снятие поверхностного слоя почвы на землях всех категорий, за исключением болот. Согласно [ГОСТ 17.5.3.06-85, 2015] снятие плодородного слоя почвы с болотных торфяных и болотных перегнойно-торфянисто-глеевых почв проводится только после осушения, данным проектом осушение болотных почв не предусмотрено.

Библиографический список

1. ГОСТ 17.4.3.02-85. Охрана природы. Почвы. Требование к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. М.: Стандарты и формы, 2008.
2. ГОСТ 17.5.3.06-85. Охрана природы. Земли. Требование к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. М.: Издательство стандартов, 2015.
3. Хренов В.Я. Почвы Тюменской области: Словарь-справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 2002.

© Нурмухаметова Э.З., 2026

Э.З. Нурмухаметова

магистрант 2 года обучения

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Г. Камалова**

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ВОДНЫЙ РЕЖИМ БОЛОТНЫХ МАССИВОВ

Аннотация. В статье рассматривается территория распространения заболоченной местности Ханты-Мансийского автономного округа. Особенность заболоченной местности в том, что из-за характера рельефа изменяется водный режим. Он оказывает сильное влияние на гидрологический режим близлежащих водотоков, входящих в водосборную площадь.

Ключевые слова. Болото, заболоченная местность, водный режим.

Болота Ханты-Мансийского автономного округа покрывают почти сплошь водораздельные пространства.

В распределении болотных микроландшафтов на массиве наблюдается определенная закономерность. Центральные части болотных систем преобладают грядово-озерковые комплексы, занимающие около половины их площади, имеют вид хорошо выраженных почти горизонтальных плато. Здесь сосредоточено основное количество наиболее крупных озер, сочетающихся с множеством малых озерков, часто встречаются также обширные сильно обводнённые мочажины. Краевые же их участки и на склонах массива преобладают грядово-мочажинные комплексы характеризуются пологими склонами, направленными к дренирующим рекам. На более крутых склонах болотных массивов и на хорошо дренируемых участках, расположенных вблизи рек и озер, развиты лесные и мохово-лесные микроландшафты. По долинам рек расположены переходные и низинные болота. Периферийные участки болотных систем часто бывают сильно обводнены.

Средняя мощность торфяной залежи в зоне выпуклых олиготрофных болот колеблется до 5–6 м [Иванов и др., 1976].

Весенний подъем уровня начинается во второй половине апреля – начале мая, практически с момента перехода температуры воздуха через 0°C, т. е. начала снеготаяния. Максимальный весенний уровень, который является, как правило, и максимальным годовым, наблюдается в среднем через 15 дней после начала подъема. Годовая амплитуда колебания уровня составляет 10–20 см. Величина подъема уровня в весенний период в различных микроландшафтах неодинакова: наибольшая – в мохово-лесных и мохово-кустарничковых, облесенных сосной микроландшафтах, где она достигает 80 см, наименьшая – в топях и на мочажинах грядово-мочажинных комплексов (10–15 см) [Ресурсы..., 1973]. Несмотря на относительно большую величину весеннего подъема

уровней в микроландшафтах лесной и мохово-лесной групп, а также на грядах комплексных микроландшафтов уровни редко выходят на поверхность, покрывая водой лишь наиболее низкие межкочечные понижения. В мочажинах комплексных микроландшафтов в весенний период вода часто стоит выше поверхности болота.

В летний период наблюдается общий спад уровней, обусловленный стоком и испарением с болот. Плавность хода уровней нарушается отдельными подъемами, вызванными выпадающими осадками.

В осенний период в отдельные годы происходит небольшое повышение уровня, которое обусловлено уменьшением испарения и некоторым увеличением осадков. Примерно со второй половины октября, в связи с понижением температуры воздуха и прекращением атмосферного питания, в сфагново-кустарничково-сосновом и сфагново-кустарничковом облесенном сосной микроландшафтах начинается плавный спад уровней, который продолжается в течение всего зимнего периода, до начала весны [Новикова, 2009].

Промерзание болот начинается одновременно во всех болотных микроландшафтах с момента перехода средних суточных температур воздуха через 0°C к отрицательным.

По интенсивности нарастания мерзлоты выделяют два типа: осенний и зимний. Осенью и в начале зимы, когда высота снежного покрова, как правило, еще очень мала, промерзание болот в этой зоне происходит с достаточно большой интенсивностью (1,0–1,5 см/сутки), по мере увеличения высоты снежного покрова интенсивность нарастания мерзлого слоя постепенно снижается. Промерзание повышенных элементов микрорельефа происходит с большей интенсивностью, чем в пониженных.

Наибольшая интенсивность оттаивания торфяной залежи начинается после схода снежного покрова. Первыми оттаивают пониженные элементы микрорельефа и более обводнённые микроландшафты. Гряды и повышенные элементы микрорельефа полностью оттаивают в конце мая – начале июня, средняя интенсивность оттаивания болот при наличии снежного покрова составляет 0,53 см/сутки. Наиболее же быстрое оттаивание деятельного слоя залежи наблюдается после схода снежного покрова и составляет 0,76 см/сутки. Полное оттаивание болот обычно наблюдается в третьей декаде мая.

Таким образом, болотные системы характеризуются четко выраженной гидрологической структурой, где распределение микроландшафтов зависит от положения в массиве и степени дренированности. Водный режим болот имеет ярко выраженную сезонную динамику: весной наблюдается максимальный подъём уровня воды, летом – спад, осенью – незначительные колебания, а зимой – устойчивое снижение. Процессы промерзания и оттаивания также носят закономерный характер и зависят от микрорельефа и снежного покрова. В целом функционирование болот определяется взаимодействием

климатических факторов, гидрологического режима и особенностей ландшафтной структуры.

Библиографический список

1. Иванов К.Е., Новикова С.М. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР Т.15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. – Л.: Гидрометеиздат, 1973 г.
3. Новикова С.М. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. – СПб.: ВВМ, 2009. – 536 с.

© Нурмухаметова Э.З., 2026

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 556.55:551.58:528.7(282.247)

А.Р. Маннанова

студентка 2 курса

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **А.О. Фирстов**

ассистент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА РЕКИ НУГУШ ПО СПУТНИКАМ GOOGLE EARTH

Аннотация. В статье сравниваются спутниковые снимки с GoogleEarth с данными наземных наблюдений ФГБУ «Башкирское УГМС» для реки Нугуш в районе хутора Андреевский. Проанализировано четыре космоснимка. Анализ показал корректность отображения космоснимков и фаз водного режима. Спутниковые данные лучше всего совпадают с наземными в теплое время года, когда русло реки открыто.

Ключевые слова. Космоснимки, спутниковое зондирование, GoogleEarth, река Нугуш, хутор Андреевский, Республика Башкортостан.

Спутниковые снимки становятся неотъемлемой частью в изучении водных ресурсов. Однако их практическое применение требует проверки точности с помощью контактных измерений. Цель работы – провести сравнительный анализ данных космоснимков с помощью сервиса GoogleEarth [Google..., 2026] и наземных гидрометеорологических наблюдений ФГБУ «Башкирское УГМС» для нижнего створа реки Нугуш в районе хутора Андреевский.

Нугушское водохранилище расположено в бассейне р. Белой и образованно на одноименной реке – Нугуш, являющейся правобережным притоком р. Белая [Река Нугуш..., 2026]. В гидрографическом отношении р. Нугуш формируется при слиянии двух истоков: р. Большой Нугуш и р. Малый Нугуш, берущих начало на хребте Юрматау (Южный Урал). Протяженность р. Большой Нугуш составляет 90 км, р. Малый Нугуш – 46 км. Длина собственно р. Нугуш от места слияния истоков до устья составляет 145 км. Впадение р. Нугуш в р. Белая происходит на 837 км от устья последней. Ледостав наступает в первой декаде ноября, весенний ледоход – во второй половине апреля.

Площадь водосбора р. Нугуш, отнесенная к створу гидроузла, составляет 2870 км². Рельеф водосборной территории преимущественно горный, с выполаживанием в равнинный в приустьевой части. Средняя высота водосбора

составляет 546 м. общее падение реки на участке створа плотины до устья достигает 29,8 м, средний уклон русла – 0,063% [Нугушское..., 2026].

В районе водохранилища морфология долины существенно изменяется, приобретая котловинную форму шириной 2–4 км. В створе гидроузла наблюдается сужение долины до 750 м по дну, образующее узкий перешеек протяженностью до 1 км, что предопределило выбор данного створа для строительства плотины.

Гидрологический режим р. Нугуш, характеризующийся значительными уклонами и снеговым питанием. Река Нугуш – хутор Андреевский является наглядным объектом для изучения внутригодового распределения стока по данным ФГБУ «Башкирское УГМС». С помощью космоснимков был проведен анализ.



Рис. 1. Участок исследования р. Нугуш 23.09.2004 (составлен автором)

На рисунке 1 снимок русла относится к свободному типу, что характерно для равнинных рек с небольшими уклонами и легкоразмываемыми породами поймы. Можно заметить, что выпуклые берега являются аккумулятивными – здесь формируются отмели, которые имеют светлый тон. Вогнуты берега более темные, что говорит о подмывании берегов. На снимке наблюдается чередование темных и светлых участков. Темные участки соответствуют плесовым ложинам с замедленным течением. Светлые участки на перегибах русла – это перекаты, где глубины минимальны. По данным ФГБУ «Башкирское УГМС» средний расход воды в сентябре 2004 составил $5,31 \text{ м}^3/\text{с}$, что говорит нам о состоянии реки в фазу летне-осенней межени. Площадь водной поверхности составила $32\,876 \text{ м}^2$.



Рис. 2. Участок исследования р. Нугуш 06.03.2007 (составлен автором)

На рисунке 2 можно заметить – русло реки имеет неоднородную структуру. Светло-серый тон изображения на большей части русла свидетельствует о наличии снежно-ледового покрова.

Вдоль береговой линии можно заметить темные полосы – закраины (открытый участок воды между берегом и ледяным покровом), что свидетельствует о начале таяния льда и подвижек льда, вызванный увеличением расходов воды. Ширина закраин на снимке неравномерна, это говорит о различии в скоростях течения и глубинах у разных берегов.

По данным ФГБУ «Башкирское УГМС» средний расход воды в этом месяце составил $31,1 \text{ м}^3/\text{с}$, это соотносится с подготовкой к половодью и сработкой Нугушского водохранилища. Площадь водной поверхности на эту дату составила $33\,925 \text{ м}^2$ (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение площади водной поверхности и расходов воды

№	$S, \text{ м}^2$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$
1	32 876	5,31
2	33 925	31,1

На рис. 3 наблюдается состояние участка на начало летней межени. Пойма, имеющая темно-зеленый оттенок (луговая и кустарниковая растительность), следов подтопления не имеет: отсутствуют темные пятна влажных участков и разливы за пределами основного русла. Поверхность воды на плесах выглядит гладкой, темной, что указывает на невысокие скорости течения. По данным дешифрирования космоснимка на 14.06.2013, площадь зеркала воды составила примерно $30\,403 \text{ м}^2$.

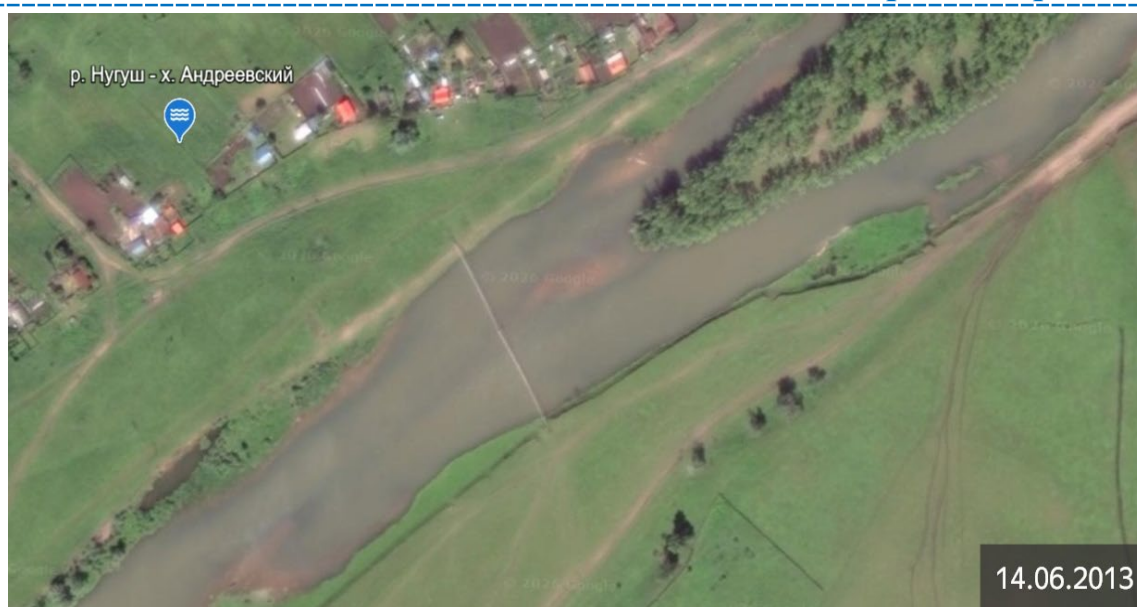


Рис. 3. Участок исследования р. Нугуш 14.06.2013 (составлен автором)

Рис. 4 сделан через 3 дня после предыдущего снимка, что позволяет нам проследить состояние водотока во время летней межени. Уровень воды явно снизился, это можно увидеть по обмелевшим берегам и появившейся песчаной части острова. Сужение русла на некоторых участках свидетельствует о том, что уровень воды уже приблизился к среднемеженным отметкам. По данным космоснимка на 17.06.2013, площадь зеркала составила примерно 26 750 м².



Рис. 4. Участок исследования р. Нугуш 17.06.2013 (составлен автором)

По предварительным данным можно сделать вывод, что на рисунках 3 и 4 расходы воды меньше, чем 5,31 м³/с, но не меньше, чем 1,66 м³/с, минимальные зафиксированные средние месячные расходы воды. Также стоит отметить, что у данных выводов есть ряд аспектов, которые нужно учесть в

будущих работах, например: соотношение конкретной даты космоснимка и среднемесячных расходов воды.

Таким образом, цель работы – проведение сравнительного анализа данных космоснимков с GoogleEarth и наземных гидрометеорологических наблюдений ФГБУ «Башкирское УГМС» для нижнего створа реки Нугуш в районе хутора Андреевский – достигнута. Спутниковые снимки могут служить эффективным дополнением к наземной сети наблюдений, особенно для труднодоступных мест.

Библиографический список

1. Нугушское водохранилище [Сайт]. URL: <https://www.meteorb.ru/hydrology/nugush-reservoir> (дата обращения: 17.03.2026 г.).
2. Река Нугуш. Башкортостан. Россия [Сайт]. URL: <https://cont.ws/@sampro/1237152> (дата обращения: 17.03.2026 г.).
3. Фондовые данные ФГБУ «Башкирское УГМС».
4. GoogleEarth. [Сайт]. URL: <https://earth.google.com/web/?hl=ru> (дата обращения: 17.03.2026 г.).

© Маннанова А.Р., 2026

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА. КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ. КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ

УДК 556.55:556.16:004.9

Р. Абдраимов

магистрант 2 года обучения

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск

Научный руководитель: **С.Г. Копысов**

канд. геогр. наук, доцент

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕК ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛТАЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕК КУЧЕРЛА И УРСУЛ)

Аннотация. Представлены результаты моделирования элементов водного баланса для двух речных бассейнов Центрального Алтая. Работа выполнена в HBV-light на основе ежедневных осадков и среднесуточных температур воздуха с метеостанций Кара-Тюрек и Онгудай. Оптимизация модельных параметров осуществлялась по среднесуточным слоям стока воды для гидрологических створов: р. Урсул – с. Онгудай и р. Кучерла – с. Кучерла за период 2008–2023 гг. Результаты моделирования показали, что доля ледникового стока для створа Кучерла около 43 %, а сам слой ледникового стока более чем в два раза превышает сток лишнего ледников бассейна реки Урсул.

Ключевые слова. Моделирование, Центральный Алтай, HBV-light, водный баланс.

Моделирование водного баланса речных водосборов дает основу для управления территориальными водными ресурсами. Наблюдаемые климатические изменения существенно проявляются в гидрологическом цикле. Для снижения экономических потерь, связанных с существенным снижением стока из-за деградации ледников, необходима достоверная оценка элементов водного баланса и их изменения.

Бассейны рек Кучерла и Урсул располагаются в Центральном Алтае и отличаются по морфометрическим характеристикам и наличию ледниковых систем. Кучерла – река с горно-ледниковым питанием, длиной 50 км и площадью бассейна 630 км² в диапазоне высот от 880 до 4400 м. Урсул горная река, протекающая в диапазоне высот от 800 до 2000 м. Площадь ее водосбора до с. Онгудай составляет 3080 км², длина – 119 км.

Для моделирования водного баланса нами использовалась программа HBV-light – концептуальная модель Шведского метеорологического и гидрологического института. Модель является полураспределенной, то есть исследуемый бассейн может быть разделен на высотные и ландшафтные зоны,

а также на подбассейны. HBV моделирует сток водосбора с суточным разрешением, на основе ряда данных осадков, температуры воздуха и среднемноголетнего потенциального испарения. Накопление снега и таяние рассчитывается по методу градусо-суток. В почвенном режиме моделируется наполнение грунтовых вод и фактическое испарение как функции фактического запаса воды.

При выборе метода оценки потенциального испарения следует выбирать методы с наименьшими требованиями к входным данным и обеспечивающим необходимый уровень точности моделирования речного стока (Сидоренко Н.Ю. и др., 2024). Нами потенциальное испарение вычислялось по формуле Н.Н. Иванова с учетом многолетней среднемесячной температуры воздуха и относительной влажности воздуха.

Для горных водосборов расчет динамики снежного покрова и почвенной влаги производится для каждой высотной зоны (Борщ С.В. и др., 2023). В модели используются 12 параметров, подлежащих оптимизации по данным гидрометеорологических наблюдений.

В данной работе представлены результаты моделирования только за период 2008–2023гг. Бассейн Кучерлы разделен на две вегетационные зоны: пересеченная местность с горным рельефом и зона ледников. В бассейне реки Кучерла площадь оледенения 53,3 км² или 8,4% от площади бассейна. Также учитывалось наличие в верхней части бассейна озера Кучерлинского (площадь озера 2,5 км²). Метеоданные взяты с станции Кара-Тюрек, расположенной в пределах исследуемого бассейна на высоте 2600 м.

Бассейн р. Урсул примечателен тем, что он не является горно-ледниковым, средняя высота водосбора – 1800 м. Ледники в бассейне отсутствуют, вблизи от замыкающего створа расположена метеорологическая станция Онгудай. Для моделирования были взяты средневзвешенные осадки и температуры воздуха по метеостанции Кара-Тюрек и Онгудай. Расстояние между метеостанциями 90 км, для Онгудая и Кара-Тюрека соответственно приняты весовые коэффициенты 0,7 и 0,3.

В бассейне р. Кучерла за период моделирования измеренный годовой сток изменялся от 589 до 935 мм, а смоделированный от 675 м до 928 мм. Средние бассейновые осадки изменялись от 368 до 728 мм, а испарение от 75 до 101мм. Для бассейна р. Урсул за период моделирования с 2008 по 2023гг измеренный годовой сток изменялся от 82 до 295 мм, а смоделированный от 32 м до 256 мм. Средние бассейновые осадки изменялись от 170 до 527 мм, а испарение от 145 до 225 мм.

На комплексном графике (рис.1) ниже показан ход температуры T (°C), осадков X (мм/сут), среднего бассейнового снегозапаса S (мм), а также смоделированный и фактический гидрографы стока Y (мм/сут).

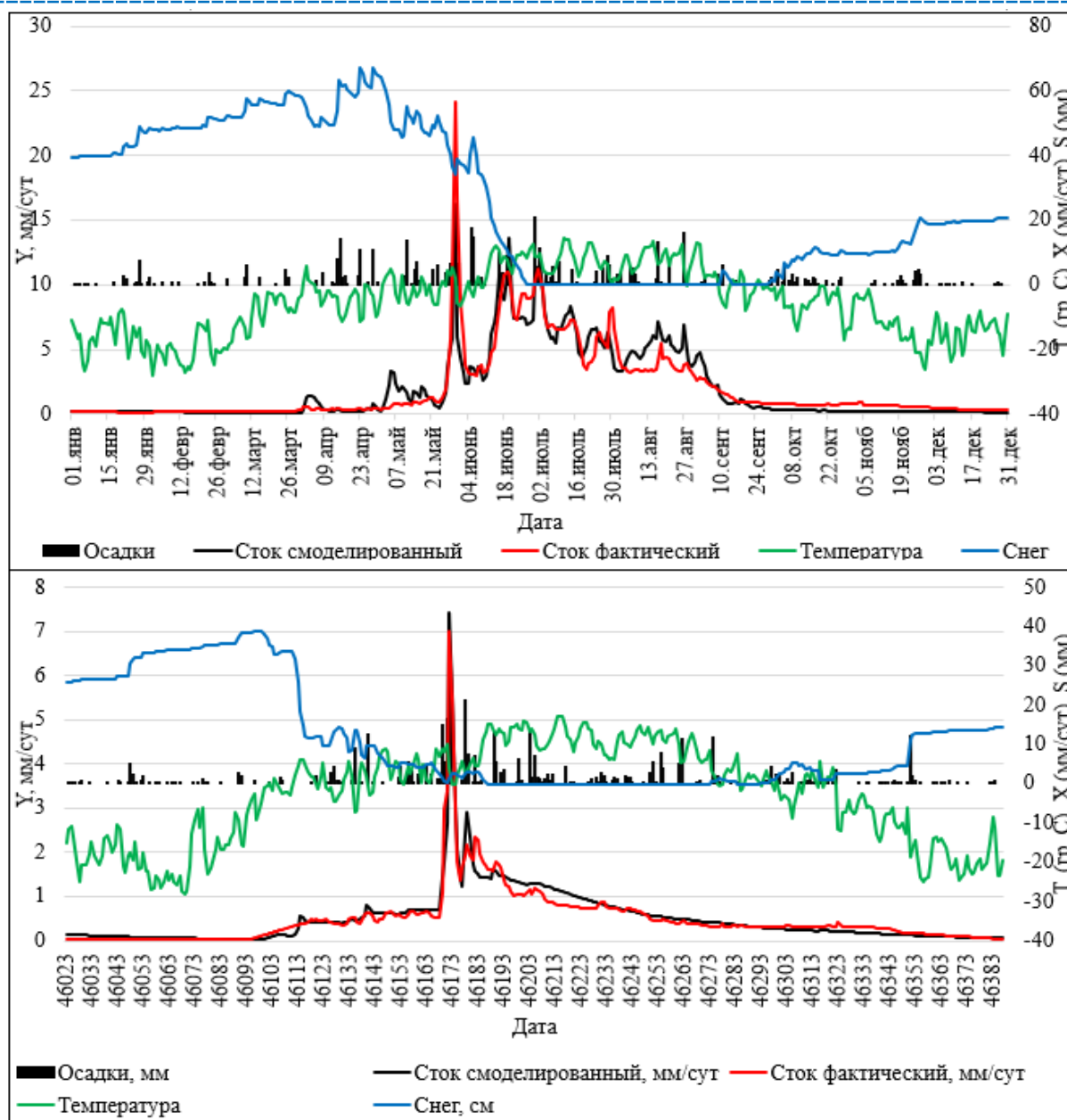


Рис. 1. Комплексные графики р. Кучерла – с. Кучерла (вверху) и р. Урсул – с. Онгудай (внизу) за 2014 год (составлен автором)

В качестве примера удачного моделирования (рис.1) приведен 2014 год, отличившийся на Алтае июньским экстремальным паводком. Накопление снега продолжалось до середины марта, а с середины марта начиналось повышение температуры и таяние снежного покрова, что привело к плавному повышению речного стока. Однако в конце мая выпадали обильные дождевые осадки, что привело к резкому снеготаянию оставшегося снега и десятикратному повышению слоя стока воды 30 мая до 7,5 мм/сут, т.е. до 248 м³/с. О качестве моделирования можно судить по табл. 1. Смоделированные элементы водного баланса представлены на рис. 2.

Для бассейна Кучерлы слой стока превышает слой осадков, это связано с таянием ледников в летний период. Доля ледникового стока (L) для створа

Кучерла составляет 43 % (331 мм). Озеро Кучерлинское является местом временного аккумулярования стока с верхней зоны бассейна. В зимний период озеро срабатывает свои воды, а в летний период осадки и талые ледниковые воды его вновь наполняют. Поэтому слой стока зимней межени ур. Кучерла немного выше, чем у р. Урсул (рис. 1).

Таблица 1

Результаты качества моделирования на бассейнах

Река – Пост	Период калибровки	Коэффициент детерминации R^2	Коэффициент эффективности модели R_{eff}
р. Урсул – с. Онгудай	2008-2023	0.71	0.70
р. Кучерла – с. Кучерла	2008-2023	0.81	0.75

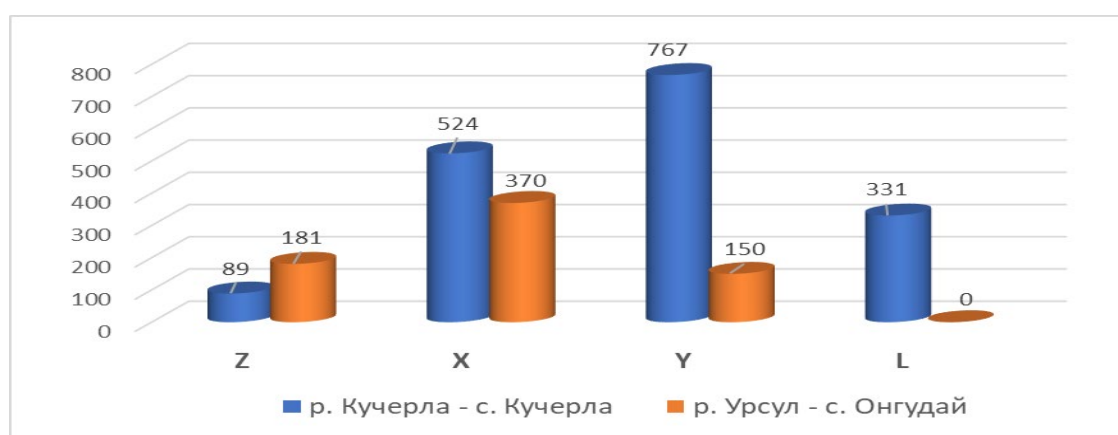


Рис. 2. Средний многолетний водный баланс (мм/год) за период 2008–2023 гг. (составлен автором)

Выводы.

HBV-light является современным доступным инструментом для гидрологического моделирования в учебном процессе, в том числе и для оценки водного баланса. Для надежного моделирования нужны непрерывные ряды наблюдений температуры, осадков и стока охватывающие разные высотные зоны. Проведенное исследование показывает, что при дальнейшей деградации ледников (вплоть до их исчезновения) сток воды может уменьшиться почти в два раза.

Библиографический список

1. Сидоренко Н.Ю., Бугаец А.Н., Лупаков С.Ю., Гарцман Б.И., Гончуков Л.В. Оценка влияния различных методов расчета потенциального испарения на результаты гидрологического моделирования // Водные ресурсы. 2024. Т. 51. № 3. С. 185-193.
2. Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Прогнозирование стока рек России. М.: Гидрометцентр России, 2023. 200 с.

© Абдраимов Р., 2026

Д.Д. Асыллова

магистрант 1 года обучения

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **Н.А. Мирсаева**

канд. геогр. наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ СКОЛЬЗКОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Аннотация. В работе рассмотрено изменение повторяемости скользкости на территории Удмуртской Республики в переходные периоды года – весенний и осенний. Так же была построена иерархическая кластеризация для станций по рассматриваемой территории для нахождения взаимосвязей и различий между станциями.

Ключевые слова. Скользкость, повторяемость, иерархическая кластеризация, Удмуртская Республика, дорожный транспорт.

Климат и погода – составные части природных факторов, которые существенно влияют на транспортно-эксплуатационные характеристики дорог, на режим и безопасность движения, т.е. на условия движения по дороге и режим ее функционирования. Автомобильные дороги подвержены постоянному и разнообразному воздействию природных факторов [Носырева и др., 2019].

В дорожной конструкции (дорожная одежда + земляное полотно) происходят сложные процессы: нагревание, охлаждение, промерзание, оттаивание, испарение, конденсация, сублимация. В результате в дорожной конструкции систематически происходят диффузионные процессы тепломассопереноса или тепловлагообмена (ТВО), обуславливающие колебание влажности и температуры. Изменение характеристик водно-теплового режима земляного полотна существенно влияет на прочность, долговечность полотна и дорог, приводит к снижению транспортно-эксплуатационных свойств дорог [Носырева и др., 2019].

При выпадении осадков в виде дождя на поверхности покрытия образуется слой воды, который начинает заметно влиять на сцепные свойства уже при толщине пленки более 0,2 мм, снижая адгезионную составляющую силы трения. Коэффициент сцепления резко снижается в начальный период дождя, когда образуется густая смазка на поверхности. После того как грязь с поверхности покрытия смыта дождем, коэффициент сцепления несколько увеличивается [Васильев, 1986; Васильев, 1976].

Объект исследования – основные метеорологические параметры, влияющие на дорожный транспорт.

В качестве исходных данных использовались срочные данные по температуре воздуха и почве, суммам атмосферных осадков и основным метеопараметрам на территории Удмуртской республики (ст. Ижевск, Воткинск, Глазов, Можга, Селты) за период с 1977 по 2021 гг. Данные взяты из климатического архива ВНИИГМИ-МЦД [ГУ «Всероссийский...», 2025].

В качестве температурного фактора, влияющего на дороги, рассчитывались даты, когда наблюдались понижения температуры почвы до 0°C и ниже на фоне среднесуточных температур воздуха выше 5 °C, что в климатологии относится к опасным гидрометеорологическим явлениям теплого времени года – заморозки [Кабак и др., 2019].

Дополнительно отбирались случаи с наличием осадков, выпавших за сутки до даты заморозка, которые можно отнести к весенне-осеннему виду скользкости [Носырева, Никифоров, 2019; Носырева, Жохова, 2015].

По полученным датам рассчитывалась продолжительность периода, в который существует риск возникновения явления весенне-осенней скользкости, ее максимальную непрерывную продолжительность и повторяемость в переходные периоды года.

Таблица 1

Повторяемость скользкости (%) в переходные сезоны года за каждый месяц на территории Удмуртской Республики

Станция	Широта, °с.ш.	Март	Апрель	Май	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
Глазов	58,1	1,08	10,37	6,59	4,52	4,87	1,04
Селты	57,3	1,08	9,32	4,80	2,01	4,66	1,08
Воткинск	57,0	1,15	8,03	2,15	1,51	3,58	0,36
Ижевск	56,8	0,79	8,75	4,01	3,01	4,87	0,72
Можга	56,4	1,79	11,25	4,09	2,22	6,24	1,08
Среднее	-	1,18	9,54	4,33	2,65	4,84	0,86
СКО	-	0,33	1,15	1,43	1,05	0,85	0,28

Исходя из табл.1 самая большая повторяемость скользкости наблюдается в весенний период в сравнении с осенним периодом. Самая высокая повторяемость скользкости за весенний период наблюдается в апреле. Максимальное значение повторяемости в апреле по станциям наблюдается на станции Можга. Также высокое число случаев повторяемости встречается на станции Глазов. Минимальное значение повторяемости за этот месяц наблюдается на станции Воткинск. Наименьшие значения повторяемости скользкости за весенний период встречаются в марте. Наибольшее значение данного параметра за этот месяц наблюдается на станции Можга. Наименьшее значение рассматриваемого параметра наблюдается на станции Ижевск.

Высокое число случаев повторяемости скользкости в осенний период наблюдается в октябре. Максимальное значение данного параметра за этот месяц встречается на станции Можга, а минимальное значение наблюдается на станции Воткинск. Наименьшие значения повторяемости скользкости встречаются в ноябре. Минимальное значение данной характеристики за

рассматриваемый месяц наблюдается на станции Воткинск. Максимальное значение повторяемости скользкости наблюдается на двух станциях – Селты и Можга. Также высокое значение характеристики наблюдается на станции Глазов.

Для повторяемости скользкости, как и для повторяемости заморозков была построена иерархическая кластеризация (рис. 1).

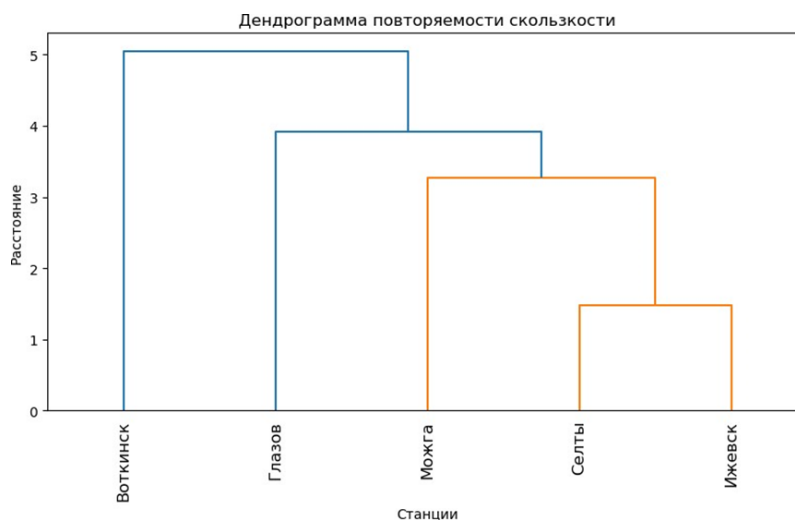


Рис. 1. Иерархическая кластеризация на основе данных о повторяемости скользкости за весенний и осенний периоды по Удмуртской Республике (составлен автором)

В самый большой и в первый по значимости кластер вошли такие станции, как Глазов и Можга. Повторяемость скользкости за рассматриваемые месяцы на данных станциях отличаются незначительно. В весенний период значения рассматриваемой характеристики являются высокими. Так, в апреле на станции Глазов скользкость наблюдается в 10,37% случаев, а на станции Можга – в 11,25% случаев. Аналогичная ситуация наблюдается в октябре: скользкость на станции Глазов наблюдается в 4,87% случаев, а на станции Можга в 6,24% случаев. В ноябре значения рассматриваемого параметра практически идентичные: на станции Глазов характеристика принимает значение 1,04%, а на станции Можга характеристика принимает значение 1,08%.

Во второй по значимости кластер вошли такие станции, как Селты и Ижевск. Значения повторяемости скользкости за весенний и осенний периоды отличаются незначительно. Так, в центральном месяце весеннего периода, в апреле, на станции Селты скользкость встречается в 9,32% случаев, а на станции Ижевск скользкость встречается в 8,75% случаев. Подобная ситуация наблюдается и для центрального месяца осеннего периода (октябрь): на станции Селты данная характеристика принимает значение 4,66%, а на станции Ижевск – составляет 4,87%.

В третий по значимости кластер вошла только одна станция – Воткинск. Все значения повторяемости скользкости за рассматриваемые месяцы являются наименьшими. Так, за апрель скользкость наблюдается в 8,03% случаев, а в октябре скользкость встречается в 3,58% случаев.

Таким образом, можно сделать основное заключение: наибольшая частота возникновения скользкости на дорогах в весенний период приходится на апрель, а в осенний – на октябрь. В указанные сезоны года дорожный транспорт сталкивается с максимальными трудностями при передвижении.

Библиографический список

1. Васильев А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. М.: Транспорт, 1986. 248 с.
2. Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения в сложных погодных условиях. М.: Транспорт, 1976. 224 с.
3. ГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»[Сайт]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 28.01.2026).
4. Носырева О.В., Никифоров М.А. Влияние климата на дорожный транспорт в переходные периоды года в Западной Сибири // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАН А.Н. Антипова, Иркутск, 23–27 сентября 2019 года. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2019. С. 201-205.
5. Носырева О.В., Жохова Д.А. Режим осадков в теплый период года на территории юга Западной Сибири / Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири». 2015. С. 307– 309.
6. Кабак А.М., Алексеева А.А., Васильев А.А., Голубев А.Д., Лукьянов В.И. РД 52.27.724–2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения / ФГБУ «Гидрометцентр России». М.: АМА ПРЕСС, 2019. 72 с.

© Асыллова Д.Д., 2026

Р.Г. Камалова

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

И.Ф. Адельмурзина

старший преподаватель

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УЧАЛИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Аннотация. На основе анализа данных многолетних метеорологических наблюдений (1961–2020 гг.) показано, что в Учалинском районе происходит устойчивый рост температуры воздуха во все месяцы и за год, увеличение периода с положительными температурами, небольшое увеличение годовых атмосферных осадков и их сокращение в отдельные месяцы теплого сезона.

Ключевые слова: изменение климата, агроклиматические ресурсы, температура воздуха, атмосферные осадки, гидротермические индексы.

Введение. На фоне происходящего глобального потепления климатические изменения наблюдаются как в целом в Республике Башкортостан (РБ), так и в смежных субъектах Российской Федерации [Переведенцев и др., 2017]. Усиливающийся интерес к проблемам изменений климата регионов имеет большое прикладное значение. В частности, актуальными становятся исследования, которые касаются термического режима и режима увлажнения сезонов.

Целью настоящего исследования является анализ тенденций изменений в климатическом режиме на территории Учалинского района РБ в 1961–2020 гг.

Методы исследования. При описании климата и оценке его изменений проанализированы данные многолетних наблюдений метеорологической станции Учалы в период 1961–2020 гг. Кроме того, в качестве сравнения для основных климатических характеристик рассчитаны базовые нормы, рекомендованные Всемирной метеорологической организацией (1961–1990, 1981–2010 гг. и 1991–2020 гг.). В случае анализа режима атмосферных осадков и увлажнения использован период 1966–2020 гг., т. к. на территории страны введены новые требования по наблюдениям за осадками с 1966 г.

Для анализа временной изменчивости климатических величин были рассчитаны их базовые характеристики: средние климатические нормы, среднеквадратическое отклонение для температуры и коэффициент вариации суммы осадков. Оценка региональных изменений климата получена с применением тренд-анализа. Угловой коэффициент наклона линии тренда (КНЛТ) характеризует скорость изменения величины, а положительный знак коэффициента указывает на рост (повышение) значения величины,

отрицательный – на его снижение (уменьшение). Величиной коэффициента детерминации R^2 оценивался вклад линейного тренда в общую изменчивость показателя и его статистическая значимость (на уровне достоверности $p=0,05$).

Для оценки условий увлажнения территории были использованы широко применяемые в России методики.

Испаряемость рассчитывалась по формуле Н.Н. Иванова:

$$E = 0,0018 \cdot (T + 25)^2 \cdot (100 - f), \quad (1)$$

где T – средняя месячная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), f – средняя месячная относительная влажность (%).

В качестве показателя тепло- и влагообеспеченности территории использован гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК). С помощью этого показателя можно выявить засушливые или переувлажненные условия. ГТК рассчитывается по формуле:

$$ГТК = \frac{10R_{\geq 10}}{\Sigma T_{\geq 10}}, \quad (2)$$

где R – сумма осадков за период со средней суточной температурой воздуха выше 10°C (мм), $\Sigma T_{\geq 10}$ – сумма средних суточных температур воздуха за тот же период ($^{\circ}\text{C}$). Подробная градация условий влагообеспеченности по этому показателю приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика влагообеспеченности по значениям ГТК

ГТК	Влагообеспеченность
$> 2,00$	Переувлажненная
$2,00 - 1,51$	Избыточная
$1,50 - 1,41$	Повышенная
$1,40 - 1,11$	Достаточная (оптимальная)
$1,10 - 0,76$	Недостаточная
$0,75 - 0,61$	Низкая (слабая засуха)
$0,60 - 0,41$	Очень низкая (средняя засуха)
$0,40 - 0,21$	Исключительно низкая (сильная засуха)
$< 0,20$	Катастрофически низкая (очень сильная засуха)

Также широко используется индекс засушливости (увлажнения) Д.А. Педя S , разработанный для описания условий засушливости и засух. Индекс учитывает аномальные условия погоды, наиболее важные для формирования засухи, такие, как аномалии температуры воздуха, осадков и влажности в почве. Индекс рассчитан для характеристики условий холодного и теплого периодов:

$$S_{Si} = \frac{\Delta T_i}{\Delta \sigma_{Ti}} - \frac{\Delta R_i}{\Delta \sigma_{Ri}} \quad (3) \quad \text{и} \quad S_{Wi} = \frac{\Delta T_i}{\Delta \sigma_{Ti}} + \frac{\Delta R_i}{\Delta \sigma_{Ri}}, \quad (4)$$

где S_s – летний индекс Педея, S_w – зимний индекс Педея, ΔT – аномалия температуры воздуха, ΔR – аномалия количества осадков, σ_T и σ_R – средние квадратические отклонения T и R в пункте i . Условия засушливости в теплом периоде характеризуются значениями $S_s \geq 2$, а при $S_s \leq -2$ наблюдается избыточная влагообеспеченность. Если в холодный период $S_w > 2$, то зима считается мягкой (теплой и многоснежной), если $S_w < -2$, то суровой (холодной и малоснежной).

Результаты исследования и обсуждения. Температурный режим. Климат территории исследования, находящейся в лесостепной зоне Западно-Сибирской равнины, континентальный с теплым летом и холодной зимой. Средняя годовая температура воздуха региона исследования составляет $1,8^\circ\text{C}$. Наибольшая температура воздуха наблюдается в июле ($17,2^\circ\text{C}$), наименьшая – в январе ($-14,4^\circ\text{C}$) (табл. 2).

Анализ среднеквадратического отклонения средних месячных температур показывает, что самыми устойчивыми месяцами является период май-сентябрь. Наибольший временной разброс температур характерен для января, февраля и декабря (табл. 2).

Временной анализ выявил, что во всех месяцах отмечается рост температуры воздуха. Статистически значимые тренды обнаружены в августе ($0,42^\circ\text{C}/10$ лет), октябре ($0,43^\circ\text{C}/10$ лет) и за год ($0,23^\circ\text{C}/10$ лет).

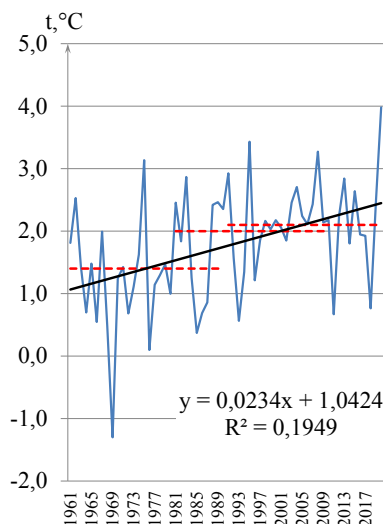
Таблица 2

Статистика и показатели изменчивости основных климатических величин
на метеостанции Учалы

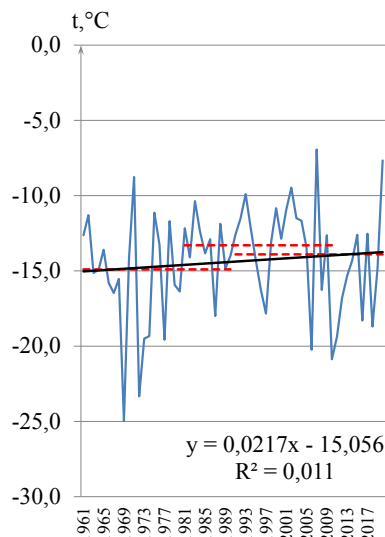
Месяц	Температура воздуха			Сумма осадков			Гидротермические условия				
	Средняя, $^\circ\text{C}$	СКО, $^\circ\text{C}$	КНЛТ t , $^\circ\text{C}/10$ лет	Средняя, мм	V, %	КНЛТ R, мм/10 лет	Испарение E, мм		ГТК		КНЛТ S, ед. 10 лет
							Среднее, мм	КНЛТ E, мм/10 лет	Средний, мм	КНЛТ ГТК, ед./10 лет	
I	-14,4	3,6	0,22	18	70,8	-0,44	-	-	-	-	0,067
II	-13,1	3,2	0,33	16	66,1	0,35	-	-	-	-	0,171
III	-6,7	2,7	0,30	21	80,8	2,95	-	-	-	-	0,295
IV	3,2	2,6	0,09	30	72,6	2,56	-	-	-	-	-0,142
V	11,0	1,9	0,18	41	65,1	-0,86	-	-	-	-	0,017
VI	15,5	1,9	0,28	63	57,8	-5,61	-	-	-	-	0,303
VII	17,2	1,7	0,15	86	59,0	-3,31	-	-	-	-	0,198
VIII	14,9	1,7	0,42	57	61,4	4,10	-	-	-	-	0,105
IX	9,3	1,4	0,11	32	68,7	0,85	-	-	-	-	0,047
X	2,1	2,2	0,43	31	75,7	1,37	-	-	-	-	0,153
XI	-6,0	2,7	0,13	21	62,4	-0,68	-	-	-	-	-0,001
XII	-11,9	3,4	0,18	20	67,8	-1,22	-	-	-	-	0,040
Год	1,8	0,9	0,23	436	23,2	0,07	512	13,8	1,33	-0,001	0,302

Примечание: Жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды на уровне достоверности $p = 0,05$.

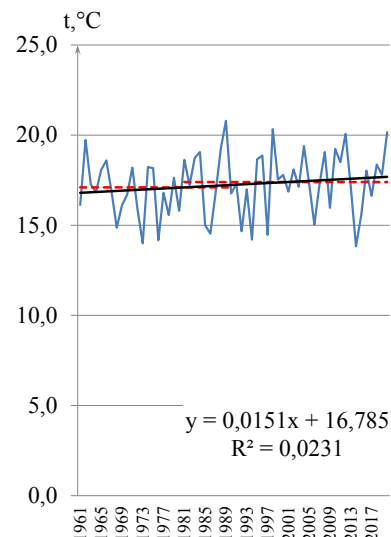
На рис. 1а отчетливо видно, что заметны изменения норм средней годовой температуры воздуха: за период 1961-1990 гг. она составляла 1,4°C, за период 1981-2010 гг. – 2,0°C, 1991-2020 гг. – 2,1°C. Самая наибольшая средняя годовая температура наблюдалась в 2020 г. и составила 4,0°C. Самые низкие температуры выявлены в 1969 (-1,3°C), 1976 (0,1°C), 1985 (0,4°C), 1993 (0,6°C), 2011 (0,7°C) и 2018 (0,8°C) годах.



а. Средняя годовая
температуры



б. Средняя месячная
температуры января



в. Средняя месячная
температуры июля

Примечание: красная пунктирная линия – климатические нормы

Рис. 1. Многолетняя динамика средней годовой, средних месячных температуры воздуха на территории исследования

Средняя продолжительность периодов со средней суточной температурой выше 0, 5, 10, 15°C составляет 205, 166, 126, 69 дней соответственно. Анализ изменчивости продолжительности данных периодов показывает (рис. 2), что число дней в каждом из них увеличивается (тренды статистически значимы для периодов выше 0 и 15°C). Наибольший рост характерен для периода выше 15°C (5,0 дней/10 лет) и выше 0°C (2,8 дней/10 лет).

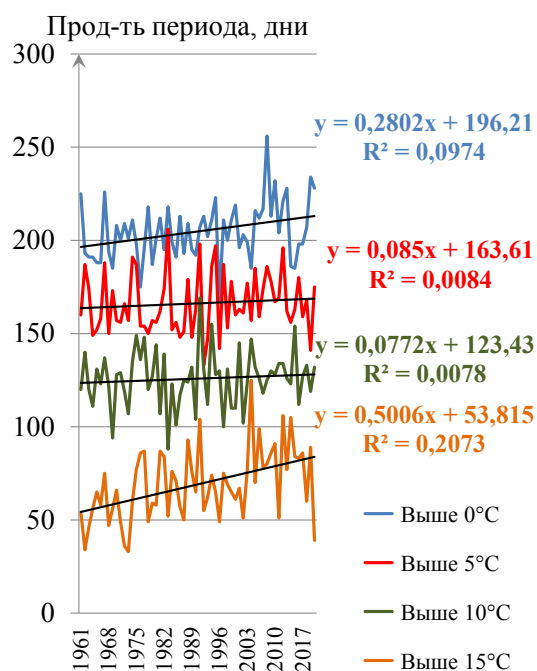


Рис. 2. Многолетняя динамика продолжительности периодов со средней суточной температурой воздуха выше 0, 5, 10, 15°C

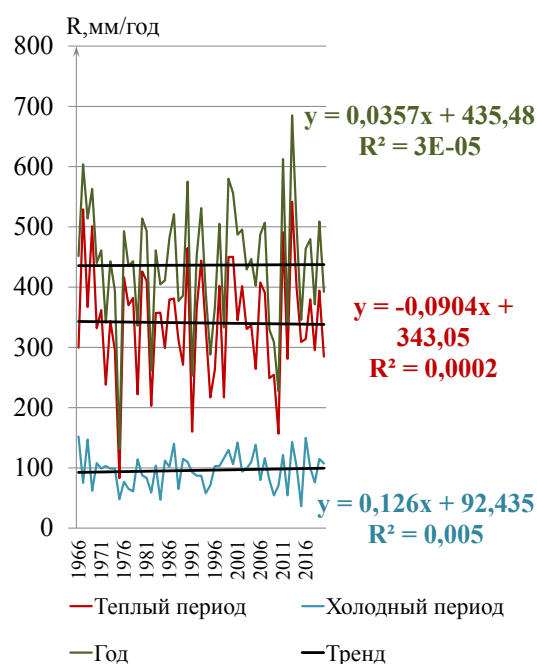


Рис. 3. Многолетняя динамика суммы атмосферных осадков за год, теплый и холодный периоды

Режим атмосферных осадков. Годовое количество осадков на метеостанции Учалы составляет 436 мм. В Башкирском Зауралье начинает проявляться большая континентальность, поэтому в теплый период выпадает 341 мм осадков (78,2%), в холодный – 95 мм (21,8%). Наибольший временной разброс значений суммы осадков (табл.2 и рис. 3) приходится на холодный период.

Многолетняя динамика суммы осадков (рис. 3) показывает, что тренды в 30-летние периоды имели разнонаправленный знак, так, в период 1966–1990 гг. в среднем выпадало 437 мм/год, в 1981–2010 гг. – 427 мм/год, в 1991–2020 гг. – 435 мм/год. Максимально большое количество осадков выпало в 2013 (685 мм/год), 2011 (613 мм/год) и 1967 (604 мм/год) гг. Наименьшее количество осадков было зафиксировано в 1975 (131 мм/год), 2010 (227 мм/год), 1991 (253 мм/год) гг.

Анализ расчетов КНЛТ месячных сумм осадков показал (табл. 2), что в шести месяцах отмечается отрицательная тенденция. Наибольшее уменьшение осадков обнаружено в июне (–5,61 мм/10 лет). Кроме этого, статистически значимый рост осадков выявлен в марте (2,95 мм/лет). В целом, для холодного периода КНЛТ осадков составляет 1,20 мм/10 лет, для теплого –0,90 мм/10 лет (рис. 3).

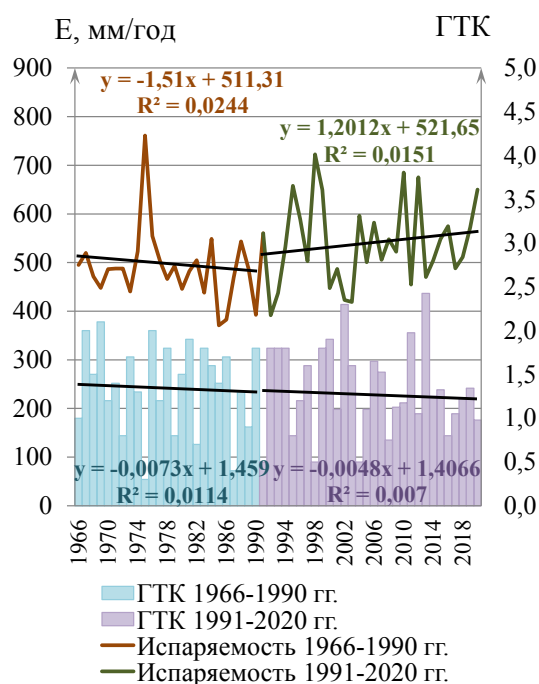
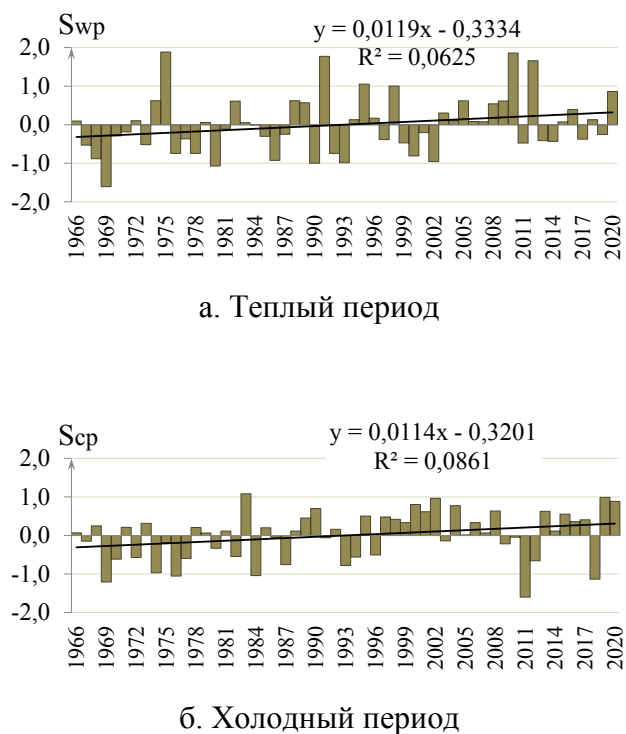


Рис. 4. Многолетняя динамика испаряемости и ГТК



— Тренд

Рис. 5. Многолетняя динамика индекса Педя теплого (Swp) и холодного (Scp) периодов

Режим увлажнения. Испаряемость по данным метеостанции Учалы составляет 512 мм/год. ГТК равняется 1,33, что характеризует влагообеспеченность территории как достаточную.

Установлено, что тренд испаряемости до 1990-х гг. был отрицательным (-15,1 мм/10 лет), а в последний тридцатилетний период – положительным (12,0 мм/10 лет). ГТК в обоих 30-летних периодах имеет тенденцию к уменьшению. Индекс засушливости Педя в теплый период имеет положительный тренд, скорость роста которого 0,12 ед./10 лет (рис. 5а). Следовательно, условия смещаются к градации «засушливые/слабая засуха». Самые засушливые условия в теплые периоды проявились в 1975 ($S=1,89$), 2010 ($S=1,86$), 1991 ($S=1,77$) и 2012 ($S=1,66$) гг. В холодный период тренд индекса Педя также положительный, но еще и статистически значимый (0,11 ед./10 лет), что показано на рис. 5б.

Выводы. Обнаружены следующие закономерности в изменениях гидротермических условий Учалинского района РБ:

1. На территории района выявлен устойчивый рост средней годовой температуры воздуха. Скорость роста температуры составляет 0,23°C/10 лет

(тренд статистически значимый). Наиболее существенным ростом температура обладает в августе, октябре, феврале и марте.

2. Выявлены существенные изменения в продолжительности периодов со средней суточной температурой выше 0 и 15°C. Установлено, что наблюдается значимое увеличение продолжительности теплого и летнего периодов. Скорость увеличения продолжительности периода со средней суточной температурой выше 0°C составляет 2,8 дней/10 лет, выше 15°C – 5,0 дней/10 лет.

3. Отмечается небольшое увеличение годовой суммы атмосферных осадков (0,36 мм/10 лет) при отрицательных значительных трендах в июне и июле. В целом в холодном периоде наблюдается небольшой рост суммы осадков, в теплом – их уменьшение.

4. Ростом температуры воздуха, увеличением периода с положительными температурами, сокращением атмосферной влаги в отдельные месяцы летнего сезона и увеличением испаряемости на исследуемой территории, обуславливается нарастание засушливых условий. В то же время зимы становятся более теплыми и многоснежными.

Библиографический список

1. Камалова Р.Г. Современные тенденции изменения основных климатических показателей и их последствия для территории Республики Башкортостан. Дис. ... канд. геогр. наук. Казань: КФУ, 2024. 184 с.
2. Переведенцев Ю.П., Хабутдинов Ю.Г., Гизатуллин Р.Д., Алтухова А.В. Агрометеорологические условия Приволжского федерального округа // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 1 (9). С. 3-8.

© Камалова Р.Г., Адельмурзина И.Ф., 2026

А.С. Козлова

магистрант 2 года обучения

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Р.Г. Камалова**

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ БЕЛОЙ

Аннотация. Работа посвящена изучению изменения стока реки Белой при разных температурных условиях зимних сезонов. Температура воздуха и толщина льда отражают динамику термического режима и его влияние на формирование водного стока. Данные параметры оказывают комплексное воздействие на систему водообмена через механизмы криогенного воздействия, определяя характер взаимодействия между поверхностными и подземными водами в зимний период. В качестве основных характеристик в данной работе использованы температура воздуха, толщина льда и зимний сток рек. Для получения количественных оценок был выполнен сравнительный анализ изменения величины стока рек к концу зимы при разных температурных и ледовых условиях. Проанализированы ряды зимнего стока, толщиной речного льда реки Белой с общим периодом наблюдения – 1968–2021 гг., температурой воздуха – 1961–2021 гг.

Ключевые слова. Зимний речной сток, холодные и теплые зимы, изменение климата, Республика Башкортостан.

Изменение зимнего стока рек в условиях потепления климата является актуальной проблемой гидрологии, имеющей важное значение для познания закономерностей формирования зимнего стока и рационального управления водными ресурсами. Потепление приводит к ряду процессов, влияющих на формирование зимнего стока: уменьшению глубины промерзания почв, увеличению частоты оттепелей, изменению структуры осадков и динамики подземных вод.

Река Белая считается главной водной артерией Республики Башкортостан. Длина реки достигает 1430 км, площадь водосбора составляет 142 тыс. км².

Река Белая зарегулирована тремя крупными водохранилищами: Павловское на р. Уфа (приток р. Белой), созданное в 1961 году, Нугушское на р. Нугуш (приток р. Белой), созданное в 1967 году и Юмагузинское на р. Белой, созданное в 2004 году. В связи с этим, изменчивость расходов воды ниже гидрологического поста р. Белая – г. Стерлитамак ($F = 21000 \text{ км}^2$) после 1961 года и ниже гидропоста р. Белая – д. Сыртланово ($F = 10100 \text{ км}^2$) после 2004 года незначительны.

Температура зимы является ключевым фактором, определяющим гидрологический режим рек в холодный период, эти изменения имеют значительные последствия для водного баланса и ледового режима. Тёплая и

холодная зима оказывают противоположное влияние на сток реки и толщину льда. Эти взаимосвязи обусловлены комплексом гидрологических и климатических процессов [Марков, Гуревич, 2026].

В холодные зимы наблюдается снижение зимнего стока. Это связано с усилением промерзания верхнего слоя почвогрунтов, что ограничивает приток грунтовых вод в реку, увеличивается миграция влаги к фронту промерзания, что уменьшает доступные для стока водные ресурсы. При сопоставимой предзимней водности рек минимальный зимний сток в холодные зимы оказывается ниже, чем в более мягкие периоды.

В тёплые зимы зимний сток увеличивается. Это происходит из-за ослабления влияния ледяного покрова на реку, уменьшается толщина льда и улучшается пропускная способность, снижаются потери стока на аккумуляцию воды в ледяном покрове. В мягких безоттепельных зимах сток рек снижается менее интенсивно, а минимальный зимний сток может быть выше на 15–25 % по сравнению с холодными зимами [Гуревич, 2020].

В холодные зимы увеличивается толщина ледяного покрова. Это связано с более низкой температурой воздуха и продолжительным периодом отрицательных температур. Более толстый лёд усиливает сопротивление потоку воды, что дополнительно снижает сток.

В тёплые зимы толщина льда на реках уменьшается. Это связано с более высокой температурой воздуха и сокращением периода отрицательных температур. В некоторых случаях тёплая зима может приводить к частичному стаиванию накопленного снежного покрова и пополнению грунтового стока [Георгиевский и др., 2021].

Для объективной оценки воздействия климатических изменений на гидрологический режим реки необходимо учитывать комплексный характер взаимодействия температурных и водных факторов, а также пространственно-временную изменчивость гидрологических процессов.

Для сравнительного анализа динамики снижения зимнего стока в зависимости от суровости зим были взяты данные 6 гидрологических постов на реке Белой с разными периодами наблюдения. Основными данными для сравнения гидрографов послужили данные гидрологического поста р. Белая – ж.-д. ст. Шушпа с общим периодом наблюдений за стоком и толщиной льда 1968–2021 гг. Суровость зим оценивалась по многолетним рядам наблюдений за суточными температурами воздуха зимнего периода на метеостанции Учалы за 1961–2021 гг.

В современных условиях климатической изменчивости наблюдается значительное разнообразие зимних гидрологических режимов. Температурный и водный режимы формируют различные сценарии зимнего стока: тёплые маловодные зимы, холодные зимы средней водности, тёплые многоводные зимы и т.д. Каждый из этих сценариев создаёт гидрологический режим, при котором влияние температурного фактора на формирование стока проявляется по-разному в зависимости от начального водного стока реки.

Сравнение гидрографов стока реки в теплую и холодную зимы при относительно равной водности рек в начале зим проводилось при условиях сопоставимости предзимней водности рек в верховье, отличие зимних температур в сравниваемые сезоны и отсутствие оттепелей и жидких осадков зимой.

При анализе исходной информации, за имеющийся период наблюдений было выявлено 3 пары зим, при которых соблюдаются данные условия.

Важно отметить, что при проведении исследований неизбежно возникают определенные ограничения, связанные с естественной неоднородностью гидрологических процессов и сложностью полного учёта всех влияющих факторов. Тем не менее, соблюдение указанных условий позволяет получить максимально достоверные результаты о влиянии температурных колебаний на формирование зимнего стока.

Выполнено сравнение гидрографов стока р. Белая – ж.-д. ст. Шушпа ($F = 1670 \text{ м}^3$) в разные по суровости зимы 1973–1974 и 2014–2015 гг., 1974–1975 и 2010–2011 гг., 1977–1978 и 1978–1979 гг. при сопоставимом предзимнем увлажнении речного стока в ноябре (рис. 1а, 1б, 1в). На графике синим обозначены холодные зимы, красным – тёплые.

Средняя температура воздуха зимнего сезона 1973–1974 гг. ниже зимы 2014–2015 гг. на 4°C , что отразилось на различных ледовых условиях. Толщина февральского льда в более тёплую зиму 2014–2015 гг. на посту р. Белая – ж.-д. ст. Шушпа составляла 40 см, что на 14 см меньше в феврале более холодной зимы 1973–1974 гг.

Такое же сравнение гидрографов произведено для периодов 1974–1975 гг. – мягкая зима и 2010–2011 гг. – холодная зима при одинаковых начальных условиях снижения расходов воды (рис. 1б, табл. 1). В данном случае наблюдается превышение расходов в более холодную зиму, предзимнее увлажнение в 2010 году было значительно меньше, чем в 1974 году, расходы в период весеннего половодья почти в два раза меньше в 2010 году, что сказалось на запасах грунтовых вод. Толщина льда к концу мягкой зимы составила 56 см, а холодной – 65 см.

При сравнении зимних периодов 1977–1978 гг. и 1978–1979 гг. наблюдается отличие хода температуры воздуха с предыдущими сравниваемыми периодами, что проявляется в уменьшении среднемесячной температуры с декабря по февраль. Несмотря на небольшую разницу средней температуры воздуха в эти зимы внутрисезонные колебания были существенны (табл. 1). При этом толщина льда на 23 см больше в тёплую зиму, чем в холодную.

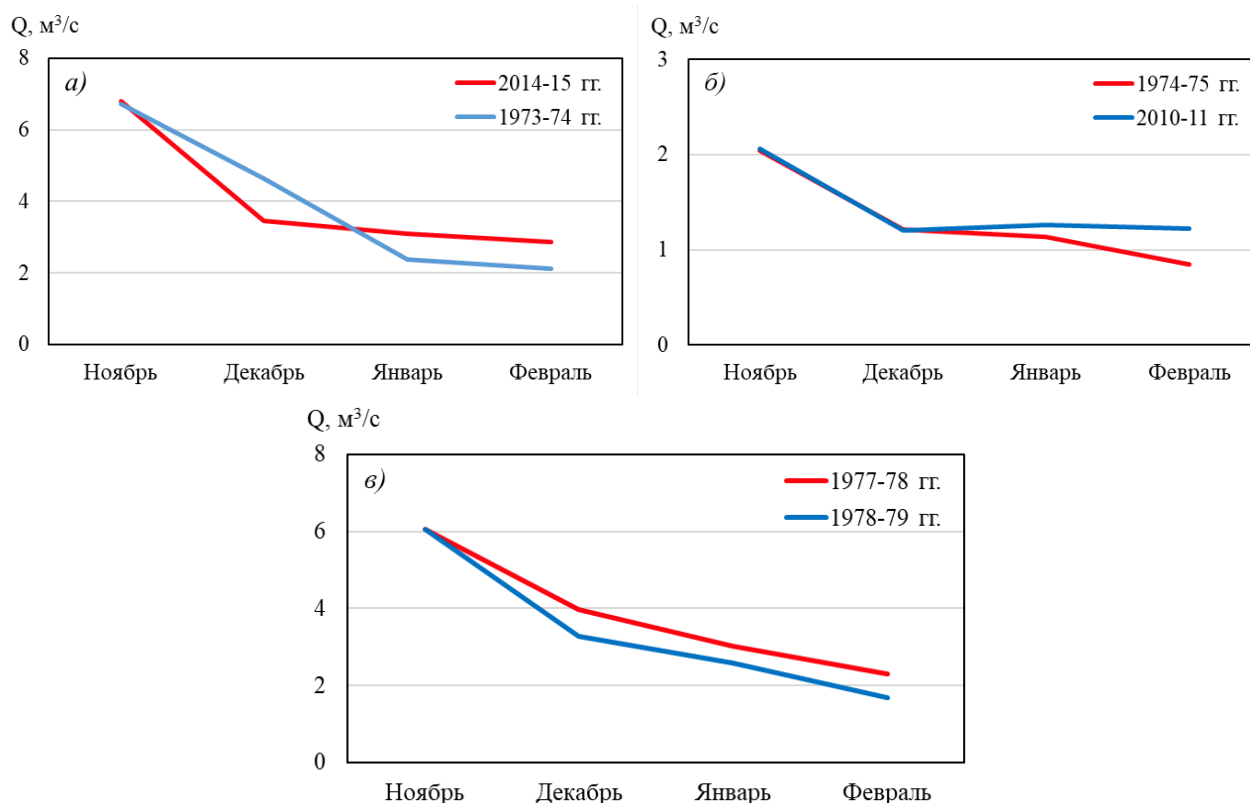


Рис. 1. Изменение стока рек в разные по суровости зимы (составлен автором)

На основе данных рисунков 1а и 1в можно сказать, что при сходных расходах воды в ноябре, но при разных температурных условиях, наблюдаются существенные отличия темпов снижения стока рек. Среднемесячные расходы к концу холодной зимы 1973–1974 гг. и 1978–1979 гг. были на 26 % ниже, чем в более теплые зимы 2014–2015 гг. и 1977–78 гг. соответственно. Сток холодной зимы 2010–2011 гг. выше в 1,4 раза, по сравнению с теплой зимой 1974–1975 гг.

Таблица 1

Среднемесячные зимние температуры воздуха (°C)

Зимний период	Декабрь	Январь	Февраль	Средняя за зиму T°С воздуха
2014-15 гг.	-8,9	-12,7	-9,3	-10,3
1973-74 гг.	-9,0	-19,4	-14,4	-14,3
1974-75 гг.	-13,8	-11,2	-13,6	-12,9
2010-11 гг.	-13,3	-19,3	-18,4	-17,0
1977-78 гг.	-14,6	-11,9	-11,9	-12,8
1978-79 гг.	-17,0	-15,9	-11,4	-14,8

Соотношение изменения расходов воды к февралю относительно ноября по длине бассейна реки Белой представлены на рис. 2. Оценить изменчивость стока можно до гидропоста р. Белая – д. Сыртланово ($F = 10100 \text{ км}^2$), так как

ниже по течению река зарегулирована крупными водохранилищами. В целом снижение стока реки к концу холодной зимы было больше, чем в теплые зимы.

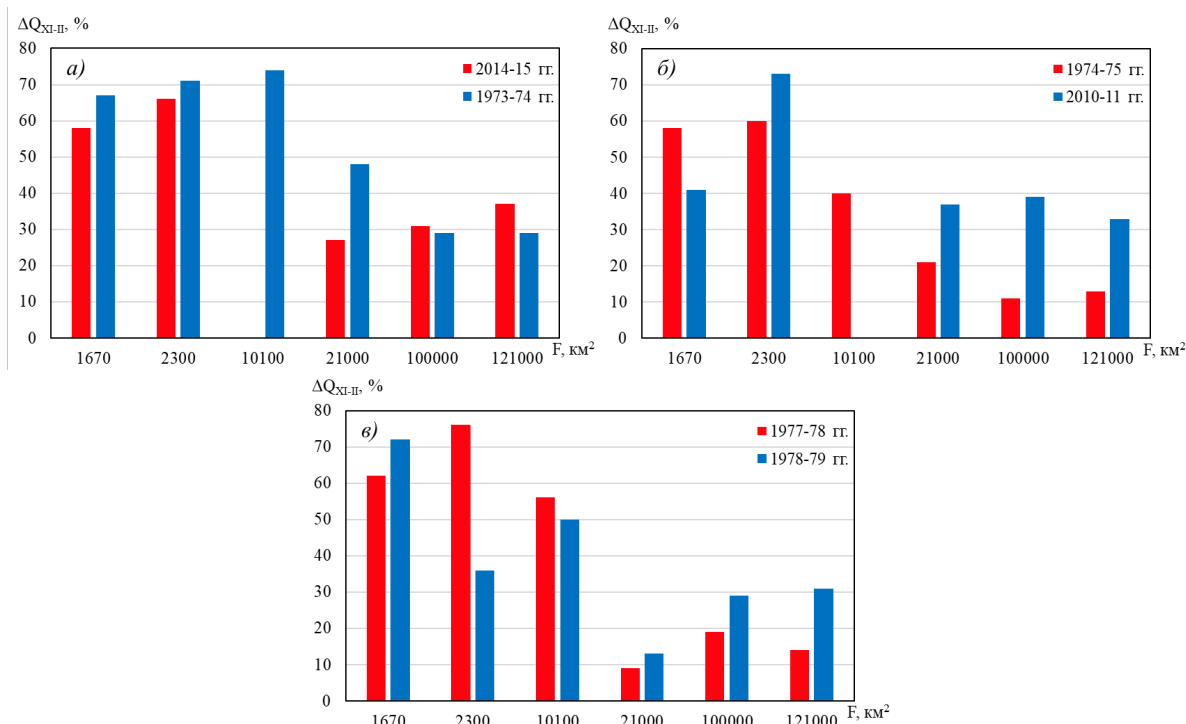


Рис. 2. Снижение стока реки к февралю относительно ноября (%) в бассейне р. Белой (составлен автором)

В 2014–2015 гг. теплой зимы и 2010–2011 гг. холодной зимы данные по гидропосту р. Белая – д. Сыртланово ($F = 10100 \text{ км}^2$) не указаны, т.к. он был закрыт в 2007 году. Изменчивость стока ниже по течению в данные зимы незначительная в связи с зарегулированностью стока Юмагузинским водохранилищем, построенным в 2004 году.

Динамика зимнего стока напрямую зависит от начального объема водных ресурсов перед наступлением зимы и интенсивности процессов ледообразования, которые способны аккумулировать значительную часть речного стока.

Рис. 3 отражает зависимость между показателями февральской толщины льда и величиной сокращения стока за зимний сезон. Меньшая толщина льда наблюдается в более теплую зиму, чем в холодную. При увеличении толщины февральского льда на 10 см минимальный сток реки Белой снижался в среднем на 15 %.

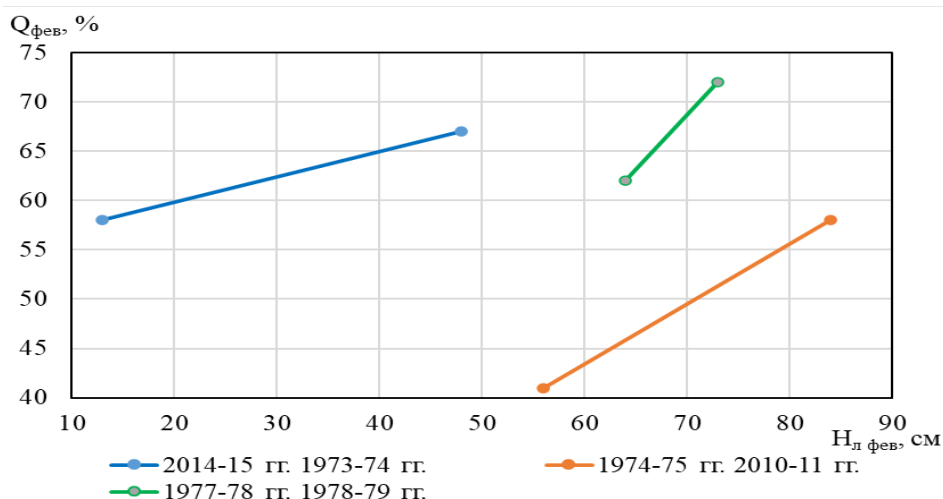


Рис. 3. Обобщенный график связи стока реки Белой к концу зимы с толщиной льда (февраль) (составлен автором)

В современных условиях ледовый покров рек выступает важнейшим индикатором происходящих изменений. Температурно-ледовые взаимосвязи проявляются через прямую корреляцию между отрицательными температурами и толщиной ледяного покрова. В холодные зимы формируется мощный ледяной покров, ускоряется процесс снижения речного стока и возрастают потери воды на формирование льда. При мягком климате наблюдается уменьшение толщины льда, сохранение высоких показателей расхода и усиление подпитки водотоков подземными водами.

Установлена прямая зависимость между температурным режимом зимы, характеристиками ледяного покрова и динамикой речного стока. Выявлено, что в холодные зимы формируется более мощный ледяной покров, что приводит к ускоренному снижению речного стока. В тёплые зимы наблюдается уменьшение толщины льда и сохранение более высоких показателей расхода воды к концу зимнего периода. В мягких безоттепельных зимах снижение стока происходит менее интенсивно. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят усовершенствовать методы прогнозирования зимнего стока и оптимизировать управление водными ресурсами.

Библиографический список

1. Георгиевский М.В., Горошкова Н.И., Хомякова В.А., Георгиевский Д.В., Пленкина А.К. Влияние климатических изменений в осенне-зимний период на гидрологический режим рек бассейнов Малой Северной Двины // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 466-479.
2. Гуревич Е.В. Связь экстремумов минимального зимнего стока рек с температурным и ледовым факторами // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т.2, № 1. С. 44-52.
3. Марков М.Л., Гуревич Е.В. Негативное влияние потепления зим на расходы рек и уровни дренируемых ими грунтовых вод // ГеоИнфо [Сайт]. URL: <https://geoinfo.ru/> (дата обращения: 18.03.2026 г.).

Р.П. Михайлов

аспирант 1 года обучения,

Казанский Приволжский Федеральный Университет, г. Казань

Научный руководитель: ^{1,2,3}**А.В. Елисеев**

д-р физ.-мат. наук, доцент

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва;²Московский государственный университет

им. М.В. Ломоносова, г. Москва;

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ МОЛНИЙ В ЧЕТЫРЕХ МОДЕЛЯХ CMIP6

Аннотация. В работе исследована частота молний (ЧМ) по данным четырех климатических моделей проекта CMIP6. Для современного периода (1995–2014 гг.) модели демонстрируют значительные расхождения в многолетних средних значениях, межгодовой изменчивости и коэффициентом температурной чувствительности. Глобальная средняя ЧМ варьируется между моделями вдвое, и лишь две из них согласуются со спутниковыми данными LIS/OTD. Модельные расхождения наиболее выражены на региональном уровне и в летний период Северного полушария. К концу XXI века прогнозируется рост ЧМ, особенно при сценариях с высокой антропогенной эмиссией CO₂. Долгосрочный коэффициент температурной чувствительности β глобально составляет 5–17% K⁻¹, над континентами достигает 10–20 % K⁻¹ в среднем за год и 20–60% K⁻¹ летом для северных внетропических широт. Эта долгосрочная чувствительность отлична от краткосрочной, глобально отрицательной, с выраженной региональной спецификой, корректно воспроизводимой моделями.

Ключевые слова. Частота молний, CMIP6, LIS/OTD, Lightning flash frequency.

Молнии один из важнейших электрических процессов, протекающих в атмосфере. Они являются одним из основных естественных источников оксидов азота в атмосфере, показывают значительное влияние на химию атмосферы в средней и верхней тропосфере, в частности на озон. Также молнии являются одним из наиболее распространённых источников природных пожаров, в особенности в регионах с малой плотностью населения [Елисеев и др., 2020].

Учитывая значимость грозовой активности для климатической системы, корректное воспроизведение частоты молний (ЧМ) становится важной задачей в современных глобальных климатических моделях. В связи с этим целью данной работы является оценка ЧМ в современных моделях земной системы, представленных в рамках проекта CMIP6, путем их сравнения с данными спутниковых наблюдений.

Для анализа использовались данные четырех моделей шестой фазы Проекта взаимного сравнения совместных климатических моделей (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, CMIP6): модели земной системы с блоком химии всей атмосферы (Community Earth System Model–Whole

Atmosphere Community Climate Model, CESM2-WACCM), модели Института космических исследований им. Годдарда (Goddard Institute for Space Studies Model, GISS-E2-1-G), модели земной системы Великобритании (United Kingdom Earth System Model, UKESM1-0-LL) и климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН (INM-CM-4-8). Были рассмотрены численные эксперименты исторического периода («historical»), а также сценарии общих социально-экономических траекторий (Shared Socioeconomic Pathways, SSP): SSP1-2.6 и SSP5-8.5. Результаты моделирования оценивались путем их сравнения со спутниковыми данными датчика изображений молний и оптического детектора кратковременных явлений (Lightning Imaging Sensor / Optical Transient Detector, LIS/OTD) за период 1995–2014 гг. (версия продукта LRMTS_V2.3.2015).

По данным LIS/OTD глобальная частота молний F равна $44,8 \pm 1,6 \text{ с}^{-1}$ (здесь и далее среднемноготлетнее глобальное, и межгодовое стандартное отклонение). Лишь в 2 моделях – UKESM ($F=44,0 \pm 1,3 \text{ с}^{-1}$) и INMCM ($F=41,3 \pm 0,8 \text{ с}^{-1}$) – значения ЧМ близки к LIS/OTD (рис. 1). При этом модель CESM ($F=30,3 \pm 1,0 \text{ с}^{-1}$) недооценивает глобальную частоту молний примерно в 1,5 раза, а GISS ($F=59,9 \pm 2,2 \text{ с}^{-1}$) – завышает на 34%. При этом стандартное отклонение наилучшим образом воспроизводится UKESM, занижается в INMCM и CESM, а GISS завышает.

К концу XXI века при сценариях антропогенного воздействия на систему в моделях частота молний в целом увеличивается (табл.1, рис. 1, 2) В среднем по глобусу ЧМ в моделях CMIP6 в сценарии SSP1-2.6 растет на 7-17%, при сценарии SSP5-8.5 рост составляет 33–76% в зависимости от модели. При этом несмотря на существенные межмодельные различия пространственной структуры этих изменений, можно выделить и особенности, характерные для всех моделей. Эти особенности включают пространственный максимум среднегодового изменения ЧМ над тропическими континентами. Летом Северного полушария частота молний сильно увеличивается над внутренней частью Евразии и над Северной Америкой. В целом, изменения ЧМ от современного периода к концу XXI века больше для моделей с большей климатической чувствительностью и при более высоких антропогенных эмиссиях CO_2 в атмосферу.

Таблица 1

Изменение глобальной частоты молний по данным моделей CMIP6

Модель	Частота молний, с^{-1}		
	1995-2014	2090-2100	
		SSP1-2.6	SSP5-8.5
CESM2	$30,3 \pm 1,0$	$35,6 \pm 0,8$	$53,2 \pm 2,5$
GISS	$59,9 \pm 2,2$	$66,6 \pm 2,0$	$81,0 \pm 1,8$
INMCM	$41,3 \pm 0,8$	$44,2 \pm 1,0$	$63,4 \pm 1,2$
UKESM	$44,0 \pm 1,6$	$49,2 \pm 1,6$	$58,5 \pm 2,0$

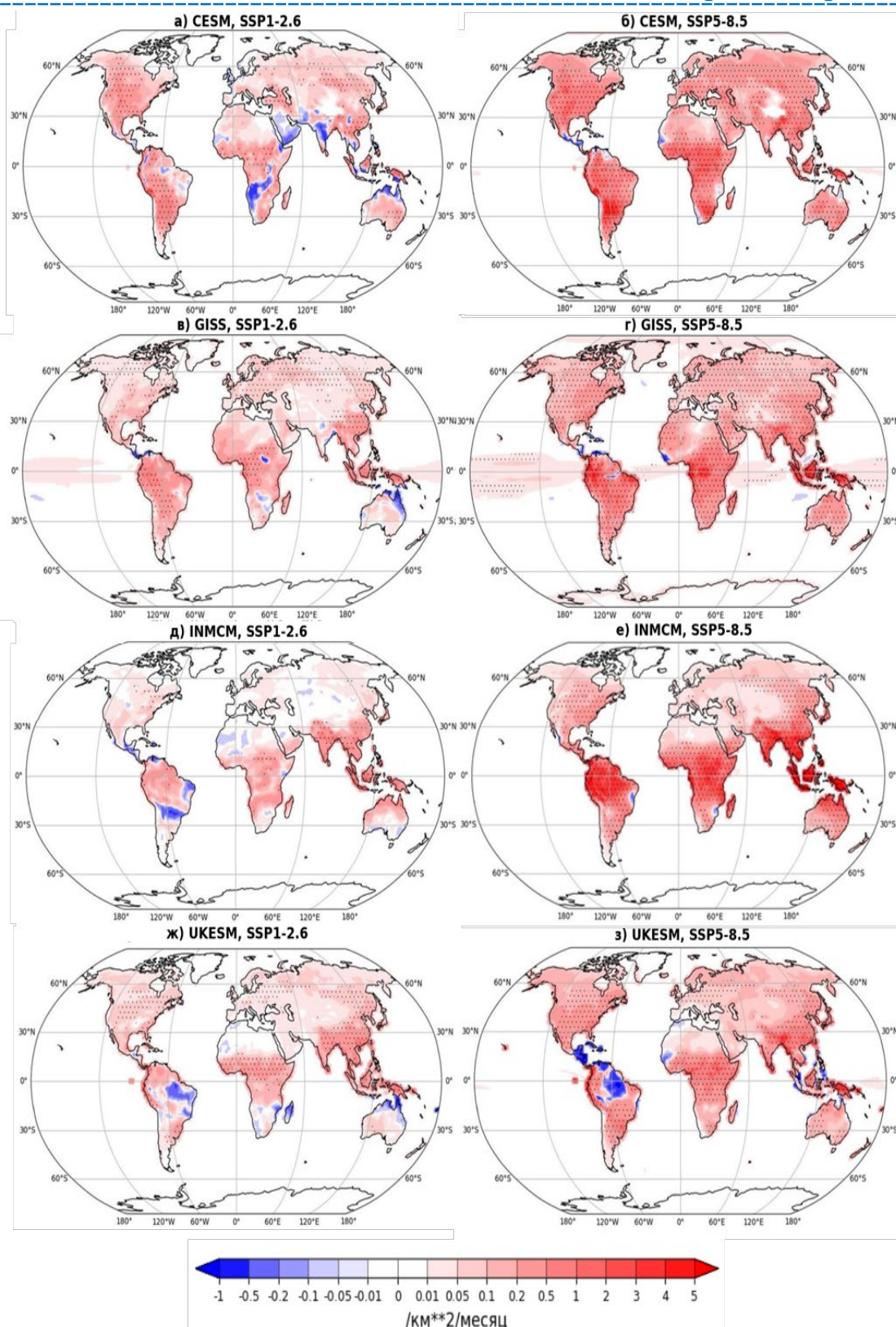


Рис. 1. Изменение среднегодовой частоты вспышек молний с 1995-2014 гг. до 2090-2100 гг. по данным моделей CMIP6 (составлен автором)

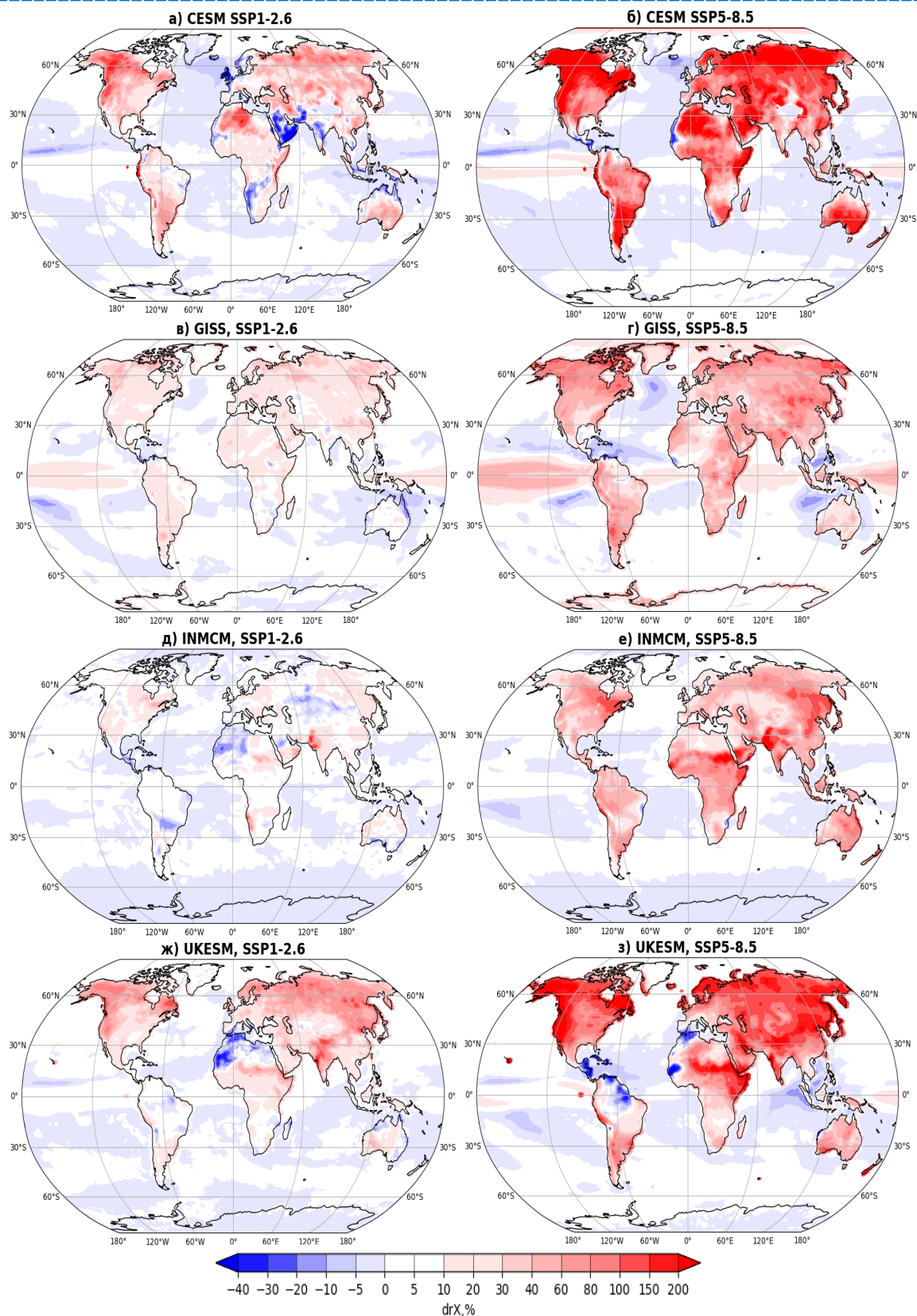


Рис. 2. Относительное изменение среднегодовой частоты молний по данным моделей CMIP6 с 1995–2014 гг. до 2090–2100 гг. по данным моделей CMIP6 (составлен автором)

Частота молний в современный период заметно различается между моделями CMIP6 даже на для глобальных среднегодовых значений, причем 2 из 4 моделей отличаются от спутниковых данных LIS/OTD на $\geq 30\%$. Расхождения еще более заметны при рассмотрении отдельных регионов.

К концу XXI века при сценариях антропогенного воздействия на систему в моделях частота молний в целом увеличивается, особенно над тропическими континентами.

Библиографический список

1. Елисеев А.В., Васильева А.В. Природные пожары: данные наблюдений и моделирование // Фундаментальная и прикладная климатология. Т.3. 2020. С. 73–119.

© Михайлов Р.П., 2026

Нарети Пассмо Пита

магистрант 2 года обучения,

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **А.А. Николаев**

канд. геогр. наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВОСТОЧНОЙ АФРИКЕ

Аннотация. В работе исследуется влияние температуры поверхности океана (ТПО) в южной части Индийского океана ($20\text{--}120^\circ$ в.д., $0\text{--}40^\circ$ ю.ш.) на атмосферные процессы в регионе Восточной Африки за период 1994–2024 гг. На основе данных реанализа ERA5 и климатических индексов Диполь Индийского океана (IOD) и Эль-Ниньо – Южное колебание (ENSO) с применением корреляционного анализа и метода линейных трендов выявлены устойчивые сезонные связи в системе океан-атмосфера. Установлено, что преобладающим механизмом влияния на осадки является барическое поле: корреляция между давлением на уровне моря (ДУМ) и осадками достигает -0.806 весной. Крупномасштабные климатические моды играют различную роль: ENSO оказывает последовательное влияние на ДУМ во все сезоны, тогда как IOD модулирует осадки преимущественно весной, формируя дипольную структуру. Анализ трендов не выявил статистически значимых изменений средних климатических параметров, однако зафиксирована трансформация режима экстремальных явлений: частота тропических циклонов снизилась на 25,3%, а их средняя интенсивность возросла на 4,3%. Полученные результаты имеют значение для сезонного прогнозирования и адаптации прибрежных стран к изменению климата.

Ключевые слова. Температура поверхности моря, Индийский океан, Восточная Африка, атмосферные процессы, осадки, давление, тропические циклоны, ENSO, IOD.

Южная часть Индийского океана является ключевым регионом, где формируются крупномасштабные взаимодействия океана и атмосферы, влияющие на климат сопредельных территорий, включая страны Восточной Африки. Температура поверхности океана в этом бассейне выступает важным фактором, определяющим интенсивность конвекции, перенос влаги и, в конечном итоге, режим осадков. Однако характер этих связей существенно меняется в зависимости от сезона и модулируется глобальными климатическими модами, такими как Диполь Индийского океана и Эль-Ниньо – Южное колебание.

Несмотря на признанную роль Индийского океана в формировании климата Восточной Африки, многие аспекты остаются недостаточно изученными: сезонная специфика связей ТПО с давлением и осадками, сравнительный вклад различных климатических мод, а также реакция экстремальных явлений (тропических циклонов) на долгопериодные изменения. Данное исследование является продолжением работ по анализу термического

режима океана и ставит целью комплексно оценить влияние ТПО на атмосферные процессы в регионе за последние три десятилетия (1994–2024 гг.).

Материалы и методы

Район исследования. Работа охватывает акваторию южной части Индийского океана в координатах 20–120° в.д. и 0–40° ю.ш. включающую тропические и субтропические воды, зоны муссонной циркуляции и области генерации тропических циклонов, воздействующих на восточное побережье Африки.

Данные

В работе использованы следующие данные:

Температура поверхности океана, давление на уровне моря, осадки: ежемесячные поля реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды [Copernicus Climate Change Service, 2025] за период 1994–2024 гг. с пространственным разрешением 0.25°×0.25°.

Климатические индексы: Dipole Mode Index (DMI) для IOD [NOAA PSL, 2025] и Oceanic Niño Index (ONI) для ENSO [NOAA CPC, 2025].

Тропические циклоны: данные о траекториях и интенсивности из архива IBTrACSv04r01 [Knapp et al., 2010; NOAA NCEI, 2025].

Методы анализа. Статистическая обработка выполнялась в среде Python. Для каждой переменной рассчитывались средние климатологические значения, аномалии и линейные тренды (метод наименьших квадратов) с оценкой значимости по t-критерию ($p < 0.05$). Для изучения связей применялся корреляционный анализ Пирсона между полями ТПО, ДУМ, осадков и климатическими индексами отдельно для четырех сезонов: декабрь–февраль (лето), март–май (осень), июнь–август (зима), сентябрь–ноябрь (весна). Анализ циклонической активности включал расчет частоты, средней интенсивности и доли интенсивных циклонов (категории 3–5 по шкале Саффира–Симпсона).

Результаты

Климатология и сезонность. За период 1994–2024 гг. регион демонстрирует четко выраженный сезонный ход осадков с максимумом в летний сезон (356.5 ± 30.0 мм/сезон) и минимумом зимой (184.9 ± 19.1 мм/сезон). Среднегодовое количество осадков составляет 1061.0 мм с умеренной межгодовой изменчивостью (рис. 1). Давление на уровне моря также имеет сезонный ход с максимумом зимой (1017.6 гПа) и минимумом летом (1012.8 гПа), что отражает интенсификацию субтропического антициклона в холодный сезон.

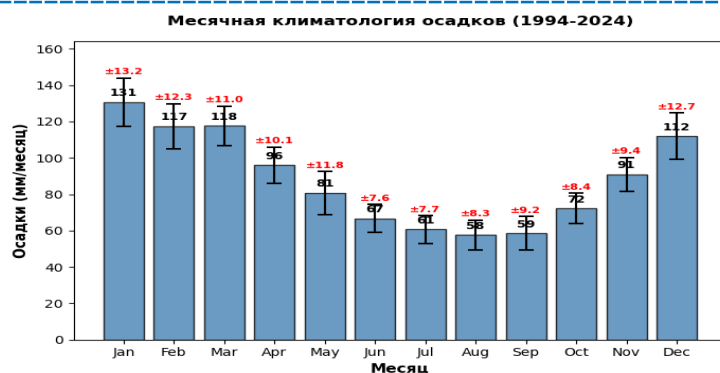


Рис. 1. Климатология и сезонный ход осадков в южной части Индийского океана (составлен автором)

Связи в системе океан–атмосфера. Корреляционный анализ выявил сильную сезонную зависимость в характере связей. Наиболее устойчивой является отрицательная связь между ДУМ и осадками (рис. 2), достигающая максимума весной со средним значением -0.318 и значимостью в 52.0% точек. В восточном тропическом регионе весной зафиксирована экстремально высокая корреляция $r = -0.806$ ($p < 0.001$), что позволяет рассматривать ДУМ как надежный предиктор осадков в этот сезон.

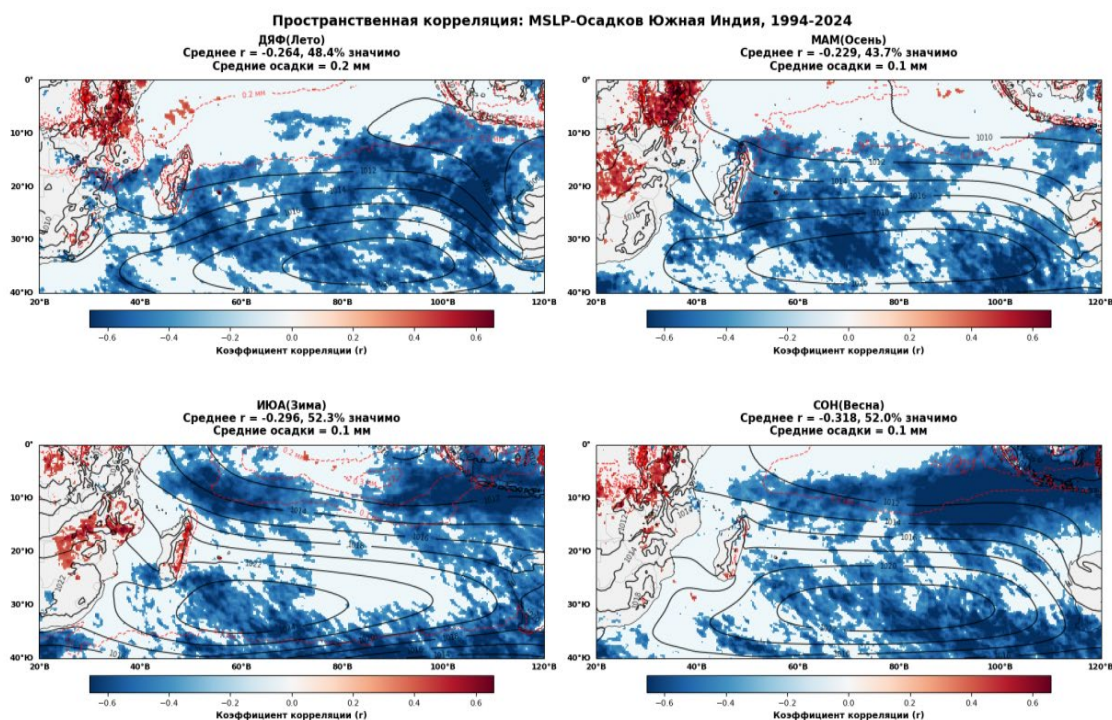


Рис. 2. Пространственные паттерны сезонных корреляций между ДУМ и осадками (составлен автором)

Связь ТПО с осадками (рис. 3) преимущественно положительная, отражающая термодинамическую роль океана в поставке влаги для конвекции. Максимальная средняя корреляция наблюдается зимой ($r = +0.290$) с долей значимых точек 42.1%. Связь ТПО с ДУМ наиболее сильна зимой и весной

(отрицательные значения), указывая на организованный баротропный отклик атмосферы на термические градиенты.

Влияние крупномасштабных мод ENSO оказывает устойчивое положительное влияние на ДУМ во все сезоны, причем наибольшая средняя корреляция отмечена летом ($r = +0.362$). Это свидетельствует о том, что фазы Эль-Ниньо последовательно связаны с повышением давления в южной части Индийского океана через атмосферные телесвязи. Влияние IOD на ДУМ проявляется преимущественно весной, когда корреляции значимы в 46.4% точек.

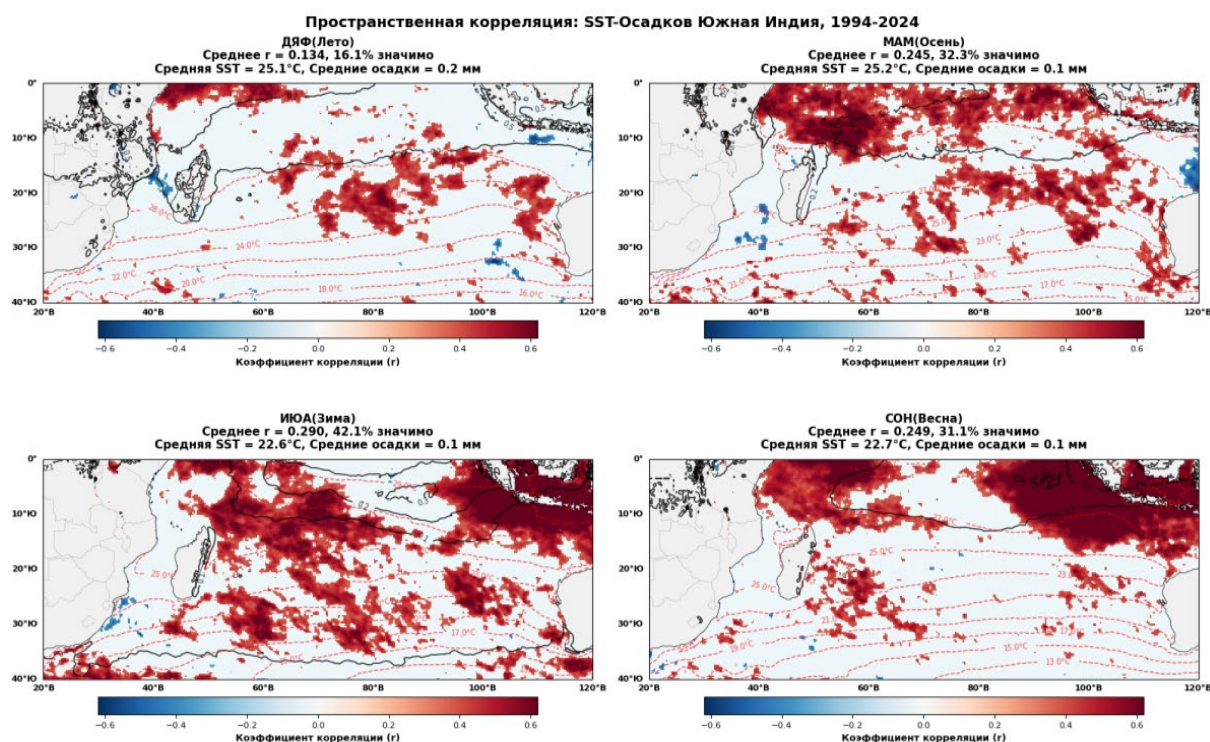


Рис. 3. Пространственные паттерны сезонных корреляций между ТПО и осадками (составлен автором)

В отношении осадков IOD весной формирует классический дипольный паттерн: положительная корреляция на западе (до $r = +0.830$) и отрицательная на востоке (до $r = -0.840$). Это означает, что положительная фаза IOD способствует увеличению осадков в западной части бассейна (вблизи Восточной Африки) и их подавлению в восточной (у побережья Австралии). Влияние ENSO на осадки более однородно, преимущественно отрицательное, что согласуется с его воздействием на барическое поле.

Тропические циклоны. За период исследования зарегистрировано 519 тропических циклонов. Распределение по интенсивности бимодально: 44.7% составили тропические штормы, а 31.1% – интенсивные циклоны (категории 3–5). Анализ трендов (рис. 4) выявил статистически значимое ($p < 0.05$) снижение частоты циклонов на -0.141 системы в год (-25.3% за период) при одновременном значимом росте средней интенсивности ветра на $+0.205$ км/ч в

год (+4.3% за период). Доля интенсивных циклонов значимого тренда не показала.

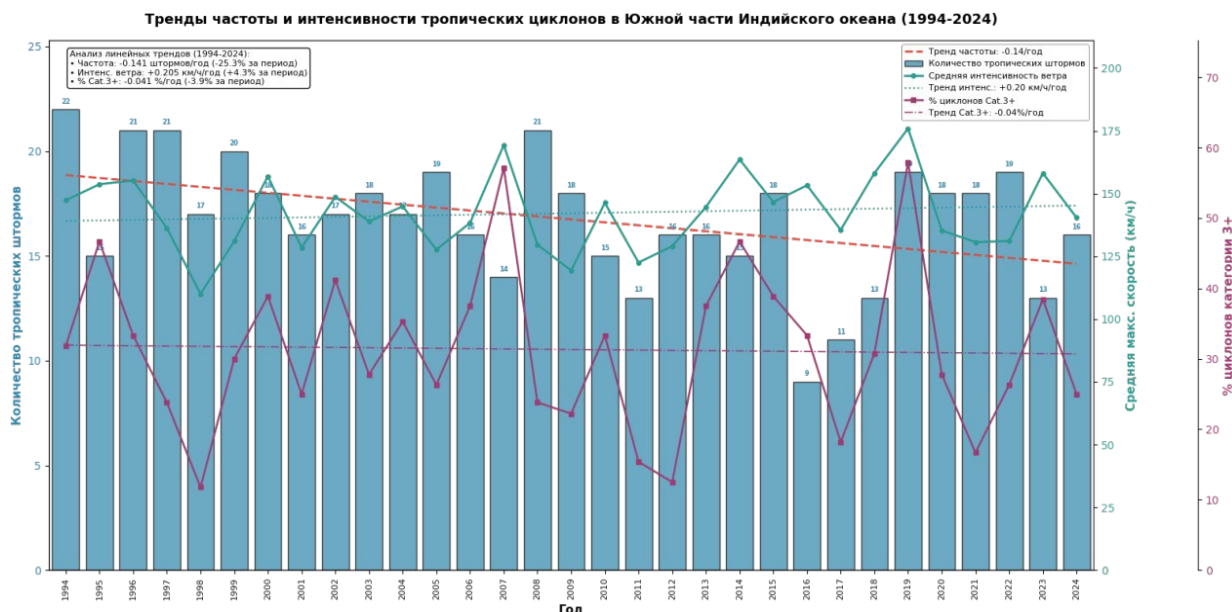


Рис. 4. Тренды частоты и интенсивности тропических циклонов (составлен автором)

Анализ траекторий (рис. 5) показывает, что основные зоны генерации расположены в Мозамбикском проливе и к востоку от Мадагаскара. Наибольшему риску подвержены восточное побережье Мадагаскара, побережье Мозамбика, острова Маврикий и Реюньон.

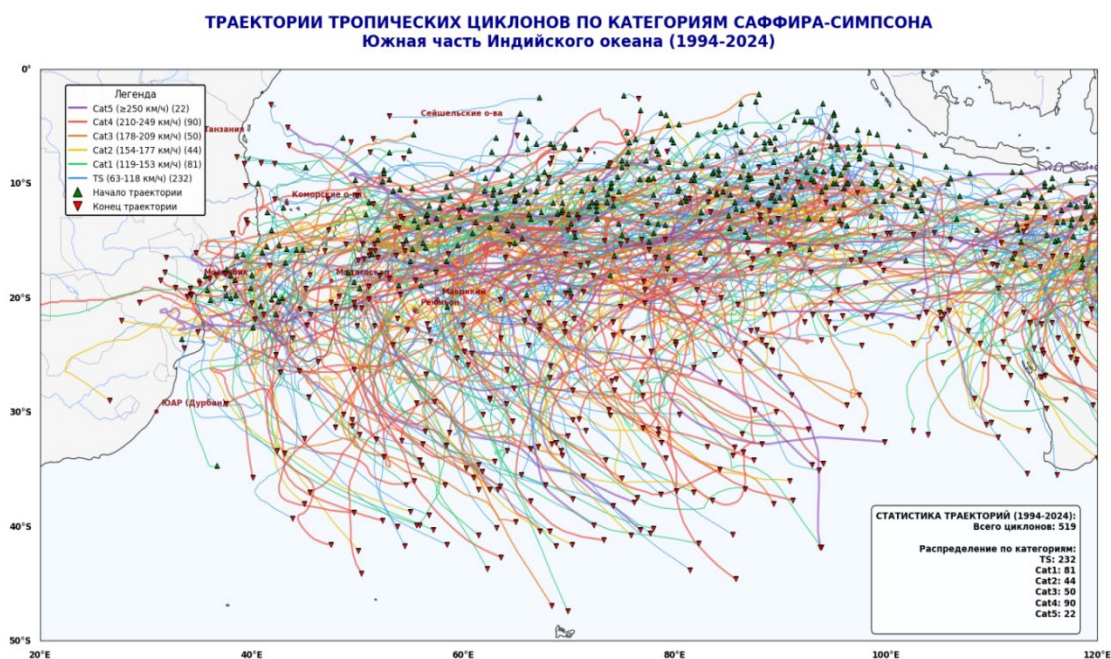


Рис. 5. Траектории тропических циклонов (составлен автором)

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают сложную, сезонно-зависимую структуру связей в системе океан–атмосфера южной части Индийского океана. Выявленная сильная отрицательная корреляция между ДУМ и осадками в восточном тропическом регионе весной ($r = -0.806$) представляет особый интерес для сезонного прогнозирования: давление на уровне моря может служить эффективным предиктором осадков за несколько месяцев.

Различная роль IOD и ENSO согласуется с известными механизмами: ENSO действует как глобальный "атмосферный мост" [Klein et al., 1999], последовательно модулируя барическое поле, тогда как IOD является региональным феноменом с максимальным развитием весной [Saji et al., 1999]. Дипольный паттерн в осадках, индуцируемый IOD, напрямую влияет на климат Восточной Африки: положительная фаза IOD, как правило, приносит обильные осадки в этот регион [Ashok et al., 2003].

Особого внимания заслуживает трансформация режима тропических циклонов. Наблюдаемое снижение частоты при росте интенсивности соответствует теоретическим ожиданиям для нагревающегося океана [Knutson et al., 2010; Emanuel, 2005]: увеличение доступной термодинамической энергии усиливает отдельные системы, в то время как изменения в крупномасштабной циркуляции (сдвиг ветра, динамика атмосферы) могут подавлять общее число образований. Эта тенденция имеет прямые последствия для стран Восточной Африки: даже при меньшем числе циклонов, те, что достигают побережья, будут нести большую разрушительную силу.

Заключение

В результате исследования, охватившего период 1994–2024 гг., установлено следующее:

1. Климатическая система южной части Индийского океана характеризуется устойчивой сезонностью и отсутствием статистически значимых трендов в средних полях осадков и давления, что указывает на ее динамическое равновесие.

2. Основным механизмом влияния на осадки является барическое поле: связь ДУМ – осадки устойчиво отрицательна во все сезоны, достигая максимума весной ($r = -0.806$ в восточном тропическом регионе).

3. Крупномасштабные климатические моды играют дифференцированную роль: ENSO оказывает последовательное влияние на ДУМ во все сезоны, тогда как IOD модулирует осадки преимущественно весной, формируя дипольную структуру, значимую для климата Восточной Африки.

4. Выявлена трансформация режима экстремальных явлений: на фоне стабильности средних характеристик, частота тропических циклонов снизилась на 25.3%, а их средняя интенсивность возросла на 4.3%, что согласуется с глобальными проекциями.

5. Результаты работы могут быть использованы для совершенствования сезонных прогнозов и разработки мер адаптации в прибрежных странах Восточной Африки, уязвимых к воздействию тропических циклонов и изменению режима осадков.

Библиографический список

1. Ashok K., Guan Z., Yamagata T. Influence of the Indian Ocean Dipole on the Australian winter rainfall // *Geophysical Research Letters*. 2003. Vol. 30. № 15. P. 1821.
2. Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5: Daily aggregated reanalysis data. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu> (дата обращения: 18.09.2025).
3. Emanuel K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years // *Nature*. 2005. Vol. 436. № 7051. P. 686–688.
4. Klein S.A., Soden B.J., Lau N.C. Remote sea surface temperature variations during ENSO: Evidence for a tropical atmospheric bridge // *Journal of Climate*. 1999. Vol. 12. № 4. P. 917–932.
5. Knapp K.R., Kruk M. C., Levinson D.H., Diamond H. J., Neumann C. J. The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS): Unifying tropical cyclone best track data // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2010. Vol. 91. № 3. P. 363–376.
6. Knutson T.R., McBride J.L., Chan J., Emanuel K., Holland G., Landsea C., Held I., Kossin J.P., Srivastava A. K., Sugi M. Tropical cyclones and climate change // *Nature Geoscience*. 2010. Vol. 3. № 3. P. 157–163.
7. NOAA Climate Prediction Center (CPC). Oceanic Niño Index (ONI) monthly time series. URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt> (дата обращения: 12.04.2025).
8. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI). International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS), version v04r01. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/international-best-track-archive> (дата обращения: 18.12.2025).
9. NOAA Physical Sciences Laboratory (PSL). Monthly Dipole Mode Index (DMI) time series. URL: <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DMI/> (дата обращения: 12.04.2025).
10. Saji N. H., Goswami B. N., Vinayachandran P. N., Yamagata T. A dipole mode in the tropical Indian Ocean // *Nature*. 1999. Vol. 401. № 6751. P. 360–363.

© Нарети Пассмо Пита, 2026

¹Е.И. Ормели, ²В.И. Ерова¹канд. геогр. наук, доцент, ²студентка 3 курсаСаратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов**ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА АТМОСФЕРНЫХ
ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Аннотация. В статье представлены результаты оценки современного режима атмосферных осадков на территории Саратовской области за период 1991-2020 гг. Годовое количество осадков уменьшается с северо-запада региона на юго-восток. Установлено, что правобережные районы рассматриваемой территории (Хвалынский, Балашов, Базарный Карабулак, Саратов, Аткарск) получают на 30% осадков больше, чем левобережные районы (Пугачев, Ершов, Новоузенск, Александров Гай). Выявлена тенденция сокращения годовой суммы атмосферных осадков на севере области и в Заволжье (левобережье) на 20-70 мм, и значительный рост осадков на западе и северо-западе региона на 70 мм.

Ключевые слова. Атмосферные осадки, годовая сумма осадков, осадки теплого и холодного периода, многолетняя изменчивость, региональные особенности.

Изучение современных тенденций пространственного распределения атмосферных осадков и их режима в Саратовской области представляет научный и практический интерес, так как позволяет оценить последствия климатических изменений и разработать необходимые меры адаптации. В XXI столетии наблюдается ярко-выраженная сезонность осадков и увеличение повторяемости экстремальных погодных явлений (засухи, ливни), что требует детального анализа [Шестой ..., 2026].

Физико-географические особенности Саратовского региона, включая рельеф, степные ландшафты и близость к реке Волге, создают специфические условия для формирования атмосферных осадков. Анализ многолетних данных помогает выявить основные тенденции и аномалии, связанные как с естественной изменчивостью климата, так и с антропогенными факторами.

Целью данной работы является мониторинг атмосферных осадков на территории Саратовской области в условиях современного изменения климата. Основная задача – выявить пространственно-временные изменения режима осадков в теплый и холодный периоды.

Исследования проводились по девяти метеорологическим станциям, которые репрезентативно охватывают разные природно-климатических зоны Саратовской области: Хвалынский, Балашов, Базарный Карабулак, Саратов, Аткарск, Пугачев, Ершов, Новоузенск, Александров Гай (рис. 1). Информационной базой для проведения расчетов послужили среднемесячные метеорологические данные за период с 1991 по 2020 гг., взятые с официального сервера «Погода и климат» [Погода ..., 2026].

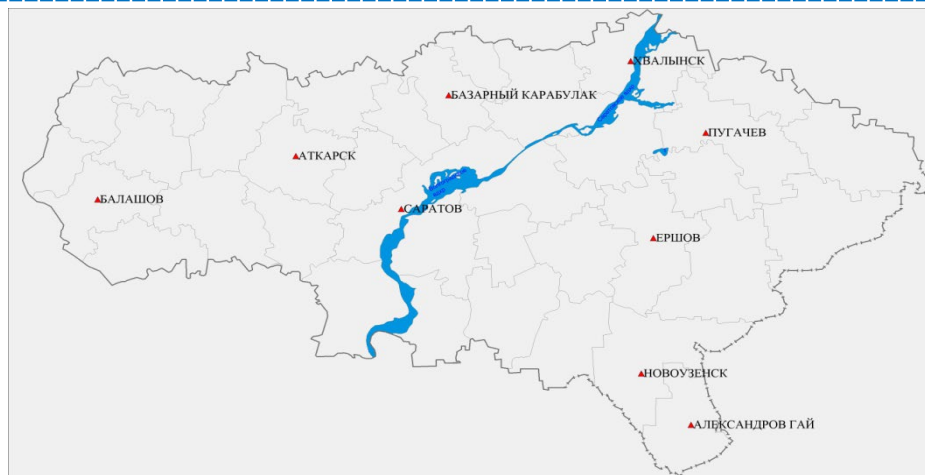


Рис. 1. Схема расположения рассматриваемых метеорологических станций (м/с) на территории Саратовской области

В основу научного подхода в данной работе положены принятые рекомендации и руководства Всемирной метеорологической организации (ВМО), направленные на мониторинг тенденций во временных рядах. Анализ изменений количества атмосферных осадков проводился с помощью математической статистики.

Регион характеризуется разнообразными климатическими условиями, обусловленными взаимодействием континентального и умеренного климата, что делает его особенно чувствительным к изменениям в распределении, интенсивности и частоте выпадения осадков.

В табл. 1 представлены географические координаты выбранных метеостанций, их абсолютные высоты и природно-климатические зоны [Макаров и др., 2020]. Из табл. 1 видно, что территория региона характеризуется общим понижением рельефа с севера-запада на юго-восток, имея наивысшие абсолютные высоты до 243 м в Хвалынском районе, низкие высоты – до 23 м в Александрово-Гайском районе. Уникальность региона состоит в разнообразии природно-климатических зон, находящихся в пределах Саратовской области: северо-западная часть правобережья находится в *лесостепной зоне*, центральная, западная, южная часть правобережных районов и север левобережных находятся в *засушливой степи*, центральная часть левобережья – в *сухой степи*, юго-восточная часть левобережья – в *полупустыне* [Макаров и др., 2024].

На территории Саратовской области увлажнение уменьшается с запада на восток и с севера на юг. В табл. 2 представлены средние многолетние суммы осадков по месяцам и их годовые значения. Правобережные районы получают на 100-200 мм осадков больше, чем левобережные, что связано с влиянием влажных атлантических воздушных масс и рельефом. Наибольшее количество осадков выпадает на западе региона в Балашове 526 мм и в северной части – в Хвалынске 513 мм. Наименьшее количество осадков зафиксировано в юго-восточных районах области (Новоузенск, Александров Гай), где годовые суммы

не превышают 320 мм, что отражает полупустынные условия данной территории.

Таблица 1

Географические координаты метеорологических станций (м/с)
Саратовской области

М/с	Координаты		Высота, (м)	Природно-климатическая зона
	широта	долгота		
Правобережье				
Хвалынский	52° 33′	47° 14′	243	лесостепь
Балашов	51° 33′	43° 10′	200	засушливая степь
Базарный Карабулак	51° 57′	45° 70′	50	засушливая степь
Саратов	51° 32′	46° 00′	120	засушливая степь
Аткарск	51° 87′	45° 01′	210	засушливая степь
Левобережье (Заволжье)				
Пугачев	52° 02′	48° 80′	45	засушливая степь
Ершов	51° 20′	48° 17′	104	сухая степь
Новоузенск	50° 46′	48° 14′	25	полупустыня
Александров Гай	50° 09′	48° 33′	23	полупустыня

Таблица 2

Месячные и годовые суммы атмосферных осадков за период 1991–2020 гг.
по метеостанциям (м/с) Саратовской области

М/с	Месяц												Сумма за год, мм
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Правобережье													
Хвалынский	51	41	40	38	37	44	48	42	47	40	42	43	513
Балашов	46	35	36	31	43	61	58	38	48	43	42	46	526
Базарный Карабулак	40	30	30	37	43	48	55	52	44	46	45	31	506
Саратов	43	35	33	31	37	48	46	31	50	37	41	41	470
Аткарск	36	27	30	28	44	48	63	46	41	42	38	31	473
Левобережье (Заволжье)													
Пугачев	36	28	28	28	32	44	47	35	36	34	30	35	413,0
Ершов	28	23	29	31	33	41	35	29	41	36	30	30	383
Новоузенск	27	20	25	28	25	33	27	22	31	34	23	29	317
Ал. Гай	29	23	27	27	27	33	25	22	25	32	22	29	315

Из рис. 2 видно, что в годовом разрезе осадки теплого периода (с апреля по октябрь) в среднем многолетнем превышают суммы осадков холодного периода (с ноября по март) в правобережье на 116 мм, в левобережье на 85 мм.

В теплое полугодие максимум осадков в большинстве рассматриваемых районов правобережья отмечается в июле: в Хвалынске 48 мм, в Базарном Карабулаке 55 мм, в Аткарске 63 мм; и в июне: в Балашове 61 мм, в Саратове 48 мм. На территории левобережья максимальное количество осадков чаще всего приходится на июнь: в Ершове 41 мм, в Новоузенске 33 мм, в

Александровом Гае 33 мм; в июле максимум осадков составляет 47 мм в Пугачеве.

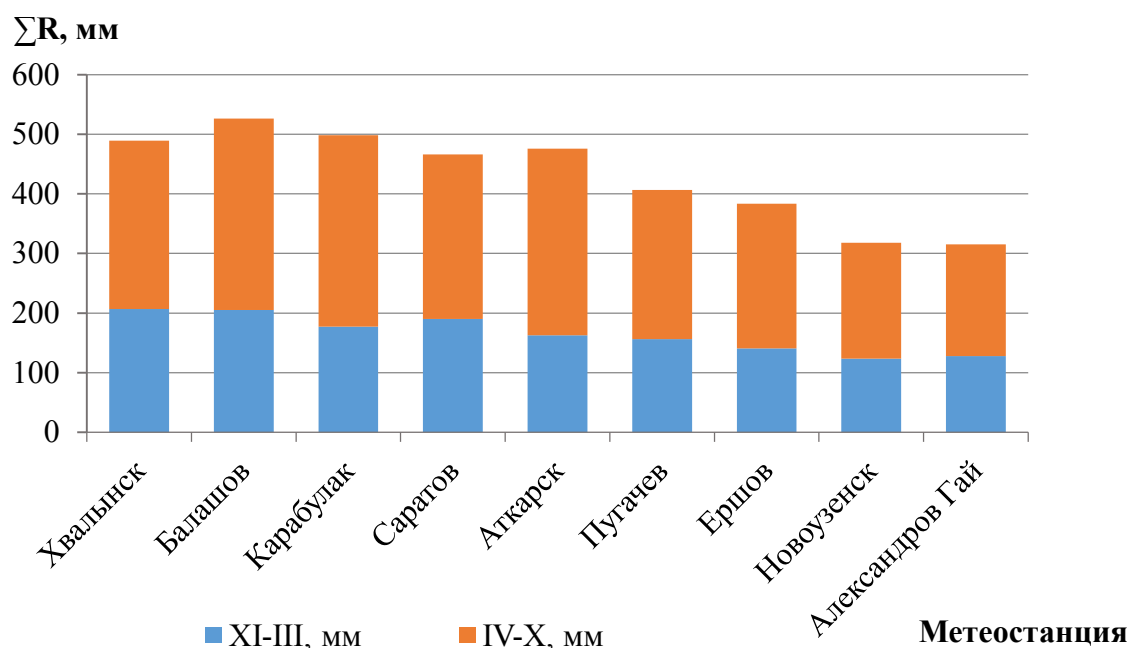


Рис. 2. Средние многолетние годовые суммы атмосферных осадков за период 1991–2020 гг. по метеостанциям (м/с) Саратовской области (составлен авторами)

На рис. 3 представлены средние многолетние суммы осадков отдельно по десятилетиям (1991–2000, 2001–2010, 2011–2020 гг.). В левобережных районах и на севере правобережья (Хвалы́нск) прослеживается тенденция уменьшения осадков последнего десятилетия на 20–30 мм, значительное сокращение на 70 мм отмечается в Новоу́зенске.

В правобережье рост осадков наблюдается в Бала́шове на 10 мм, в Сара́тове на 40 мм. В Базарном Карабу́лаке и Атка́рске прослеживается существенный рост осадков в сравнении с предыдущим десятилетием, соответственно на 100 мм и 53 мм.

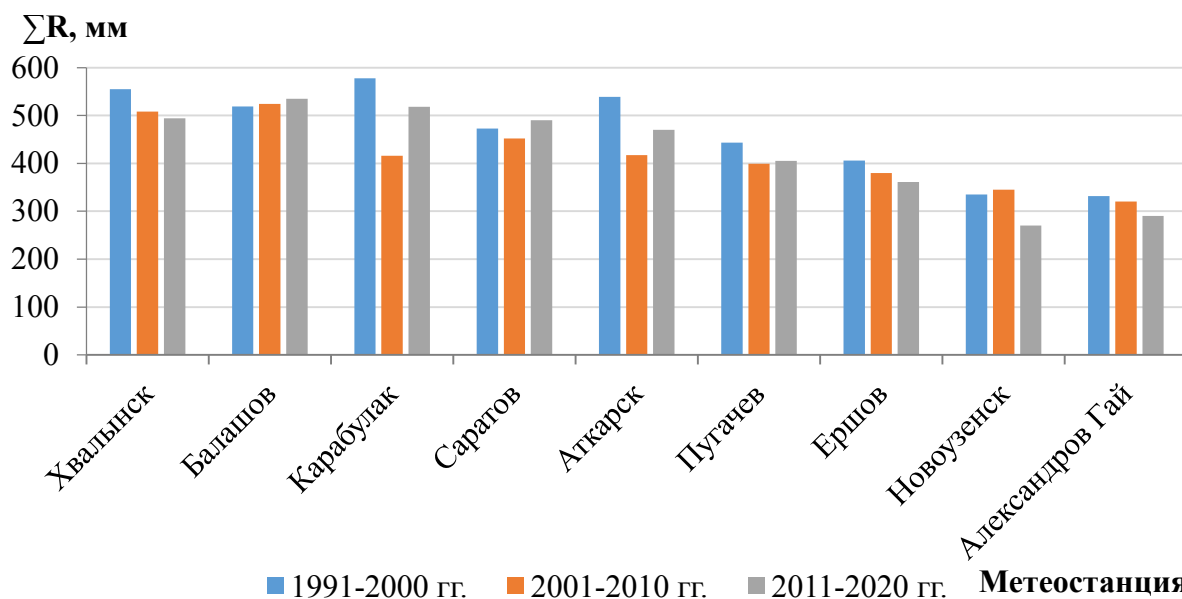


Рис. 3. Средние многолетние годовые суммы атмосферных осадков по десятилетиям (1991–2000, 2001–2010, 2011–2020 гг.) по метеостанциям (мм/год) Саратовской области (составлен авторами)

Выводы. За период 1991–2020 гг. отмечалось увеличение годового количества атмосферных осадков на западе, северо-западе и в центральной части региона на 5 мм/10 лет. Установлено, что больший вклад в данный рост вносит увеличение осадков в холодное полугодие. Север области и районы Заволжья характеризуются тенденцией к уменьшению годового количества атмосферных осадков на 3 мм/10 лет за счет значительного их сокращения в теплый период.

Библиографический список

1. Макаров В.З., Пичугина Н.В., Чумаченко А.Н., Молочко А.В., Гусев В.А., Затонский В.А., Волков Ю.В., Данилов В.А., Хворостухин Д.П., Муравьева М.Э., Проказов М.Ю., Пятницына Т.В., Федоров А.В. Ландшафтное районирование муниципальных районов Саратовской области: учебное пособие. Саратов: Изд-во «Техно-Декор»; ИП Кирсанова М. В., 2020. 60 с.
2. Макаров В.З., Чумаченко А.Н., Червяков М.Ю., Морозова С.В., Гусев В.А., Пичугина Н.В., Данилов В.А., Федоров А.В., Прякина С.И., Шлапак П.А. Ормели Е.И., Проказов М.Ю., Неврюев А.М., Нейштадт Я.А. Глобальное потепление и его влияние на климат, ландшафты и хозяйство Саратовской области: монография / под ред. В.З. Макарова. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2024. 172 с.
3. Погода и климат. Архив погоды в Саратовской области, Россия [Сайт]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Шестой оценочный доклад МГЭИК. Изменение климата 2022: последствия, адаптация и уязвимость [Сайт]. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата обращения: 20.02.2026).

© Ормели Е.И., Ерова В.И., 2026

Р.Р. Сайфуллин

студент 2 курса

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **В.В. Гурьянов**

канд. геогр. наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ВЛИЯНИЕ КВАЗИДВУХЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ НА СТРАТОСФЕРУ АРКТИКИ

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию влияния вертикальной структуры квазидвухлетних колебаний (КДК) на динамику стратосферного полярного вихря (СПВ) Арктики в зимний период. На основе анализа данных реанализа ERA5 показано, что классический эффект Холтона-Тана критически зависит от глубины фазы КДК в нижней и средней стратосфере. В данной работе предлагается новый методический подход к оценке вертикальной протяженности фаз КДК на основе расчета интегральной кинетической энергии в слое 70–30 гПа. Установлено, что значимый отклик полярного вихря и аномалии температуры в Арктике формируются только при глубоких событиях, когда вертикальная когерентность экваториальных ветров обеспечивает эффективную модуляцию волнового потока и остаточной циркуляции. При мелких событиях аномалии волновой активности остаются слабыми, что приводит к отсутствию статистически значимой связи между КДК и СПВ. Результаты работы позволяют объяснить причины нестационарности связи КДК-Арктика и подчеркивают необходимость учета вертикального профиля ветра для улучшения качества сезонных прогнозов.

Ключевые слова. Квазидвухлетние колебания, стратосферный полярный вихрь, эффект Холтона-Тана, Арктическая стратосфера, глубокие и мелкие фазы КДК.

Квазидвухлетнее колебание (КДК) представляет собой наиболее предсказуемый режим крупномасштабной атмосферной изменчивости, не связанный со сменой сезонов. Это явление характеризуется регулярной сменой западных и восточных ветров в экваториальной стратосфере, которые опускаются из верхней стратосферы к тропопаузе со средним периодом около 28 месяцев. Несмотря на свою тропическую природу, КДК оказывает существенное влияние на глобальную циркуляцию через механизмы дальних связей (teleconnection), модулируя озонный транспорт, осцилляцию Маддена-Джулиана и состояние внетропической атмосферы в зимний период [Anstey и др., 2022].

Одним из наиболее изученных проявлений этого влияния является эффект Холтона-Тана, описывающий связь между фазой КДК и интенсивностью арктического стратосферного полярного вихря (СПВ). Классическая гипотеза предполагает, что при восточной фазе КДК в нижней стратосфере (около 50 гПа) планетарные волны Россби сильнее отклоняются к полюсу, что приводит к ослаблению вихря и увеличению частоты внезапных

стратосферных потеплений (ВСП). Напротив, западная фаза КДК способствует усилению и охлаждению вихря [Lu, 2008].

Несмотря на фундаментальную значимость эффекта Холтона-Тана, его статистическая устойчивость подвергается сомнению из-за наблюдаемой нестационарности на десятилетних масштабах. Исследования данных реанализа показывают, что в определенные периоды (например, с конца 1970-х по конец 1990-х гг.) корреляция между экваториальными ветрами и состоянием Арктики существенно ослабевала или даже меняла знак [Lu, 2008]. Кроме того, многие современные климатические модели все еще не способны воспроизвести наблюдаемую силу этой связи [Elsbury, 2024].

Одной из центральных проблем в диагностике этого взаимодействия является использование одноуровневых индексов КДК (например, только на 50 гПа или 30 гПа). Такой подход игнорирует сложность вертикальной структуры КДК, в то время как динамический отклик атмосферы может критически зависеть от вертикальной протяженности («глубины») ветрового режима [Gray, 2018; Zhang, 2025].

Существующие подходы к оценке глубины КДК, например, [Zhang, 2025] опираются на дискретные значения направления ветра на конкретных изобарических поверхностях. Однако такой подход не учитывает массу вовлеченного воздуха и фактическую интенсивность движения во всем слое. В связи с этим, данное исследование предлагает использовать интегральную кинетическую энергию стратосферного слоя как более фундаментальную физическую характеристику для оценки влияния фаз КДК.

Методология данного исследования базируется на анализе среднемесячных данных зонального ветра реанализа ERA5 на изобарических уровнях за период с 1955 г. по 2025 г. Для классификации вертикальной структуры КДК был разработан энергетический метод. Полная кинетическая энергия (E_{kin}) в атмосферном столбе с площадью основания 1 м^2 рассчитывалась для слоя от $p_1 = 70 \text{ гПа}$ до $p_2 = 30 \text{ гПа}$ путем интегрирования:

$$E_{kin} = \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{2g} (u^2) dp \quad (1)$$

где u – компонент ветра, g – ускорение свободного падения.

Для разделения событий на «глубокие» (Deep) и «мелкие» (Shallow) анализировалось распределение полученных значений энергии. Эмпирическим путем был установлен оптимальный порог фильтрации: годы, в которых интегральная энергия превышала значение $\bar{E} + 0,8\sigma$ (где $\bar{E}$ – среднее значение энергии, σ – стандартное отклонение), классифицировались как глубокие события. Значения ниже $\bar{E} - 0,8\sigma$ относились к мелким событиям. Оценка динамического отклика арктического полярного вихря проводилась методом построения композитов для каждой выделенной категории. Статистическая значимость полученных результатов и композитных разностей подтверждалась с помощью непараметрического метода Монте-Карло (путем случайных

перестановок), что обеспечило надежность выводов в условиях автокорреляции атмосферных данных.

Структура зонального ветра в атмосфере довольно изменчива, в работе Глобальной метеорологической обсерватории NASA на карте зональных ветров MERRA-2 [TheQuasi-biennial ..., 2025] можно увидеть, как в зависимости от уровня знак может меняться с положительного на отрицательный и наоборот. Так наиболее популярным уровнем для определения фазы КДК является уровень 50 гПа, который использовался еще в классических работах Холтона и Тана, он считается стандартным для анализа связи КДК с Арктическим полярным вихрем [Holton, Tan, 1980]. Уровень 30 гПа часто используется в теоретических моделях, а также в реальных данных, на этом уровне КДК имеет большую амплитуду, чем в нижней стратосфере (Хайруллина, Астафьева Н.М., 2011). Уровень 70 гПа используют для изучения прямого влияния КДК на тропическую конвекцию, осадки и взаимодействие с тропопаузой [Anstey, 2022]. Также в научной литературе используют уровни 40–45 гПа, 20 гПа и так далее.

Выбор уровня часто происходит методом проб и ошибок, чтобы максимизировать корреляцию в конкретном исследовании, поэтому классический метод определения фазы КДК по одноуровневому индексу постепенно теряет свою актуальность, поскольку использование только одного уровня может привести к потере важной динамической информации о вертикальной структуре ветра.

Применение предложенного энергетического метода позволило выделить годы с аномально высокой кинетической энергией в слое 70–30 гПа (Deer QBO). Сравнение с результатами классификации [Zhang et al.] показало высокую степень совпадения выделенных периодов, однако энергетический критерий имеет более строгий физический смысл, исключающий ошибки при локальных инверсиях ветра на границах слоя. Гипотеза данного исследования заключается в том, что значимый эффект Холтона-Тана формируется преимущественно во время глубоких событий КДК, обеспечивающих эффективную модуляцию волновода для планетарных волн. При мелких фазах вертикальная когерентность нарушается, что ведет к ослаблению сигнала в высоких широтах и может объяснять зафиксированные периоды «исчезновения» связи между КДК и арктическим вихрем.

На рис. 1 в тропической стратосфере наблюдаются два ярко выраженных центра максимальных отличий, отражающих цельную вертикальную структуру КДК: положительная аномалия в нижней стратосфере (в слое 100–20 гПа) и отрицательная в средней стратосфере (выше 20 гПа). В стратосфере высоких широт при глубоких событиях отмечается обширная положительная аномалия с максимальными значениями разности более +10 м/с. Области наибольших отличий покрыты точками, что подтверждает их статистическую значимость ($p < 0,05$).

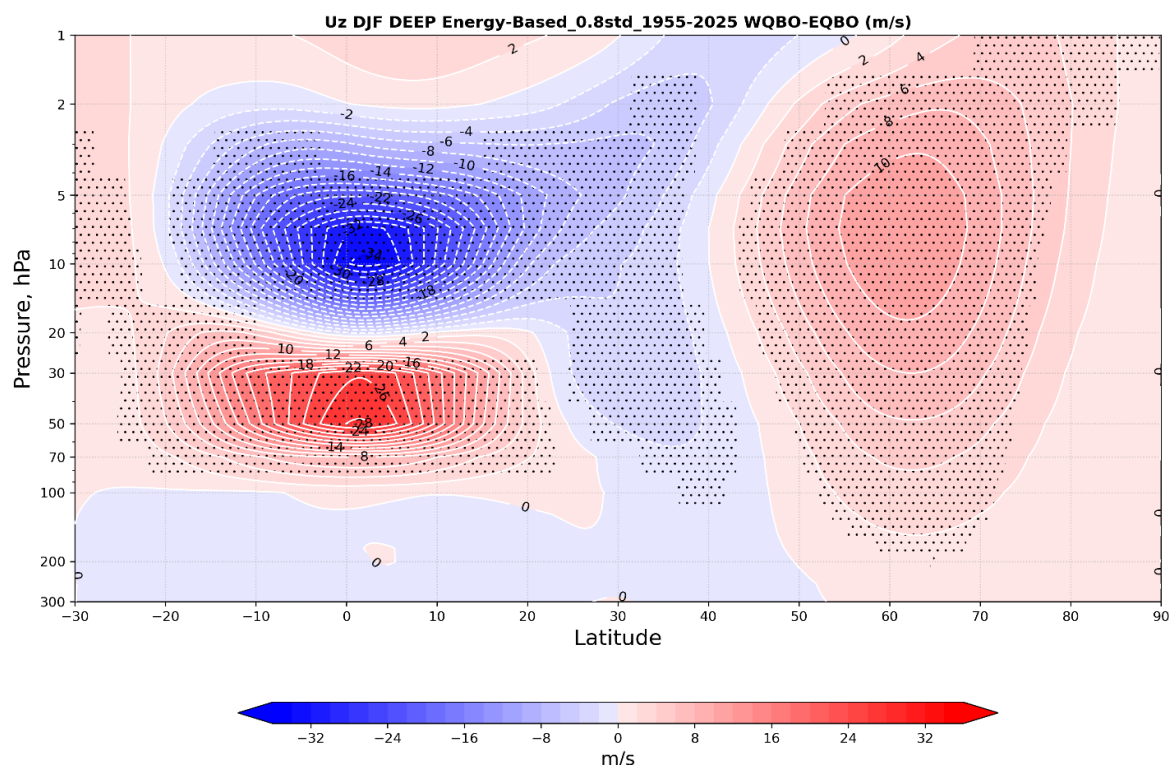


Рис. 1. Композитная разность зонального ветра (WQBO – EQBO) для зимы (DJF) в годы «глубокой» фазы КДК (Deer QBO) по данным ERA5. Точками (штриховкой) выделены области, где разность статистически значима на уровне доверия 95% по результатам теста Монте-Карло

В то же время при анализе «мелких» событий (рис. 2) вертикальная структура в тропиках в слое 70–10 гПа имеет положительную разность, далее сменяется отрицательной выше 10 гПа. В стратосфере высоких широт при мелких событиях композитная разность WQBO-EQBO является отрицательной, достигая лишь -4 м/с.

Физический механизм наблюдаемых различий на композитах (рис. 1, рис. 2) заключается в том, что при глубоких событиях КДК создаются благоприятные условия для модуляции планетарных волн. При мелких событиях (Shallow QBO) аномалии волновой активности остаются слабыми, что ведет к отсутствию статистически значимой связи между экваториальной стратосферой и полярным вихрем.

Следовательно, при Deer QBO наблюдается наиболее устойчивый и статистически значимый отклик полярного вихря, соответствующий классическому эффекту Холтона-Тана. В то же время при Shallow QBO динамический сигнал на картах композитов оказывается размыт, а связь с СПВ менее значимой [Zhang et al., 2025].

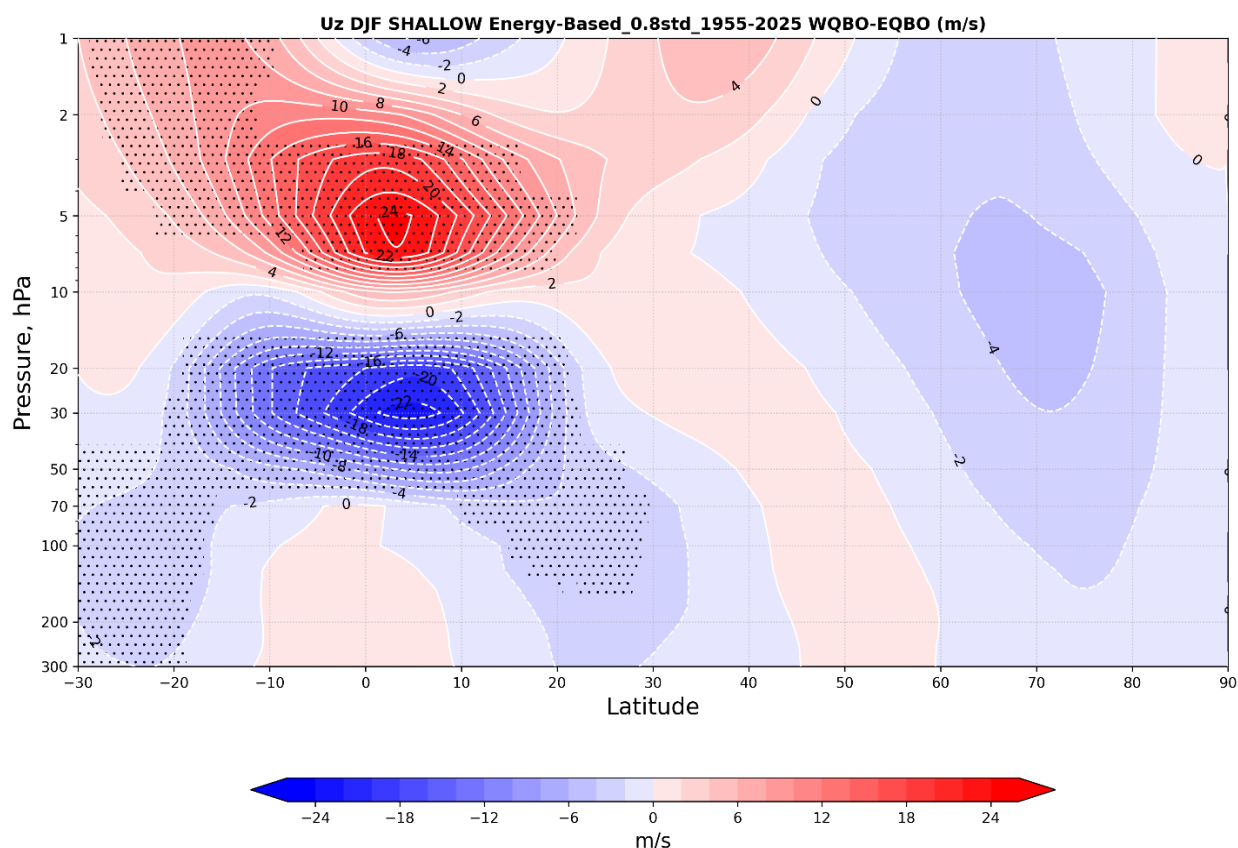


Рис. 2. Композитная разность зонального ветра (WQBO – EQBO) для зимы (DJF) в годы «мелкой» фазы КДК (Shallow QBO) по данным ERA5. Точками (штриховкой) выделены области, где разность статистически значима на уровне доверия 95% результатам теста Монте-Карло

В данной работе на основе среднемесячных данных зонального ветра реанализа ERA5 за период 1955-2025 гг. исследована роль вертикальной структуры квазидвухлетних колебаний в формировании динамического отклика стратосферного полярного вихря Арктики.

Основные выводы исследования заключаются в следующем:

1. Установлено, что эффект Холтона-Тана критически зависит от запаса кинетической энергии в экваториальной стратосфере. Значимая модуляция полярного вихря происходит преимущественно в периоды «глубоких» событий, выделенных с помощью предложенного интегрального энергетического метода.

2. При «мелких» событиях (низкая интегральная энергия слоя) вертикальная когерентность волновода нарушается. Это приводит к ослаблению аномалий волновой активности и отсутствию устойчивого отклика в высоких широтах

3. Показано, что использование интегральной энергии слоя 70-30 гПа является более надежным и физически обоснованным предиктором состояния арктического полярного вихря, чем классические индексы, основанные на точечных одноуровневых значениях направления ветра. Это позволяет более точно выделять годы экстремальных возмущений СПВ.

Полученные результаты подчеркивают необходимость учета вертикального профиля ветра в тропической стратосфере для повышения надежности сезонных метеорологических прогнозов и лучшего понимания механизмов взаимодействия тропиков и высоких широт.

Исследование проведено при поддержке гранта РФФ № 25–47–00122.

Библиографический список

1. Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования // Москва: Институт космических исследований, 2011. – 60 с.
2. Anstey J.A. et al. Impacts, processes and projections of the quasi-biennial oscillation // Nature Reviews Earth & Environment. Т. 3. №. 9. 2022. С. 588-603.
3. Elsbury D. et al. Sensitivity of easterly QBO's boreal winter teleconnections and surface impacts to SSWs // Journal of Climate. 2024. Т. 37. № 14. С. 3675-3688.
4. Gray L.J. et al. Surface impacts of the quasi biennial oscillation // Atmospheric Chemistry and Physics. Т. 18. №. 11. 2018. – С. 8227-8247.
5. Holton J.R., Tan H.C. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb // Journal of Atmospheric Sciences. Т. 37. №. 10. 1980. С. 2200-2208.
6. Lu H. et al. Decadal-scale changes in the effect of the QBO on the northern stratospheric polar vortex // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. Т. 113. 2008. №. D10.
7. The Quasi-biennial Oscillation (QBO) [Сайт]. URL: https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/#uwind (дата обращения: 25.11.2025 г.).
8. Zhang R. et al. Vertical structure of the quasi-biennial oscillation influences the strength of the Holton–Tan effect // Climate Dynamics. Т. 63. №. 9. 2025. – С. 359.

© Сайфуллин Р.Р., 2026

Ю.Ф. Салеева

магистрант 1 года обучения

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **А.А. Николаев**

канд. геогр. наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАЖНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Аннотация. В работе проанализированы годовой ход относительной влажности и парциального давления водяного пара, а также межгодовые изменения характеристик влажности на территории Забайкальского края.

Ключевые слова. Относительная влажность, парциальное давление водяного пара, Забайкальский край, годовой ход, линейный тренд.

На качество воздушной среды влияют множество параметров, важнейшим из которых является влажность воздуха. Влажность – это показатель содержания водяных паров в атмосфере. Водяной пар является очень важной составной частью атмосферы, так как с его наличием связаны такие явления погоды, как облака, осадки, туманы и др. Конденсация водяного пара приводит к образованию облаков и последующему выпадению осадков, что, приводит к выравниванию климатических условий в удаленных друг от друга территориях. От влажности воздуха также зависит комфортность условий, которые напрямую влияют на деятельность человека. Следовательно, влажность воздуха влияет на погоду, здоровье человека, и работу технических объектов [Дементьева, Мухина, 2021; Новгородов и др., 2023].

Характеристики влажности оказывают воздействие на такую отрасль, как сельское хозяйство, в частности на урожайность различных сельскохозяйственных культур. Увеличение аридности подтверждается отрицательными трендами урожайности зерновых культур в Иркутской и Читинской областях (ныне Забайкальский край), а также в Республике Бурятия. Основное направление адаптации сельского хозяйства к наблюдаемым изменениям климата – использование дополнительных тепловых ресурсов и внедрение влагосберегающих технологий. Кроме того, адаптация может быть направлена на развитие сельского хозяйства более северных районов с достаточным увлажнением [Оценочный доклад..., 2008; Сиротенко и др., 2006].

Исследование режима характеристик влажности Забайкальского края играет важную роль в изучении современных трендов изменения влажностного режима, а также в дальнейшем применении полученных результатов и выявленных закономерностей в прикладном назначении.

В качестве исходного материала использовались среднемесячные данные относительной влажности и парциального давления водяного пара из официального сайта ВНИИГМИ-МЦД [ГУ «Всероссийский..., 2025] за период с 1985 по 2021 годы на 11 станциях Забайкальского края (Чара, Красный Чикой, Чита, Хилок, Борзя, Нерчинский завод, Сретенск, Усть-Каренга, Агинское, Кыра и Мангут).

Годовой ход относительной влажности на всех рассматриваемых станциях Забайкальского края имеет схожий характер распределения (рис. 1). На примере станций Красный Чикой, Кыра и Мангут можно выделить 2 максимума и 2 минимума. В годовом ходе происходит понижение влажности к весенним месяцам, и минимальные значения наблюдаются в мае (до 42,9% на ст. Мангут). Объясняется данный характер распределения тем, что апрель-май в Забайкальском крае является самым засушливым периодом за счет увеличения радиационного баланса и возрастания испарения. К летним месяцам в связи с увеличением осадков условия увлажнения улучшаются, и проявляется повышение относительной влажности воздуха. Максимум относительной влажности на станциях отмечается в июле–августе. Среднемесячная относительная влажность в данные месяцы составляет 70–77%. К осени прослеживается небольшое понижение влажности воздуха, и второму минимуму соответствует октябрь (58,3–70,3%). В зимние месяцы наблюдается повышение влажности воздуха. Именно тогда отмечается второй максимум в годовом ходе, который приходится на декабрь-январь в связи с тем, что в данные месяцы отмечаются минимум в ходе температуры воздуха.

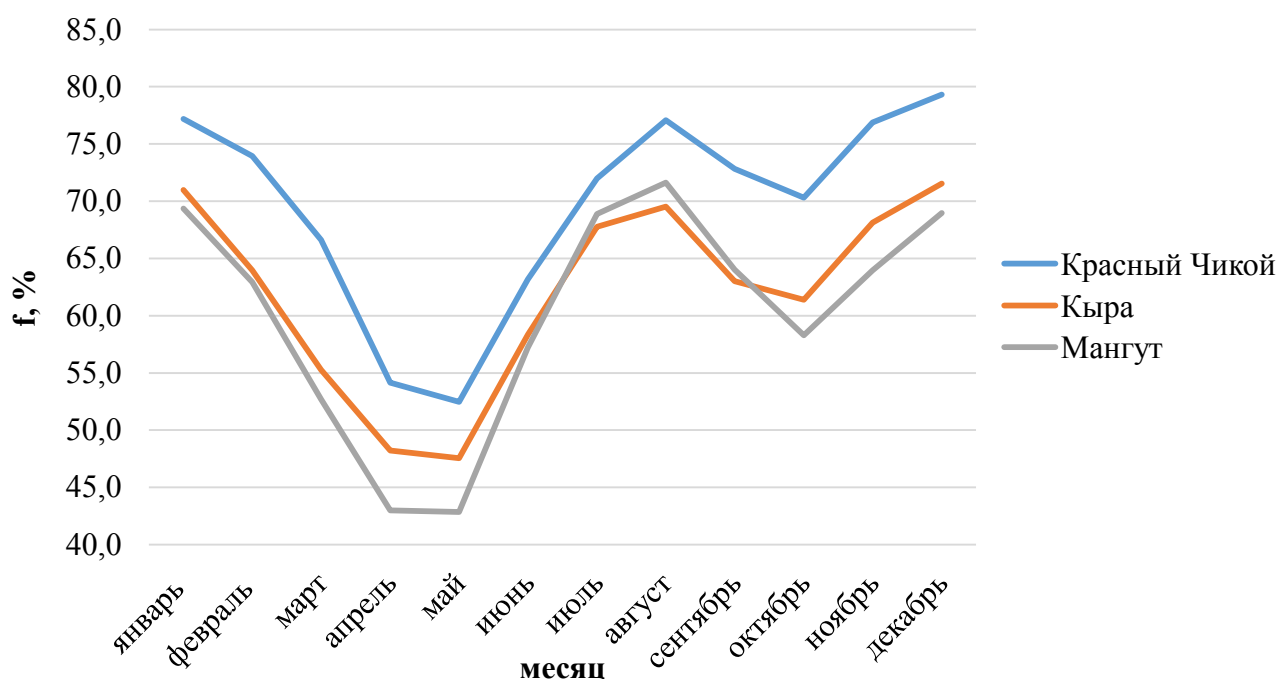


Рис. 1. Годовой ход средних значений относительной влажности воздуха (составлен автором)

В годовом ходе парциального давления на ст. Борзя, Агинское и Чита можно пронаблюдать повышение значений к летним месяцам за счет увеличения температуры воздуха и испарения водяного пара (рис. 2). Следовательно, максимальное значение наблюдаются в июне-июле. После достижения максимума далее происходит понижение парциального давления к осени и зиме, что также связано с годовым ходом температуры воздуха. Минимальные значения параметра можно пронаблюдать в ноябре-декабре. Также общий годовой ход парциального давления имеет обратный ход относительной влажности. Следовательно, при увеличении относительной влажности происходит уменьшение показателей парциального давления водяного пара, и наоборот.

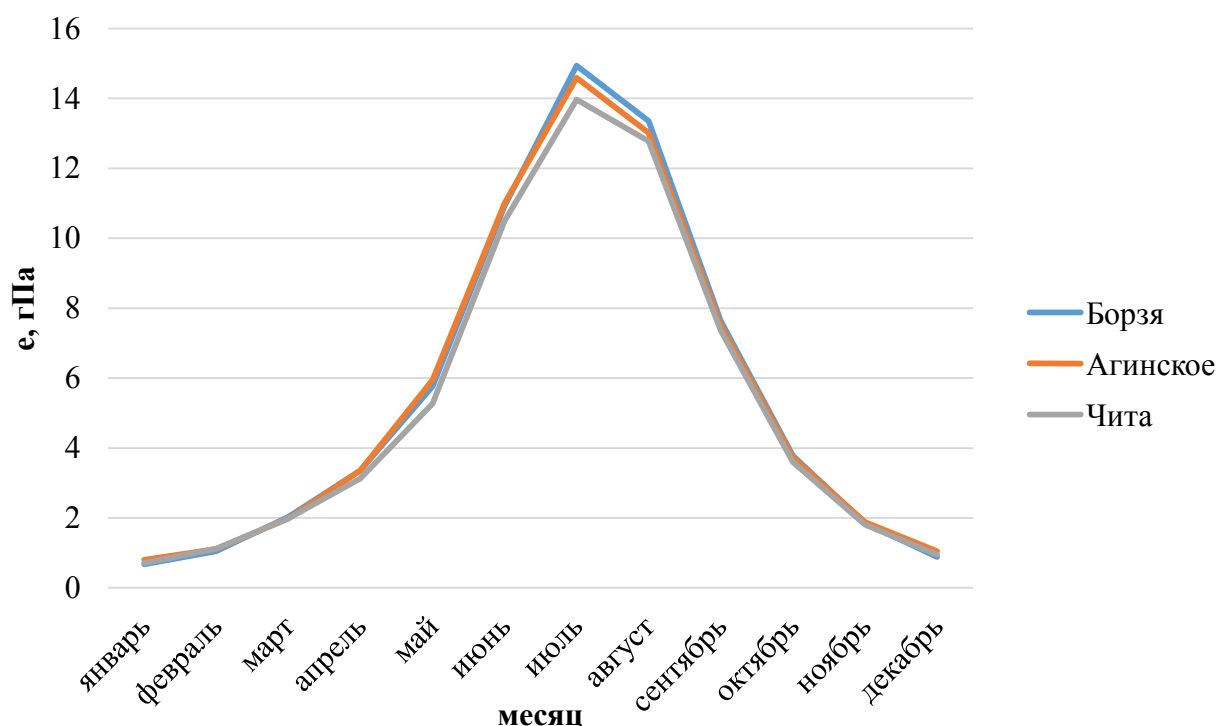


Рис. 2. Годовой ход средних значений парциального давления водяного пара (составлен автором)

На примере ст. Чара за период с 1985 по 2021 год зафиксирована устойчивая отрицательная динамика среднегодовых значений (рис. 3). Наибольший показатель влажности (74%) отмечается в 1997 году, а наименьший (62%) в 2019 году. Линейный тренд показывает уменьшение влажности на 1,025% за десятилетие, а разница между максимальным и минимальным значениями составляет 12%.

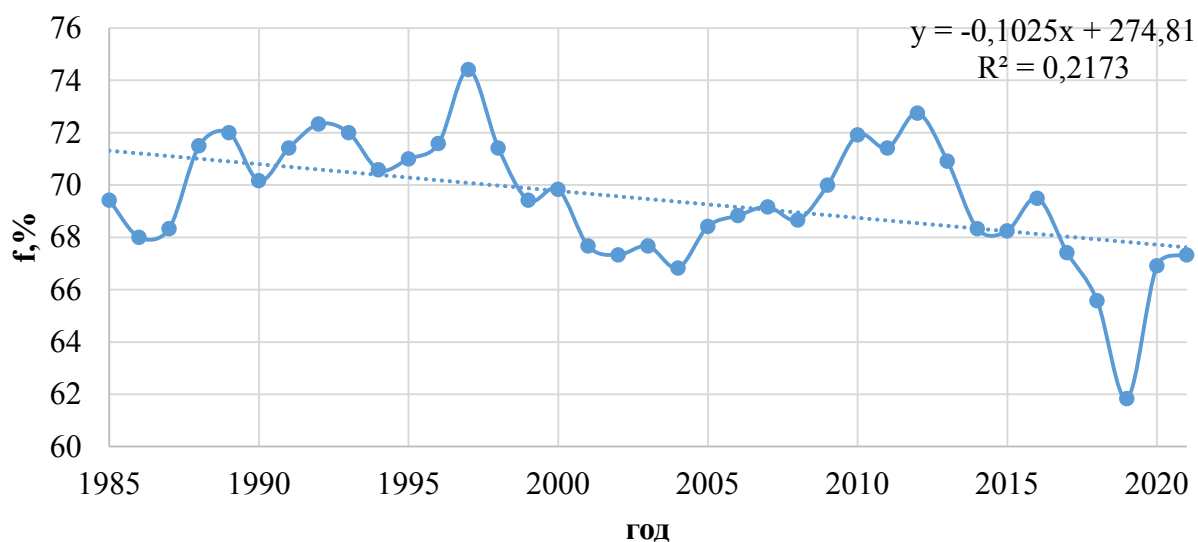


Рис. 3. Межгодовые изменения и линейный тренд относительной влажности на ст. Чара (составлен автором)

В период с 1985 по 2021 год на ст. Чара наблюдается положительная тенденция изменения среднегодовых значений парциального давления водяного пара (рис. 4). Максимальное значение наблюдалось в 2011 году и составило 5,2 гПа. Минимальное значение за данный период составило 3,9 гПа (1987 год). Коэффициент линейного тренда составляет $-0,108$ гПа/10 лет. Амплитуда парциального давления равна 1,3 гПа.

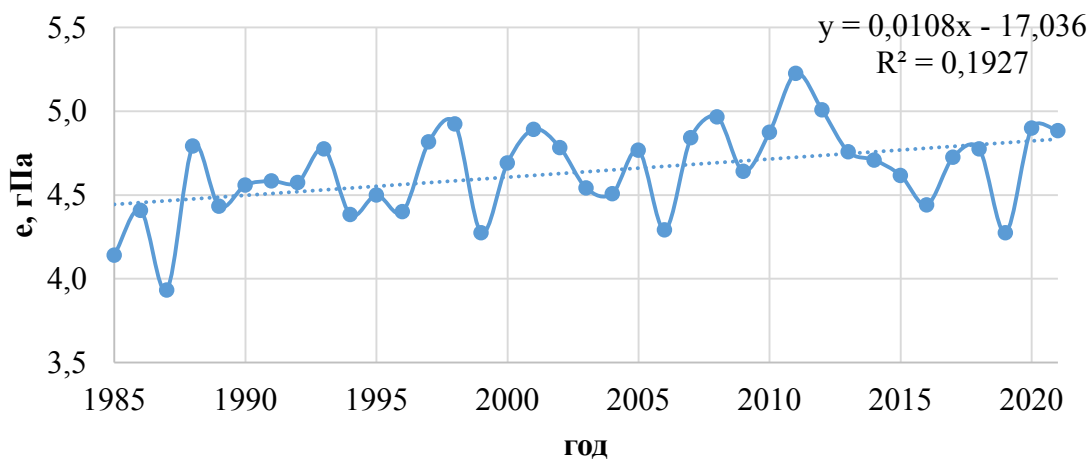


Рис. 4. Межгодовые изменения и линейный тренд парциального давления на ст. Чара (составлен автором)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в межгодовом изменении относительная влажность на территории Забайкальского края имеет отрицательный тренд за рассматриваемый период, парциальное давление водяного пара, наоборот, положительную тенденцию. В годовом ходе

относительной влажности можно выделить особенности, которые характерны для данного региона из-за орографических особенностей.

Библиографический список

1. ГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 09.02.2026).
2. Дементьева В.И., Мухина Е.Н. Влияние влажности воздуха на жизнедеятельность человека // Сборник трудов конференции. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. – С. 984-988.
3. Новгородов Н.А., Басенко М.С. Исследование влияния влажности воздуха на жизнедеятельность человека // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 5-11 декабря 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 46-49.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 2. / Под ред. С.М. Семенова. – Москва: Росгидромет, 2008, 288 с.
5. Сиротенко О.Д., Грингоф И.Г. Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации // Метеорология и гидрология. – 2006. – №8. – С. 92-101.

© Салеева Ю.Ф., 2026

А.А. Тимербулатов

магистрант 1 года обучения

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Е.Н. Сайфуллина**

канд. геогр. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

УЧЕТ НОРМАТИВНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Аннотация. В статье рассматривается учет нормативных нагрузок при проектировании воздушных линий электропередач (ВЛ). Рассмотрены виды нагрузок, которые включены в технические отчеты по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям, а также приведена оценка для территории Республики Башкортостан.

Ключевые слова. Воздушные линии электропередач, снеговая нагрузка, ветровая нагрузка, гололедная нагрузка, воздействия, Республика Башкортостан.

При проектировании строительных конструкций ВЛ должны учитываться нагрузки и воздействия, возникающие в эксплуатации, в стадии возведения и монтажа конструкций, проводов и оборудования, а также в стадиях изготовления, хранения и транспортировки конструкций [Руководство..., 1976].

Сочетания климатических и других факторов в различных режимах работы конструкций ВЛ (наличие ветра, гололеда, значения температуры, количество оборванных проводов или тросов и пр.) определяются в соответствии с указаниями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ). При расчете опор и фундаментов ВЛ в аварийных режимах работы на расчетные нагрузки от веса гололеда, от давления ветра на опоры, провода и тросы оттяжения проводов и тросов вводятся следующие коэффициенты сочетаний: 0,8 – при расчете промежуточных опор и их фундаментов; 0,9 – при расчете анкерных опор и их фундаментов [СНиП..., 1963].

Нагрузки и воздействия, учитываемые при расчете конструкций ВЛ, разделяются в соответствии с главой СП 20.13330.2016 на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые) [Руководство..., 1976].

Сведения, необходимые при проектировании ВЛ учитываются из приведенной информации по инженерным изысканиям. Они включают следующие виды нагрузок: гололедные, ветровые и снеговые.

Определение нормативных величин гололедных отложений должно производиться в соответствии с главой СП 20.13330.2016 и ПУЭ на основании карт климатического районирования с уточнением, в случае необходимости по региональным картам и материалам многолетних наблюдений гидрометеорологических станций и энергосистем. При обработке данных

наблюдений должно быть учтено влияние микроклиматических особенностей как за счет природных условий, так и за счет воздействия существующих и проектируемых инженерных сооружений.

Определение величин максимальных скоростных напоров ветра должно производиться в соответствии с главой СП 20.13330.2016 и ПУЭ на основании карт климатического районирования с учетом общих указаний, применительно к определению величин гололедных отложений.

Ключевым фактором при расчете снеговых нагрузок является правильное определение снегового района и соответствующего ему нормативного значения снеговой нагрузки

Расчетные значения климатических нагрузок и воздействий (снеговые и гололедные нагрузки, воздействия ветра, температуры и др.) допускается назначать в установленном порядке на основе анализа соответствующих климатических данных для места строительства. При расчете конструкций и оснований для условий возведения зданий и сооружений расчетные значения снеговых, ветровых, гололедных нагрузок и температурных климатических воздействий разрешается снижать на 20 % [СП 20.13330.2016..., 2019].

В технических отчетах по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям при составлении климатической записки необходимо использовать сведения, приведенные в СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (СНиП 2.01.07–85* актуализированная редакция) [СП 20.13330.2016..., 2019], ПУЭ СО 153–34.20.120–2003 «Правила устройства электроустановок» [ПУЭ СО..., 2003].

Например, в соответствии с районированием территории РФ по нагрузкам согласно СП 20.13330.2016 Республика Башкортостан располагается в пределах: III, IV, V и VI снегового районов; II, III, IV и V гололедного районов; II и III районов по ветровым нагрузкам (рис. 1, рис. 2, рис. 3).

Таким образом, на примере нормативных показателей показано практическое применение инженерно-гидрометеорологических изысканий при проектировании ВЛ. Расчёт проводится по нормативам СНиП, СП и другим строительным документам, где указаны конкретные значения для каждой климатической зоны. Проектировщики закладывают запас прочности, что позволяет компенсировать нештатные погодные условия. Применяются надёжные строительные материалы, устойчивые к изгибам, сжатию и нагрузке в той или иной территории изысканий.

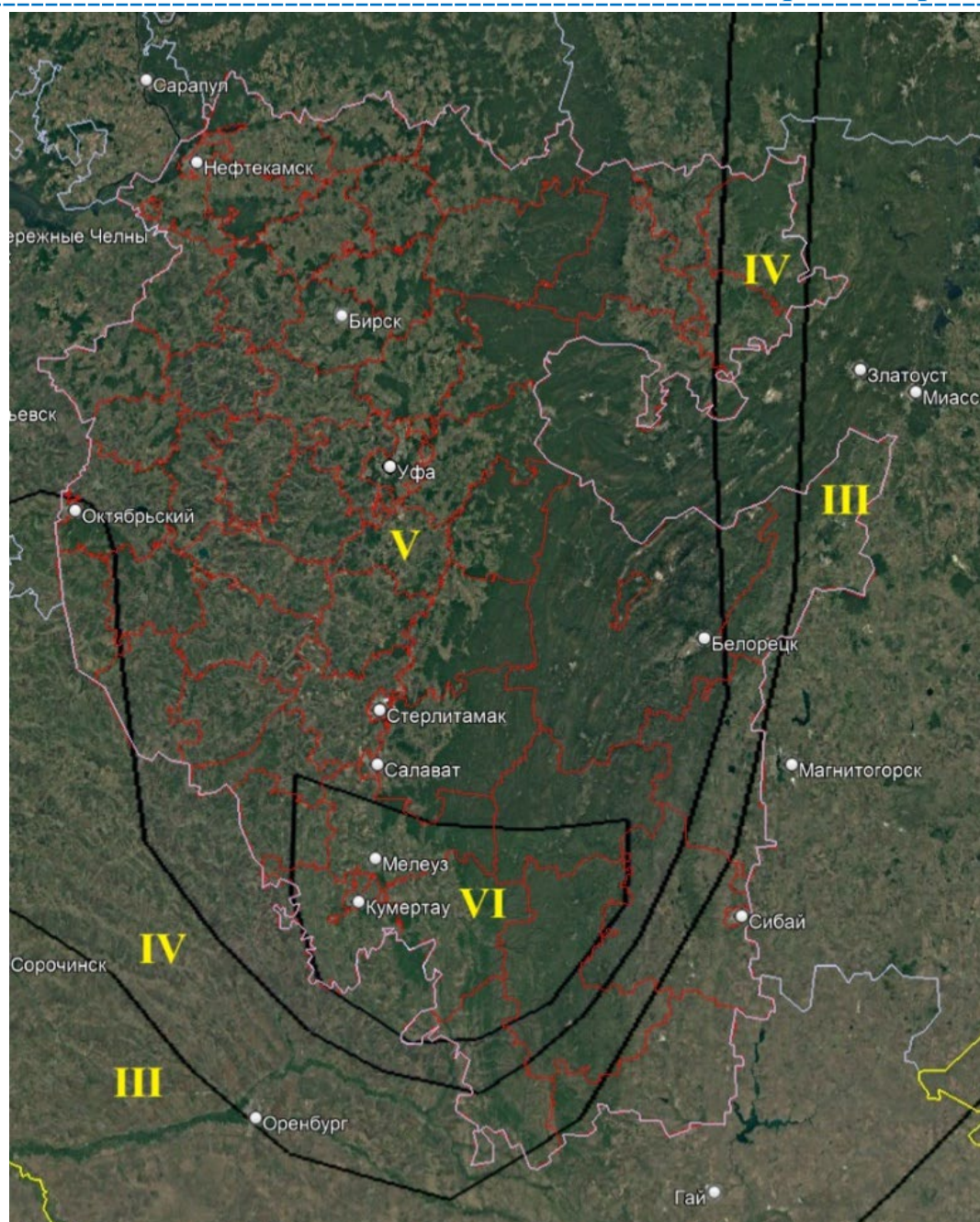


Рис. 1. Районирование Республики Башкортостан по снеговым нагрузкам согласно СП 20.13330.2016 (составлено автором по данным [Материалы..., 1976 и СП 20.13330.2016..., 2019])

Примечание: нормативное значение веса снегового покрова в зависимости от снегового района: III – 1,5 кПа; IV – 2,0 кПа; V – 2,5 кПа; VI – 3,0 кПа

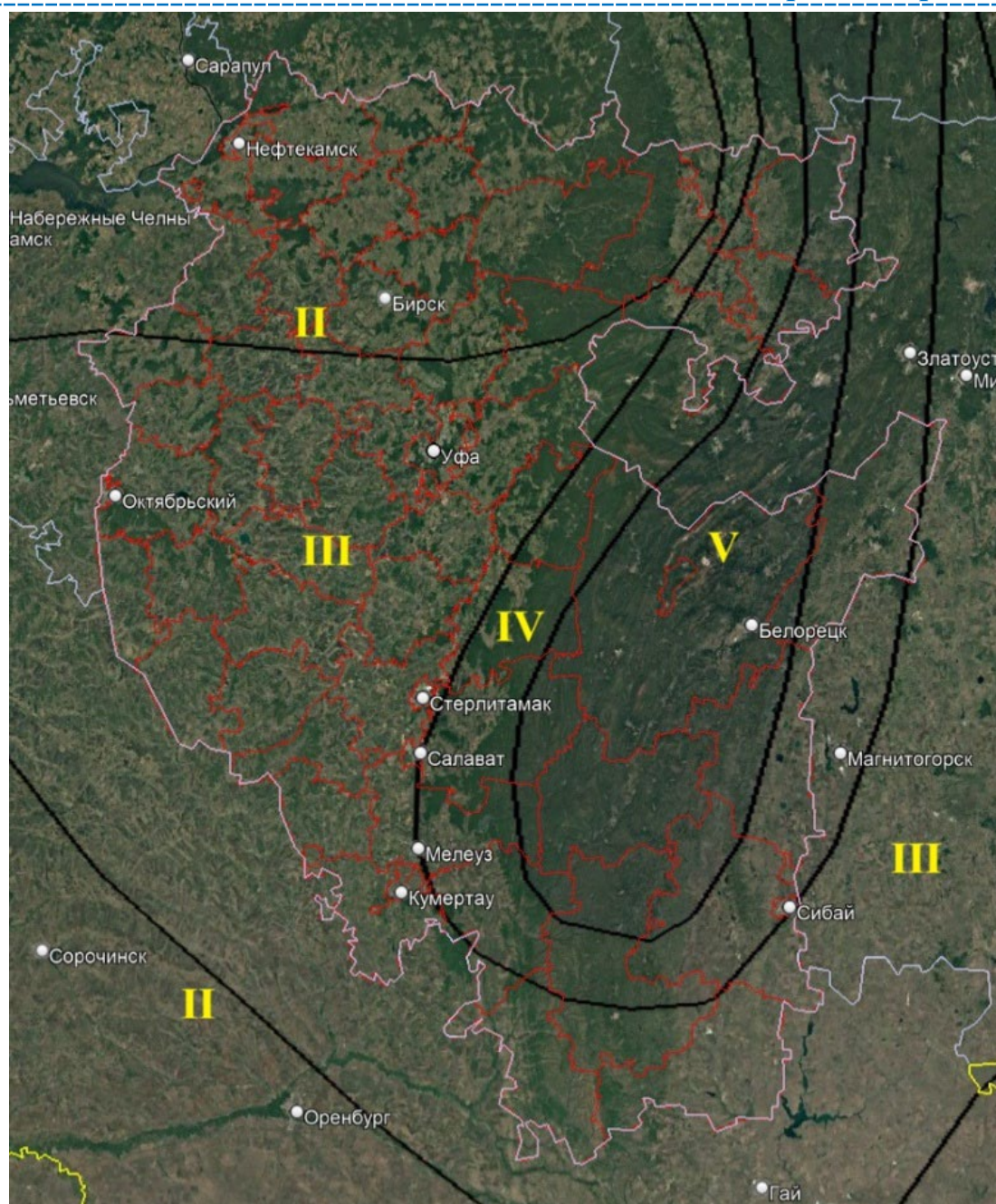


Рис. 2. Районирование Республики Башкортостан по гололедным нагрузкам согласно СП 20.13330.2016 (составлено автором по данным [Материалы..., 1976 и СП 20.13330.2016..., 2019])

Примечание: нормативное значение толщины стенки гололеда в зависимости от гололедного района: II – 5 мм; III – 10 мм; IV – 15 мм; V – не менее 20 мм

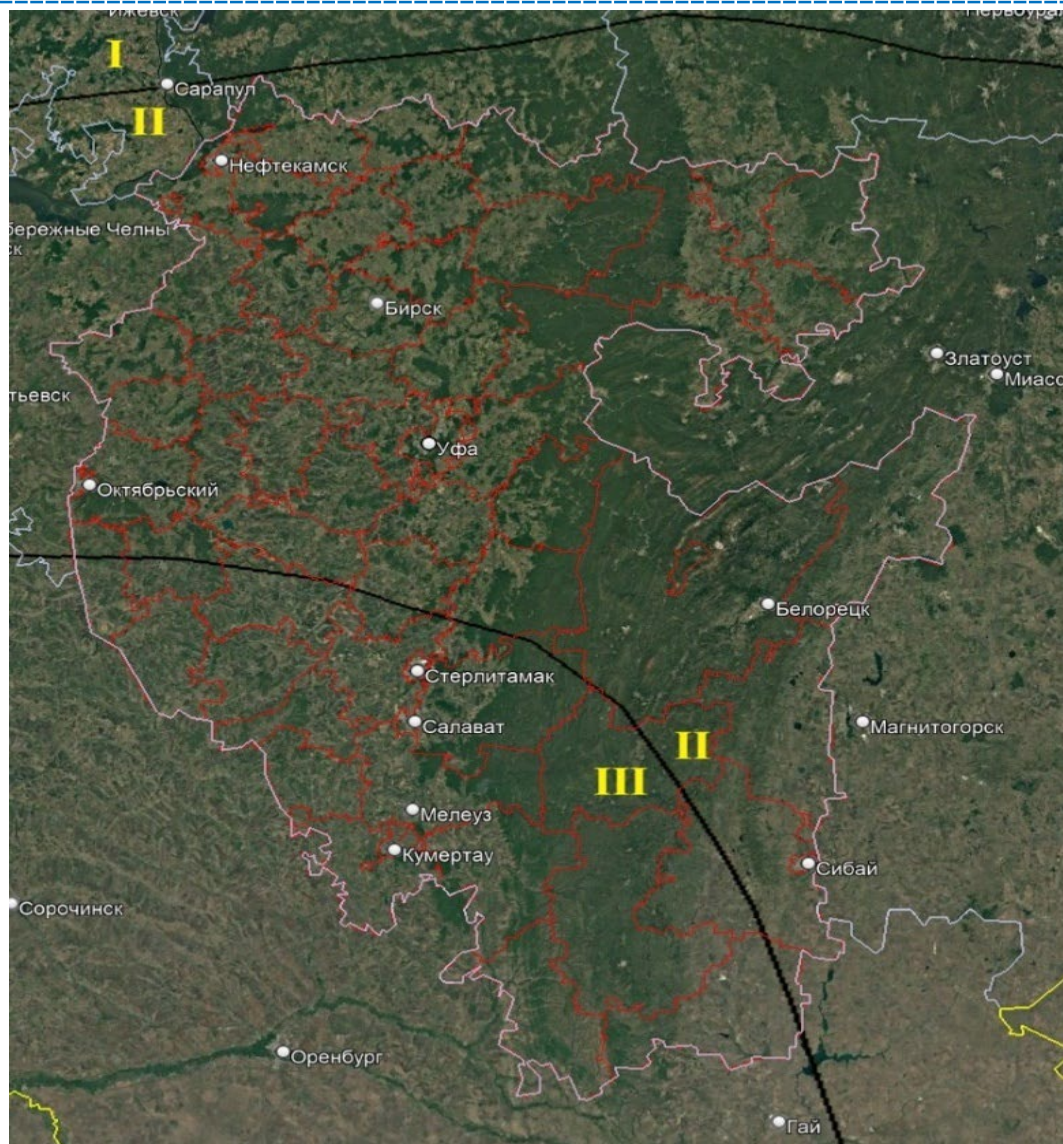


Рис. 3. Районирование Республики Башкортостан по ветровым нагрузкам согласно СП 20.13330.2016 (составлено автором по данным [Материалы..., 1976 и СП 20.13330.2016..., 2019])

Примечание: нормативное значение ветрового давления в зависимости от ветрового района: II – 0,3 кПа; III – 0,38 кПа

Библиографический список

1. Руководство по проектированию опор и фундаментов линий электропередачи и распределительных устройств подстанций напряжением выше 1 кВ. Раздел 3. Стальные конструкции. М.: Министерство энергетики и электрификации СССР, 1976.
2. ПУЭ СО 153–34.20.120–2003. Правила устройства электроустановок.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (изм.2). М.: Минстрой России, 2019.
4. СНиП II–И.9–62. Линии электропередачи напряжением выше 1 кВ. Нормы проектирования. – М.: Государственный комитет по делам строительства СССР, 1963.
5. Материалы космоснимков из Google Earth Pro (дата обращения 12.03.2026).

© Тимербулатов А.А., 2026

А.Ф. Шаймурзина

магистрант 2 года обучения

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: **Н.А. Мирсаева**

канд. геогр. наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Аннотация. Работа представляет результаты анализа основных статистических параметров, таких как среднее, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии для основных параметров ветра. По уравнениям В.А. Иванова рассчитаны значения удельной мощности и удельной энергии по средней скорости ветра на территории Республики Башкортостан (по 8-ми станциям) за период с 1978 по 2024 гг. Выводы исследования могут служить основой для совершенствования размещения ветроустановок на территории Республики Башкортостан.

Ключевые слова. Ветроэнергетика, Республика Башкортостан, удельная мощность, удельная энергия.

Различие климатических характеристик Башкирского Предуралья, Башкирского (Южного) Урала и Башкирского Зауралья связано со сложной орографией республики [Галимова, 2020]. Особенности атмосферной циркуляции и влияние Уральских гор определяют режим ветра. Зимой усиливается циклоническая деятельность, наибольшую повторяемость имеют южные и юго-западные ветры, летом циклоны ослабевают, увеличивается доля северных и северо-восточных ветров [Физико-географическое..., 2025].

Целью исследования являлась оценка ветроэнергетических ресурсов Республики Башкортостан (РБ) за период 1978–2024 гг.

Основной задачей являлось выявление закономерностей изменения зависимости величины пространственного распределения и сезонной доступности ветроэнергетических ресурсов Республики Башкортостан, а также выявление ограничений и их перспектив на будущее.

В качестве исходных данных использовались 8-срочные метеорологические данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ – МЦД) за период с 1978 по 2024 год по Республике Башкортостан [ФГБУ «ВНИИГМИ МЦД»..., 2025].

Исходные данные подвергались статистической обработке, рассчитывались основные статистические параметры [Малинин, 2008], а также удельная мощность и удельная энергия по методике В.А. Иванова [Иванов и др., 2025].

В табл. 1 представлены расчёты статистических параметров средней скорости ветра по РБ за период 1978–2024 гг. Анализ основан на таких ключевых параметрах, как среднее значение ($\bar{X}$), среднее квадратическое отклонение (σ), коэффициент вариации (C_v), коэффициент асимметрии (A_s).

Таблица 1

Статистические параметры средней скорости ветра по РБ 1978–2024 гг.

Станция	$\bar{X}$	σ	C_v , %	A_s
Аксаково	3,2	0,22	6,92	0,47
Дуван	2,5	0,18	7,32	0,03
Зилаир	2,2	0,13	5,99	0,14
Кушнаренково	2,6	0,14	5,27	-0,32
Стерлитамак	2,2	0,18	8,45	0,11
Тукан	1,3	0,08	6,55	0,30
Уфа	2,6	0,18	7,16	0,44
Янаул	3,2	0,29	9,06	0,08

Из табл. 1 следует, что максимальное значение средней скорости ветра за период с 1978 по 2024 гг. наблюдается на станции Янаул (3,2 м/с), то есть в северной и северо-западной части республики. К зоне повышенных скоростей также относится станция Аксаково (3,2 м/с), находящаяся на западе республики. Минимальное значение средней скорости ветра наблюдается на станции Тукан (1,3 м/с). Станция Янаул расположена в открытой равнинной местности (высота над уровнем моря = 260 м), а ст. Тукан находится в долине Южного Урала (высота над уровнем моря 512 м). Этим объясняется разница в скоростях ветра на данных станциях. Для станции Тукан горная местность является препятствием, а для северной станции рельеф оказывает благоприятное воздействие на прохождение воздушных масс и усилению ветра.

Абсолютная изменчивость, то есть среднее квадратическое отклонение (σ), показывает разброс значений (м/с): наибольшее абсолютное отклонение от среднего отмечается на станциях Янаул ($\sigma = 0,29$ м/с) и Аксаково ($\sigma = 0,22$ м/с), что связано со значительными колебаниями скоростей ветра. Наиболее стабильным режимом СКО характеризуется на станции Тукан ($\sigma = 0,08$ м/с), что коррелирует с её минимальным средним значением. Значения СКО у остальных станций (0,13–0,19 м/с) указывают на умеренную абсолютную изменчивость.

Относительная изменчивость, то есть коэффициент вариации (C_v , %), показывает отклонение значений скоростей на станциях в межгодовом фоне. Наибольшая относительная нестабильность отмечается на станции Янаул (9%), что указывает на значимые в процентном отношении межгодовые различия скоростей ветра. Также высокая изменчивость отмечается в Стерлитамаке (8%) и Дуване (7%), что характеризует нестабильность значений от года к году. Наиболее стабильными и предсказуемыми являются станции Кушнаренково

(5%) и Зилаир (5%). Несмотря на то, что на станции Тукан минимальная абсолютная изменчивость составляет 6%, отмечается влияние низких колебаний скоростей ветра.

Наиболее содержательную информацию о характере ветрового режима предоставляет анализ коэффициента асимметрии. С выраженной положительной асимметрией отличаются станции Аксаково ($As=0,47$) и Уфа ($As=0,44$), свидетельствует об их уязвимости к экстремальным ветровым нагрузкам. На станции Кушнаренково отрицательная асимметрия ($As=-0,32$) указывает на то, что для данной территории повышенные скорости ветра являются климатической нормой, вероятно, вследствие её расположения на открытой возвышенности. Более сбалансированные, близкие к симметричному распределению данные отмечаются на станциях Дуван ($As=0,03$), Зилаир ($As=0,14$), Стерлитамак ($As=0,11$) и Янаул ($As=0,08$). Для этих пунктов среднее арифметическое отражает ветровой режим, в котором экстремальные значения уравнивают друг друга, что характерно для территорий с устойчивыми и предсказуемыми циркуляционными процессами.

В табл. 2 приводятся расчетные показатели ветровой энергии на высоте 50 м для Республики Башкортостан за период с 1978 по 2024 год.

Таблица 2

Расчетные энергетические показатели ветровой энергии на высоте 50 м
для Республики Башкортостан за период 1978–2024 гг.

Месяц	Скорость на $z=50$ м, м/с	Удельная мощность, Вт/м ²	Время, час t_i	Удельная энергия, кВт/м ² /мес
1	2	3	4	5
Январь	3,2	12,2	39759,0	4946,3
Февраль	3,4	15,2	37104,0	5741,7
Март	2,9	9,2	42588,0	3977,2
Апрель	2,8	8,9	43755,0	4019,9
Май	3,2	12,8	43572,0	5687,7
Июнь	2,9	8,9	43218,0	3988,4
Июль	3,3	13,2	41631,0	5813,3
Август	3,3	14,6	40584,0	6262,9
Сентябрь	3,0	10,5	40494,0	4536,2
Октябрь	3,0	10,2	48024,0	4961,5
Ноябрь	3,1	12,0	45555,0	5562,7
Декабрь	2,9	9,9	40428,0	4122,6

Из табл. 2 следует, что на протяжении года среднемесячная скорость ветра, рассчитанная по степенному закону, варьируется в диапазоне от 2,8 м/с до 3,4 м/с, что характеризует РБ как область с умеренными ветровыми ресурсами. Максимальная скорость отмечается в феврале (3,4 м/с) и августе (3,3 м/с), что указывает на две сезонные активности ветра в течение года:

зимний (февраль) и летний (июль-август). Минимальные значения приходятся на апрель (2,8 м/с), июнь (2,9 м/с) и декабрь (2,9 м/с), что показывает на периоды ветрового затишья.

Удельная мощность ветрового потока (Вт/м^2), напрямую зависит от куба скорости, и повторяет динамику изменения средней скорости ветра. Наиболее энергонасыщенным является август (14,6 Вт/м^2), февраль (15,3 Вт/м^2) и июль (13,2 Вт/м^2). Минимальная мощность наблюдается в апреле (8,88 Вт/м^2), что почти в 1,7 раза ниже, чем в августе. Это свидетельствует о значительной сезонной неравномерности энергетического потенциала.

Для оценки общего ресурса важен показатель удельной вырабатываемой энергии (кВтч/м^2 за месяц). Несмотря на высокую скорость в феврале, максимальная месячная энергия производится в августе (6262,9 кВтч/м^2) и июле (5813,3 кВтч/м^2), что объясняется большим числом часов в этих летних месяцах по сравнению с зимними. Второй, менее выраженный пик, наблюдается в зимний период – в январе (4946,3 кВтч/м^2) и феврале (5741,7 кВтч/м^2). Самые низкие энергетические показатели приходятся на март (3977,2 кВтч/м^2), июнь (3988,4 кВтч/м^2) и декабрь (4122,6 кВтч/м^2).

Таким образом, ветроэнергетический потенциал Республики Башкортостан имеет выраженный сезонный характер с двумя основными периодами повышенной активности: летний (июль – август) и зимний (январь – февраль). Летний период является наиболее эффективным, так как продолжительность светового дня дольше, чем зимой. Общая среднегодовая удельная мощность составляет около 11,5 Вт/м^2 , что относит территорию к зоне со слабым ветропотенциалом, где можно использовать установки малой мощности или гибридных систем.

Библиографический список

1. Галимова Р.Г. Оценка влияния современных климатических изменений в природных зонах Республики Башкортостан // Региональные геосистемы. Т.44. №2. 2020. – С. 125–137.
2. Иванов В.А., Бахтыжан А.Б., Дайч Л.И., Потемкина Е.Б. Оценка энергетического потенциала ветровой энергии с использованием функции распределения Вейбулла [Сайт]. URL: <https://tu.kstu.kz/publication/publication/download/849> (дата обращения: 15.10.2025 г.).
3. Климат Уфы – 1987. URL: <http://bashenc.online/ru/articles/87471/> (дата обращения: 05.10.2025 г.).
4. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008, 408 с.
5. ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» [Сайт]. URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 05.10.2025 г.).
7. Физико-географическое положение Республики Башкортостан [Сайт]. URL: <https://wpsovet.ru/wp-content/uploads/4/8/0/480802435d9b471921ea0b5a47bfb0cc.jpeg> (дата обращения: 05.10.2025 г.).

© Шаймурзина А.Ф., 2026

¹А.Д. Янгиров, ²Т.Р. Аухадеев¹аспирант 2 года обучения, ²доцент, канд. геогр. наук
Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: Ю.П. Переведенцев

д-р. геогр. наук., профессор
Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В ПЕРИОД 1966–2024 ГГ.

Аннотация. В работе выполнен анализ пространственно-временной изменчивости климатических показателей на территории Приволжского федерального округа за период 1966–2024 гг. Установлен устойчивый положительный тренд среднегодовой температуры воздуха ($+0,42^{\circ}\text{C}/10$ лет), с усилением в зимний сезон ($+0,69^{\circ}\text{C}/10$ лет) и более высокой скоростью потепления в северной части региона. Выявлена структурная перестройка термического режима: с начала 2000-х годов фиксируется снижение межгодовой и межсуточной изменчивости температуры, что выражается в уменьшении повторяемости резких перепадов погоды ($-1,44$ случая/10 лет). Показано, что рост абсолютных минимумов температуры ($+0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет) втрое превышает рост максимумов, что свидетельствует о смягчении зимних условий и общей стабилизации климатических процессов в регионе.

Ключевые слова. Приволжский федеральный округ, изменение температуры воздуха, пространственно-временная изменчивость, межсуточные перепады температуры, индексы экстремальности, тренды климатических показателей.

Цель данной работы заключается в анализе пространственно-временной изменчивости основных климатических показателей на территории ПФО за период 1966–2024 гг.

Приволжский федеральный округ является одним из ключевых регионов России, обладая значительным промышленным, аграрным и логистическим потенциалом [Переведенцев и др., 2025]. Регион отличается своей неоднородностью в физико-географическом отношении. ПФО занимает площадь чуть более 1 миллиона км², что составляет около 6% территории России, население более 28 миллионов человек, примерно 20% населения России, а экономика составляет почти 20 триллионов рублей, порядка 16% общероссийской экономики.

Анализ многолетних рядов температуры за период 1966–2024 гг. на территории Приволжского федерального округа позволяет сделать вывод об устойчивом положительном тренде изменения температуры воздуха. Коэффициент наклона линейного тренда по территории составил $+0,42^{\circ}\text{C}/10$ лет, что немного меньше среднего тренда по России ($0,45\text{--}0,51^{\circ}\text{C}/10$ лет); [Современные ..., 2024]. Это объясняется более южным расположением ПФО, по сравнению с другими регионами России, к примеру в той же Арктики, где потепление идет примерно в 1,5 раза быстрее ($\text{КНЛТ} = 0,71^{\circ}\text{C}/10$ лет). Также

можно отметить, что скорость потепления была неодинаковой в разные периоды – она заметно усилилось в последние десятилетия, по сравнению с более ранним этапом наблюдений [Переведенцев и др., 2020].

При этом зимой скорость роста температуры ($+0,69^{\circ}\text{C}/10$ лет) гораздо выше аналогичного показателя летом ($0,31^{\circ}\text{C}/10$ лет) [Современные..., 2024]. Также прослеживается и пространственная неоднородность в потеплении – север региона теплеет значительно быстрее юга [Переведенцев и др., 2025; Современные..., 2024]. Важную роль в формировании температурного режима играют колебания атмосферной циркуляции. Зимой главным фактором выступает Северо-Атлантическое колебание (отепляющий фактор), а летом колебание Восточная Атлантика–Западная Россия (охлаждающий фактор); [Динамика..., 2014; Переведенцев и др., 2025].

Помимо устойчивого тренда температуры происходит значительная межгодовая изменчивость термического режима. В ходе исследования была выявлена неоднородность характера этой изменчивости на протяжении рассматриваемого интервала. В период с 1966 по 2000 год наблюдалась высокая амплитуда колебаний среднегодовых температур, которая в отдельные годы могла достигать 3°C и более.

Однако, начиная с 2000 года, климатическая система региона демонстрирует сдвиг в режиме изменчивости. Отмечается заметное снижение амплитуды межгодовых колебаний. Периоды экстремально холодных лет стали менее выраженными, а термический режим, несмотря на продолжающийся рост, стал относительно более стабильным.

В ходе анализа межсуточной изменчивости основных климатических характеристик (межсуточные перепады температуры воздуха более 6°C и атмосферного давления более 8 гПа) на территории Среднего Поволжья за период 1966–2024 гг., обусловленной главным образом адвективными факторами, позволяет сделать ряд заключений. Выявлен четкий сезонный ход в повторяемости резких изменений погодных условий.

Установлено, что наиболее значительные межсуточные перепады температуры характерны для зимнего периода, тогда как в летний период наблюдается наиболее стабильный температурный режим. В годовом распределении существенная часть значительных температурных перепадов приходится на зиму. За весь рассматриваемый период среднегодовое количество резких перепадов температуры имеет устойчивую тенденцию к уменьшению (КНЛТ $-1,44$ случая/10 лет).

Выявлено, что резкие межсуточные перепады атмосферного давления (58,5 случаев в год) происходят чаще, чем перепады температуры (24,1 случая в год). При этом частота положительных и отрицательных отклонений для обоих параметров практически одинакова. В отношении перепадов атмосферного давления значимого линейного тренда за весь период не обнаружено.

В современный период (1995–2024 гг.) число резких межсуточных перепадов как атмосферного давления, так и температуры воздуха уменьшается

по сравнению с более ранним периодом (1966–1994 гг.). Это согласуется с общим сокращением числа крупных аномалий и уменьшением дисперсии отклонений суточной температуры от годового хода, это в свою очередь свидетельствует о возрастании устойчивости климатического режима в регионе в последние годы.

Важной характеристикой климатических изменений служат индексы экстремальности. Анализ индекса ТХх, характеризующего годовое распределение абсолютной максимальной приземной температуры воздуха, показывает, что максимальные температуры в регионе варьируются от $+30^{\circ}\text{C}$ до $+39^{\circ}\text{C}$. При этом прослеживается положительный тренд: коэффициент наклона линейного тренда составляет $+0,37^{\circ}\text{C}/10$ лет. Характерно, что в первой половине периода (1966–1995 гг.) существенного роста не наблюдалось, и лишь после 1995 года наметилось незначительное повышение максимальных температур.

Значительно более выраженные изменения заметны при анализе индекса ТNп – абсолютной минимальной температуры воздуха. Межгодовой перепад варьируется от -45°C до -25°C . При этом прослеживается довольно однородный характер распределения – наблюдается стабильный рост минимальных температур от года к году. Значение линейного тренда составляет $+0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет, что почти в 3 раза превышает скорость роста максимальных температур. Это свидетельствует о более интенсивных климатических изменениях именно в холодный период года, особенно это прослеживается в последние десятилетия.

Таким образом, за период 1966–2024 гг. на территории Приволжского федерального округа зафиксирован устойчивый рост среднегодовой температуры ($+0,42^{\circ}\text{C}/10$ лет) с ярко выраженной сезонной и пространственной неоднородностью: зима теплеет быстрее лета, особенно на севере региона. Ключевой особенностью последних десятилетий является снижение межгодовой и межсуточной изменчивости температурного режима: число резких перепадов температуры сокращается ($-1,44$ случая/10 лет), а климатическая система демонстрирует повышенную устойчивость. Наиболее интенсивные изменения происходят в холодный период: скорость роста абсолютных минимумов температуры ($+0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет) почти втрое превышает рост максимумов, а число морозных дней устойчиво сокращается ($-2,54$ дня/10 лет). Это свидетельствует о структурной перестройке термического режима региона со смягчением зимних условий и общей стабилизацией климатических процессов.

Библиографический список

1. Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе / Ю.П. Переведенцев, В.В. Гурьянов, К.М. Шанталинский, Т.Р. Аухадеев; под ред. Р.М. Вильфанда. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. 184 с.

2. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX-XXI веках // Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36–46.
3. Переведенцев Ю.П., Янгиров А.Д., Аухадеев Т.Р. Особенности изменения климатических условий на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. и их последствия // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2025. № 4. С. 103–114.
4. Современные региональные климатические изменения и их последствия: монография / Ю.П. Переведенцев, М.В. Сабирова, Н.В. Исмагилов [и др.]; под ред. Ю.П. Переведенцева, Н.А. Мирсаевой, В.Н. Павловой. М.: Русайнс, 2024. 223 с.

© Янгиров А.Д., Аухадеев Т.Р., 2026

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

БАЛКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Сборник материалов

*Всероссийской научно-практической конференции,
посвященной 105-летию со дня рождения*

Владимира Александровича Балкова

и профессиональным праздникам Всемирный день воды,

День работников гидрометеорологической службы

(г. Уфа, 31 марта 2026 г.)

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 07.07.2026 г.

Гарнитура «Times New Roman». Объем 10,22 Мб.

Заказ 123.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007

e-mail: red@uust.ru